NIVELACION SOBRE ASPECTOS BASICOS DE ALIMENTACION Y NUTRICION

PRIMER CURSO

GUATEMALA, 1993

INSTITUTO DE NUTRICION DE CENTRO AMERICA Y PANAMA
ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD
INCAP/OPS

ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS)
INSTITUTO DE NUTRICION DE CENTRO AMERICA Y PANAMA (INCAP)

NIVELACION SOBRE ASPECTOS BASICOS DE ALIMENTACION Y NUTRICION

PRIMER CURSO

(GUIA Y MATERIALES AUTOINSTRUCTIVOS)

GUATEMALA, MARZO 1993

Publicación INCAP MDE/073

PREFACIO

El material que usted tiene en sus manos contiene tres elementos: el primero es una guía de presentación, justificación y orientación respecto al desarrollo del curso, el segundo y el tercero son propiamente desarrollo de los contenidos, a los que le hemos dado una organización adecuada para facilitarle el autoaprendizaje.

Aunque dichos elementos aparecen separados físicamente, para efectos de desarrollo del curso conforman una sola unidad. Por tal razón tratamos de uniformarlos lo más posible en cuanto a su presentación. Si a cada uno le hemos puesto su tabla de contenidos no es con el objeto de establecer separación o autonomía entre ellos, sino para que usted ubique rápidamente algún aspecto o tema de su interés.

Tenga presente que los materiales autoinstructivos requieren que usted sea un participante activo del proceso. Por tal razón respetuosamente lo instamos primeramente a que se detenga con cuidado en los objetivos de aprendizaje que le proponemos, y que realice con esmero las actividades o ejercicios que aparecen en el intermedio o al final de cada subtema o parte.

Sin más le invitamos a leer de una vez la guía que le mencionamos como primer elemento del material. Manos a la obra.

La aprobación de este curso es uno de los requisitos para ingresar al Programa de Maestría en Alimentación y Nutrición que ofrece el INCAP.

PRIMERA PARTE

GUIA DE ESTUDIO

TABLA DE CONTENIDO

		PAGINA
I.	INTRODUCCION	11
II.	JUSTIFICACION	11
III.	PRESENTACION DEL CURSO DE NIVELACION	12
	A. OBJETIVOS DE APRENDIZAJE	12
	B. METODOLOGIA Y TECNICAS DE ESTUDIO	13
	1. METODOLOGIA	13
	2. TECNICAS DE ESTUDIO	14
	C. ORIENTACIONES PARA EL DESARROLLO DEL CURSO	15
	1. COMO ENFRENTAR EL ESTUDIO DE LOS CONTENIDOS	15
	2. EVALUACION DEL APRENDIZAJE	16

I.INTRODUCCION

El Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), en su calidad de centro especializado en alimentación y nutrición a nivel subregional, tiene entre sus cuatro funciones básicas, apoyar la formación y desarrollo de recursos humanos en alimentación y nutrición a nivel de la sede y de los países del área.

Dentro de esta función el Instituto capacita y apoya la formación de recursos altamente calificados para el desarrollo de planes, programas y actividades alimentario-nutricionales de los países miembros y de la región de las Américas. De esta manera contribuye a que cuenten con sus propios recursos humanos capaces, por una parte, de aplicar y multiplicar el conocimiento adquirido, y por otra, de identificar y contribuir a resolver la problemática alimentario-nutricional existente en cada uno de esos países.

Pensando en la anterior situación, y contando con la experiencia obtenida a partir de los programas de maestría ya ofrecidos y la actual orientación del INCAP, con una óptica de un enfoque más integrado y aplicativo de la docencia e investigación, se presenta la oportunidad de un nuevo programa de maestría. Esta vez con el propósito de desarrollar, tanto a nivel de los participantes como de las instituciones involucradas, una capacidad de abordaje integral en la búsqueda de alternativas para mejorar la situación alimentaria y nutricional de la población.

Si bien en el programa anterior de maestría se dio acceso en su mayoría a profesionales de las áreas biológica y de ciencias de alimentos, ahora se ofrece también a profesionales de las áreas social y económica con lo que se amplía la proyección del INCAP en la formación de recursos humanos en alimentación y nutrición. Esto implica algunas dificultades en la selección de los candidatos y en el desarrollo del plan de estudios, dada la diversidad de disciplinas involucradas.

Ante esta circunstancia, se hace necesario buscar nuevas alternativas para lograr mayor eficiencia y eficacia en la formación y desarrollo de recursos humanos en alimentación y nutrición, por lo que hemos optado por utilizar algunos elementos de la educación a distancia como un criterio de selección y como una estrategia, que además de servir al programa de maestría, contribuya también para promover una forma innovadora en las acciones de capacitación y desarrollo de recursos humanos del INCAP.

II. JUSTIFICACION

Una de las experiencias educativas que ha obtenido promisorios resultados a nivel de América Latina es la educación a distancia, la cual se entiende como un proceso continuo e individualizado de autoaprendizaje que combina todos los medios posibles de información según las características de la población a la cual se dirige. Se apoya en un método

educativo adecuado que intenta capacitar a personas que por cualquier limitante, geográfica o de otra índole, no tienen acceso a la educación escolarizada.

Con base en esa valiosa experiencia en América Latina y, teniendo en cuenta las características del nuevo programa de maestría que actualmente ofrecemos, así como las experiencias previas del INCAP, hemos creído oportuno que el presente curso de nivelación tenga la orientación y algunas características de esa modalidad de aprendizaje, por las siguientes razones:

1. Permite mayor cobertura de los aspirantes a la maestría, y garantiza una mejor selección y una mayor participación de los países y de los sectores involucrados en el proceso alimentario y nutricional.

2. Ofrece la nivelación inicial requerida para que los participantes en la maestría puedan desarrollar eficientemente el programa de postgrado, dada su interdisciplinariedad.

III. PRESENTACION DEL CURSO DE NIVELACION

En vista de que la maestría que ofrecemos esta vez está dirigida a un grupo interdisciplinario de profesionales, es preciso establecer una nivelación en: conocimientos básicos de química y biología, y conceptos básicos del proceso alimentario nutricional, necesarios para entender los fundamentos del área de alimentación y nutrición, que será objeto central de estudio de la maestría. Lo anterior permite también propiciar y mantener el adecuado nivel académico que requiere un postgrado.

A. Objetivos de aprendizaje

Al concluir el curso de nivelación el participante estará en capacidad de:

1. Identificar los conocimientos fundamentales de las áreas biológica y química que se requieren para estudiar el proceso alimentario nutricional.

2. Enunciar los conceptos fundamentales de alimentación y nutrición humana requeridos para profundizar durante los cursos de la maestría.

3. Apreciar la metodología empleada en el curso como una estrategia de autoformación profesional.

B. Metodología y técnica de estudio

1. Metodología:

Los elementos de la metodología a distancia que utilizará este proyecto se fundamentan en cuatro aspectos básicos; los materiales escritos, la inducción y entrega de aquellos, el estudio por parte de los participantes, y la tutoría, los cuales se describen brevemente como sigue:

a) Los materiales:

i. La acción de capacitación se desarrollará con módulos autoformativos, organizados y distribuidos por INCAP-Sede a los países por medio de los Grupos Técnicos Básicos (GTB).

ii. El tutor de acuerdo con los procesos de orientación que realice y las necesidades que los participantes vayan presentando, podrá utilizar otros materiales complementarios de apoyo según la disponibilidad e iniciativa propia.

iii. Los módulos serán estudiados por los participantes en el orden que se indique.

b) La inducción y entrega de materiales:

i. La inducción:

- Para comenzar el proceso de capacitación, se realizará un encuentro de inducción en cada país, de por lo menos 4 horas de duración, ya que tomamos en cuenta la disponibilidad de tiempo de los participantes potenciales, el lugar en que viven o trabajan, las implicaciones de su traslado al lugar de encuentro, las condiciones generales y ambientales del lugar en que se realice, y los recursos con que se cuente para sufragar los costos del encuentro.

- La inducción persigue motivar a los participantes acerca de la modalidad de capacitación a distancia, facilitar las relaciones interpersonales y la comunicación entre participantes y entre éstos y el tutor; explicar la estructura, contenido, entrega y empleo de los materiales, lo mismo que el funcionamiento de la tutoría y la evaluación, y finalmente incentivar la organización de círculos de estudio.

- Los materiales serán entregados a cada usuario para su estudio y avance individual, es decir, a su propio ritmo, aunque se estimulará también el estudio e intercambio de aprendizajes y experiencias por medio de encuentros y círculos de estudio, dependiendo de las condiciones y diferencias individuales propias de cada participante en la capacitación.

c) **Apoyo tutorial**

i. El tutor será un funcionario del Grupo Técnico Básico de cada país, quien brindará información y orientación al participante.

ii. El participante recibirá también apoyo de los grupos de estudio que se organizarán espontáneamente para tal efecto.

2. **Técnicas de estudio:**

a) El aprendizaje de los contenidos lo podrán efectuar los usuarios, de manera individual o grupal.

b) En la medida de lo posible, se integrarán círculos de estudio, para complementar y fortalecer el aprendizaje. Se programará cuatro encuentros durante los tres meses en que se desarrolla el curso. El primero será de inducción, los otros dos de tutoría y el último de evaluación. Con estas reuniones grupales se pretende que los participantes analicen en común sus dudas e inquietudes, y resuelvan los problemas y casos que se les presenten por medio de discusiones y análisis, o de cualquier otra estrategia que cada grupo estime conveniente.

c) En lo posible, el círculo de estudio debe ser espontáneo, y habrá de darse su propia organización y las pautas de funcionamiento (lugar, días, horas de reunión-estudio, moderación, etc.) según las necesidades y las circunstancias de las personas que lo constituyan.

d) La metodología que oriente a cada círculo de estudio deberá ser determinada por el mismo, buscando estrategias que garanticen la motivación, el interés y participación permanentes, hacia el logro de los objetivos del curso.

C. Orientaciones para el desarrollo del curso

En la introducción de esta guía le hemos dicho que el curso de nivelación se desarrollará a distancia. Pues bien, para nuestro caso eso significa, en lo que se refiere a contenidos y forma de estudio, que nosotros le ofrecemos los elementos y materiales de autoinstrucción, pero es usted quien efectuará las tareas de aprendizaje a la hora y en el lugar que le resulte más conveniente.

No olvide que este curso tendrá una duración de tres meses a partir del mes de Julio del año en curso, y que al final del mismo usted deberá aprobar un examen, el cual será uno de los requisitos para ingresar a la maestría.

Si debido al proceso de selección, usted, aun después de aprobar el curso de nivelación no logra ingresar al programa de maestría por otros motivos, tenga presente que no ha perdido su tiempo. En efecto, ha refrescado o enriquecido sus conocimientos se ha entrenado en un nuevo método de aprendizaje, y habrá recibido del INCAP un certificado de participación y aprobación del curso, que le será útil en algún momento de su vida profesional.

1. Cómo enfrentar el estudio de los contenidos

Los contenidos de este curso comprenden dos partes fundamentales. La primera se refiere a los conocimientos generales de química y biología, que son considerados como elementos fundamentales e introductorios para el estudio del proceso alimentario-nutricional. La segunda corresponde a los conceptos básicos de alimentación y nutrición humana, introductorios al área de alimentación y nutrición, objeto de estudio de la maestría.

La primera parte se denomina *Aspectos Generales necesarios para iniciar el estudio del proceso alimentario y nutricional.* Consiste en un paquete bibliográfico que contiene el material donde encontrará el desarrollo de los contenidos identificados como básicos. En vista de que esta primera parte de estudio usted ya la ha recibido en su educación secundaria y universitaria, le ofrecemos el material adjunto a esta guía, a manera de ayuda, pero usted puede utilizar cualquiera otra bibliografía que contemple los temas referidos.

La segunda parte se llama *Conceptos básicos del proceso alimentario nutricional*, la cual está conformada por dos subtemas: a) Factores condicionantes del estado nutricional y b) Conceptos básicos de alimentación y nutrición humana. Los contenidos de esta parte aparecen desarrollados en un material autoinstructivo que adjuntamos a esta guía, y complementamos con una bibliografía general de apoyo.

2. Evaluación del aprendizaje

Mediante esta evaluación se busca obtener información acerca de los logros teórico-prácticos obtenidos por los participantes durante el estudio de los materiales autoformativos y las estrategias de apoyo que se promuevan.

De acuerdo con lo enunciado en el párrafo anterior la evaluación del curso consistirá en los siguientes elementos:

a) Una prueba de conocimientos sobre los temas que conforman el curso se efectuará al final del mismo, posiblemente durante la última semana del mes de Sept. Esta prueba tendrá un valor del 80%.

b) La asistencia y participación en los cuatro encuentros programados durante el desarrollo del curso tendrá un valor del 20%. Esta actividad se incorporó al proceso de evaluación por las siguientes razones:

   i. Permite estimular la participación en grupos de trabajos para compartir experiencias y conocimientos.

   ii. Familiariza a los participantes en la técnica de trabajo interdisciplinario, que será utilizada durante todo el programa de maestría.

   iii. Permite detectar la motivación e interés de los participantes para realizar estudios en alimentación y nutrición.

La nota final mínima para aprobación del curso será de un 70%, en la escala de 1 a 100.

Con el propósito de mejorar la modalidad educativa que hemos utilizado en este curso, como parte de la evaluación elaboramos un cuestionario referido específicamente al proceso de autoaprendizaje efectuado por usted. Le será entregado después de su prueba final, y será para nosotros un valioso instrumento para detectar dificultades y buscar mayores aciertos en futuras experiencias de esta índole. Por tanto, desde ya le solicitamos que nos conteste con la mayor sinceridad posible.

Esperamos que el desarrollo del curso le sea de gran utilidad y motivación para su desempeño profesional, y le sirva como una contribución para el aporte que usted está dispuesto a brindar para mejorar la situación alimentária y nutricional de la población. Le invitamos, pues a empezar, deseándole éxito.

SEGUNDA PARTE

ASPECTOS GENERALES NECESARIOS PARA INICIAR EL ESTUDIO DEL PROCESO ALIMENTARIO Y NUTRICIONAL *

---

* La publicación de este material no tiene fines comerciales, es para uso exclusivo del curso de nivelación.

TABLA DE CONTENIDO

A. AREA DE CIENCIAS QUIMICAS Y BIOLOGICAS 23

1. COMPOSICION DE LA MATERIA 25

2. MEZCLAS: SOLUCIONES, SUSPENSIONES 30

3. COMPUESTOS IMPORTANTES PARA LA VIDA 33

4. COMPONENTES ORGANICOS 35

5. INTRODUCCION AL ESTUDIO DE LA CELULA 41

6. PARTES DE LA CELULA 44

7. ORGANIZACION MULTICELULAR 53

8. DIFUSION Y OSMOSIS 55

9. DNA 58

10. RNA 63

11. SINTESIS PROTEICA 65

12. CROMOSOMAS 69

13. NUTRIENTES 71

14. EL SISTEMA DIGESTIVO 78

15. EL SISTEMA ENDOCRINO 84

16. ENZIMAS 90

17. METABOLISMO INTERMEDIO 93

18. FISIOLOGIA DE LOS VEGETALES 95

19. FACTORES DE DESCOMPOSICION DE LOS ALIMENTOS 129

B. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA 206

A. AREA DE CIENCIAS QUIMICAS Y BIOLOGICAS

- **Objetivo General:**

  Al concluir el estudio de esta parte el participante estará en capacidad de utilizar los conocimientos fundamentales de las áreas biológica y química que se requieren para estudiar el proceso alimentario nutricional.

- **Objetivos Específicos:**

  El participante estará en capacidad de:

  - **Describir los aspectos generales relacionados con la composición de la materia, componentes y función celular, síntesis proteica, nutrientes, sistema digestivo y endocrino y metabolismo.**

  - **Identificar las semejanzas y diferencias entre las células vegetales y animales.**

  - **Describir la fisiología de los vegetales en relación con los procesos de fotosíntesis y respiración.**

  - **Relacionar la fisiología de los vegetales y las condiciones post cosecha con los factores de descomposición de alimentos.**

1. Composition of Matter

Everything in the universe is made up of matter. This includes all living things, from amebas to whales, from bacteria to giant sequoias. Matter is anything that occupies space and has mass. Mass is the quantity of matter an object has. The pull of gravity on the mass of an object gives the object the property of weight.

Changes in matter are essential to all life processes. For example, when an organism takes in food, it alters the physical and chemical properties of the food. Such changes allow the organism to make use of the nutrients in the food. By learning how changes in matter occur you will gain an understanding of organisms and how they adapt to the environment.

Atoms

The atom is the fundamental unit of matter. The nature and properties of atoms determine the structure and behavior of matter. Atoms are about 10 nm in diameter. Thus they can be observed only with a very powerful electron microscope, and even then the internal structure cannot be observed. However, through experimentation, scientists have developed models that describe the structure and behavior of the atom.

Figure 3-1 shows a simplified model of the atom. The various components that make up an atom are called subatomic particles. The central core, or nucleus, consists of two kinds of subatomic particles. One, the proton, has a positive electrical charge. The other, the neutron, has no electrical charge. Most of the mass of the atom is concentrated in the nucleus. Electrons are particles with a negative electrical charge that move about the nucleus at tremendous speeds. An atom has an equal number of protons and electrons. The electrical charges of these particles offset one another, so that the net electrical charge of the atom is zero.

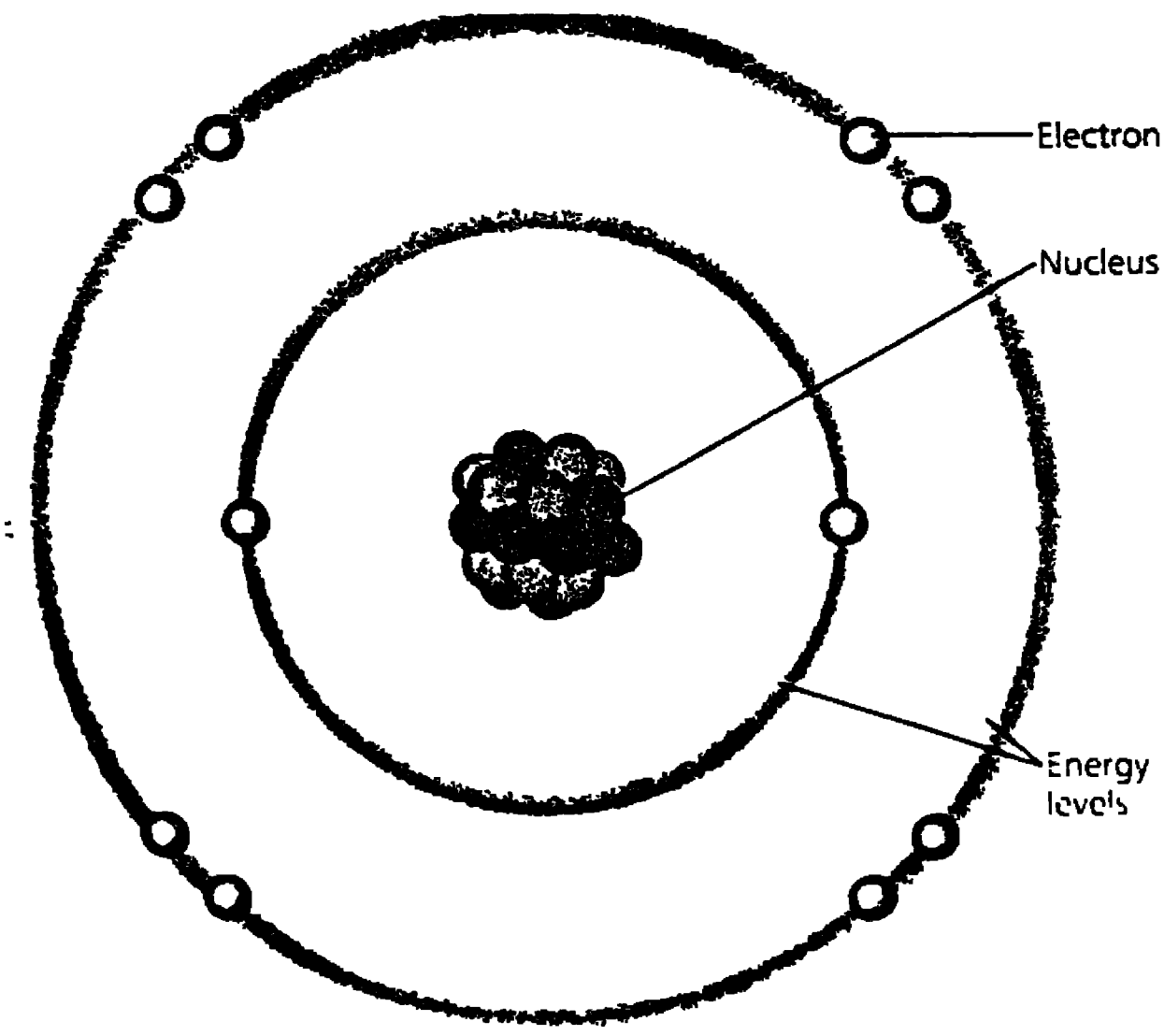


Figure 3-1 The electrons in this model of a neon atom are distributed into two energy levels. The innermost level holds a maximum of two electrons. The second level has a maximum of eight electrons

Section Objectives

- *Draw a model of the structure of the atom.*
- *Define* element, isotope, *and* radioisotope.
- *Define* compound, *and list two properties of compounds.*
- *Contrast two types of chemical bonds*
- *Describe the experimental data on which Rutherford formulated his model of the atom*

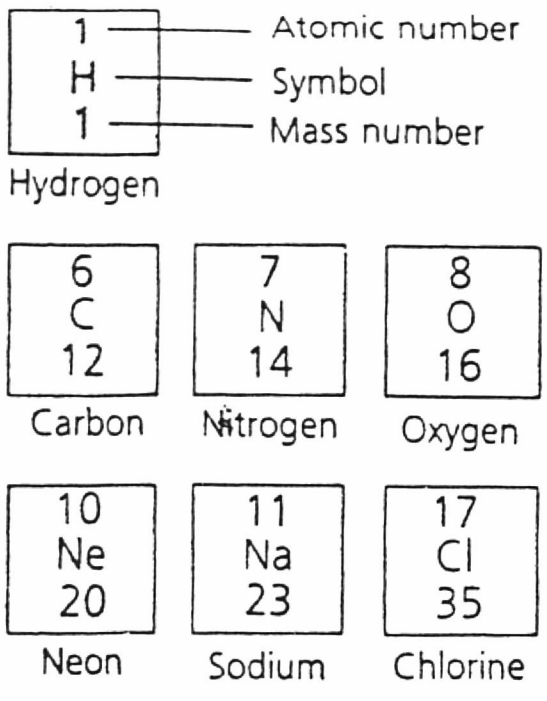


Figure 3-2 The chemical symbol, atomic number, and mass number of six common elements are shown here. What is the mass number of sodium? How many neutrons does sodium have?

Elements

Elements are substances that cannot be broken down chemically into simpler kinds of matter. Each element has a unique chemical symbol. More than 100 elements have been identified. Ninety-two elements occur in nature. The rest have been synthesized in physics laboratories.

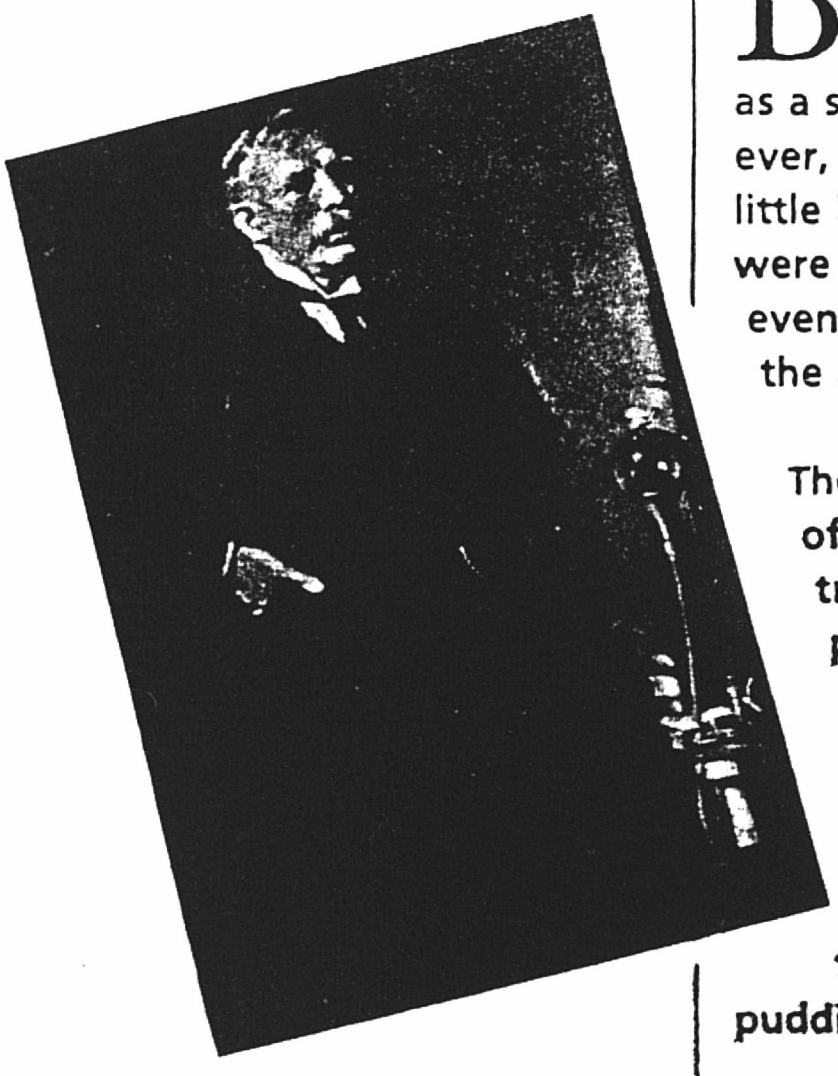
Each atom of any element has the same number of protons. The number of protons in an atom is called the **atomic number** of the element. For example, since each atom of the element carbon has six protons, the atomic number of carbon is 6.

Isotopes

Although in any given element the number of protons in each atom is the same, the number of neutrons can vary. Atoms of the same element that differ in the number of neutrons they contain are called **isotopes.** Most elements have two or more isotopes. The **mass number** is the sum of the protons and neutrons in an atom. For each element shown in Figure 3-2 the mass number for the most common isotope is given just below the chemical symbol.

Biology in Process

Developing a Model of the Atom



By the late 1800s the electron had been identified as a subatomic particle. However, at the time scientists had little idea of where electrons were located in the atom or even of what the structure of the atom was.

The British scientist J. J. Thomson proposed a model of the atom in which electrons were embedded in positive matter of the atom like "raisins in a plum pudding." This model was accepted until scientist Ernest Rutherford produced data that did not fit the "plum pudding" model.

In the early 1900s Rutherford, who was born in New Zealand, conducted several experiments in which he directed a beam of fast-moving positively charged particles called alpha particles toward thin sheets of gold. He used both photographic plates and a Geiger counter to detect the paths of the alpha particles after they hit the gold sheets.

Most of the alpha particles passed directly through the gold as would be expected from the plum pudding model. However, Rutherford was shocked to observe that a few of the particles bounded back. Rutherford used this observa-

Radioisotopes

Some isotopes have unstable nuclei—that is, their nuclei tend to release particles or radiant energy or both. Such isotopes are called radioactive isotopes or **radioisotopes.** When the nucleus of a radioisotope emits radiation, the number of protons or neutrons in the nucleus is reduced.

Radioisotopes are useful in certain types of biological experiments because the radiation can be detected. A botanist, for example, can add a radioisotope of phosphorus to the soil. The botanist can trace the movement of phosphorus through the plant by measuring the radiation present in various parts of the plant at various times.

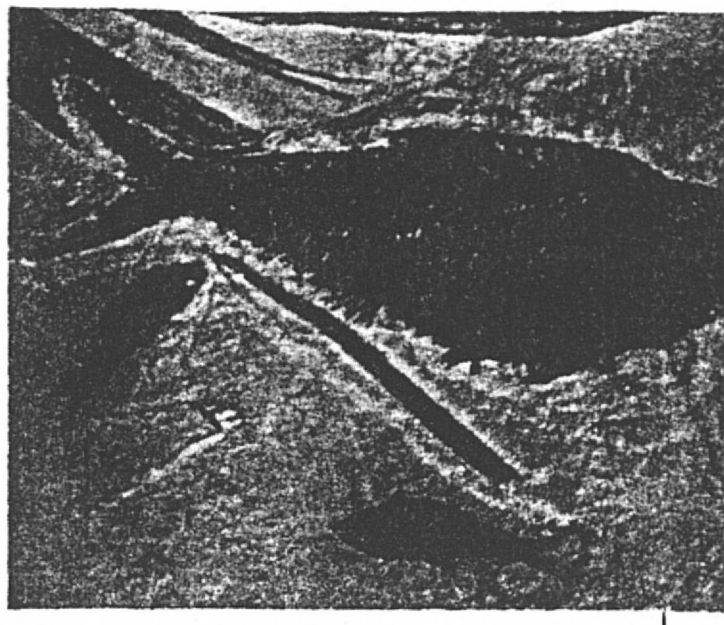
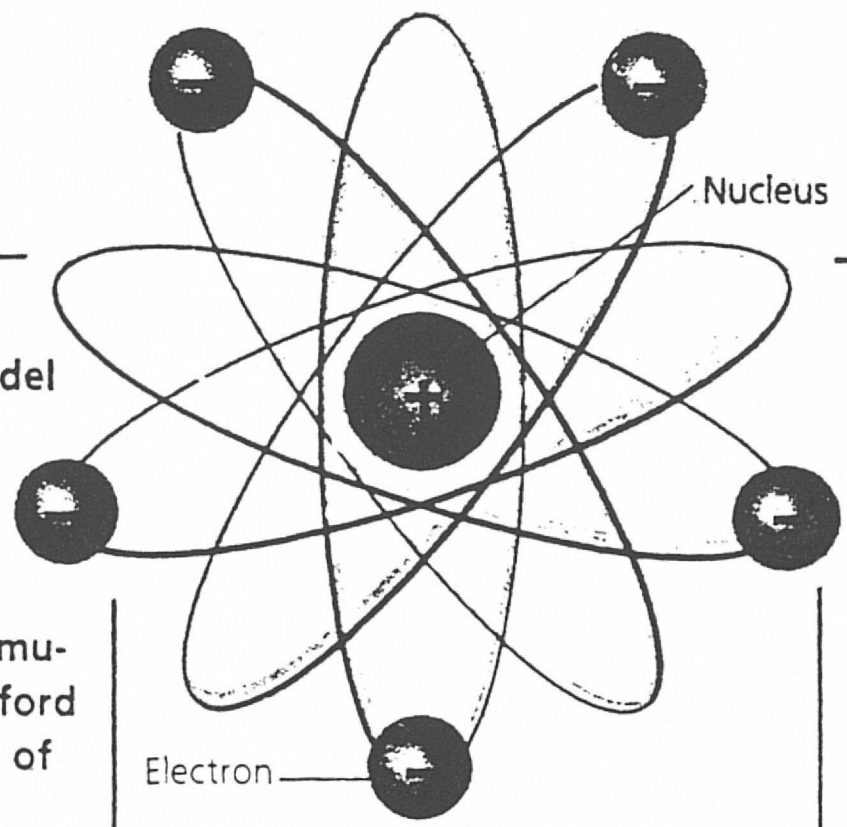


Figure 3-3 By studying the proportion of certain radioactive isotopes in a fossil, scientists can determine its age. A commonly used isotope for dating organisms is carbon-14.

Compounds

Compounds consist of atoms of two or more elements that are joined by chemical bonds. In a compound the proportions of individual atoms are fixed. For example, in the compound water the atoms of hydrogen (H) and oxygen (O) are always in a proportion



tion to formulate a new model of the atom, and he presented this model in 1911.

Study the picture of the Rutherford atom as you read about Rutherford's formulation of this model. Rutherford reasoned that because most of the alpha particles passed through the gold sheets undeflected, the atoms, of which the gold sheets were composed, must consist mainly of empty space.

From the scattering of the alpha particles Rutherford inferred that only a concentrated mass of positively charged material could repel the alpha particles, which were also positively charged. Only a large, concentrated mass could deflect them at the large angles he detected in his experiment. From these observations, he inferred the existence of the nucleus—a dense, central, positively charged core.

Rutherford then speculated that electrons were arranged around this positive core in the way that rings are arranged around Saturn. He also realized, however, that compared to the entire atom, the nucleus must be relatively very small.

Since Rutherford's time scientists have modified the model of the atom. Experiments have revealed more about the nature of the nucleus and about the arrangement of electrons around the nucleus. Yet Rutherford's experiments and model were a crucial stage in the process of modeling the atom.

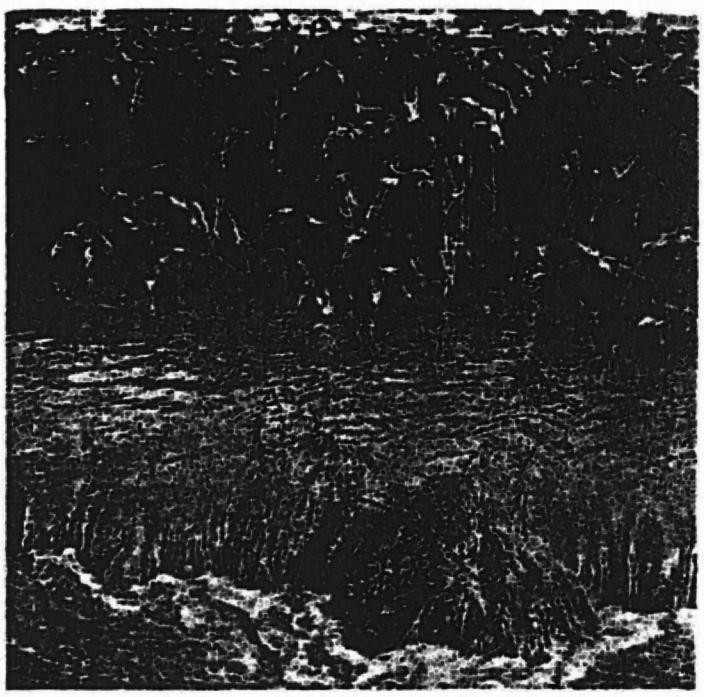
- How did Rutherford use inferring and modeling to formulate his concept of the atom?

of 2 to 1. A chemical formula shows the kind and proportion of atoms that form a particular compound. The chemical formula for water is H_2O. A compound differs in physical and chemical properties from the elements that compose it. For example, in nature the element oxygen is usually found as a gas (O_2) and the element hydrogen is usually found as a gas (H_2). However, when oxygen gas and hydrogen gas combine, they form the compound water (H_2O), a liquid.

How elements combine to form compounds depends on the number and arrangement of the electrons in the atoms. Experiments show that higher-energy electrons are located at a greater distance from the nucleus than lower-energy electrons are. Thus scientists have developed a model of the atom in which electrons occupy discrete energy levels at varying distances from the nucleus. Figure 3-1 illustrates this model.

According to the model each energy level can hold only a certain number of electrons. For example, the level nearest the nucleus can hold only two electrons. The next level can hold up to eight electrons. Most elements are most stable when the outermost energy level contains eight electrons. An important exception relevant to biology is hydrogen, which is most stable when its outer energy level contains two electrons. Aside from helium, neon, and a few other elements, most elements do not have such a stable configuration of electrons in their atoms. Hence most elements undergo reactions that cause their atoms to become stable. These reactions involve forming bonds with other atoms.

Think



Many minerals needed by plants can be washed away by rain. Calcium, potassium, and sodium compounds are nutrients essential for the growth of plants. These nutrients occur as positively charged ions, which allows them to bind to negatively charged particles in the soil. Why is it important that calcium, potassium, and sodium ions can bind to soil?

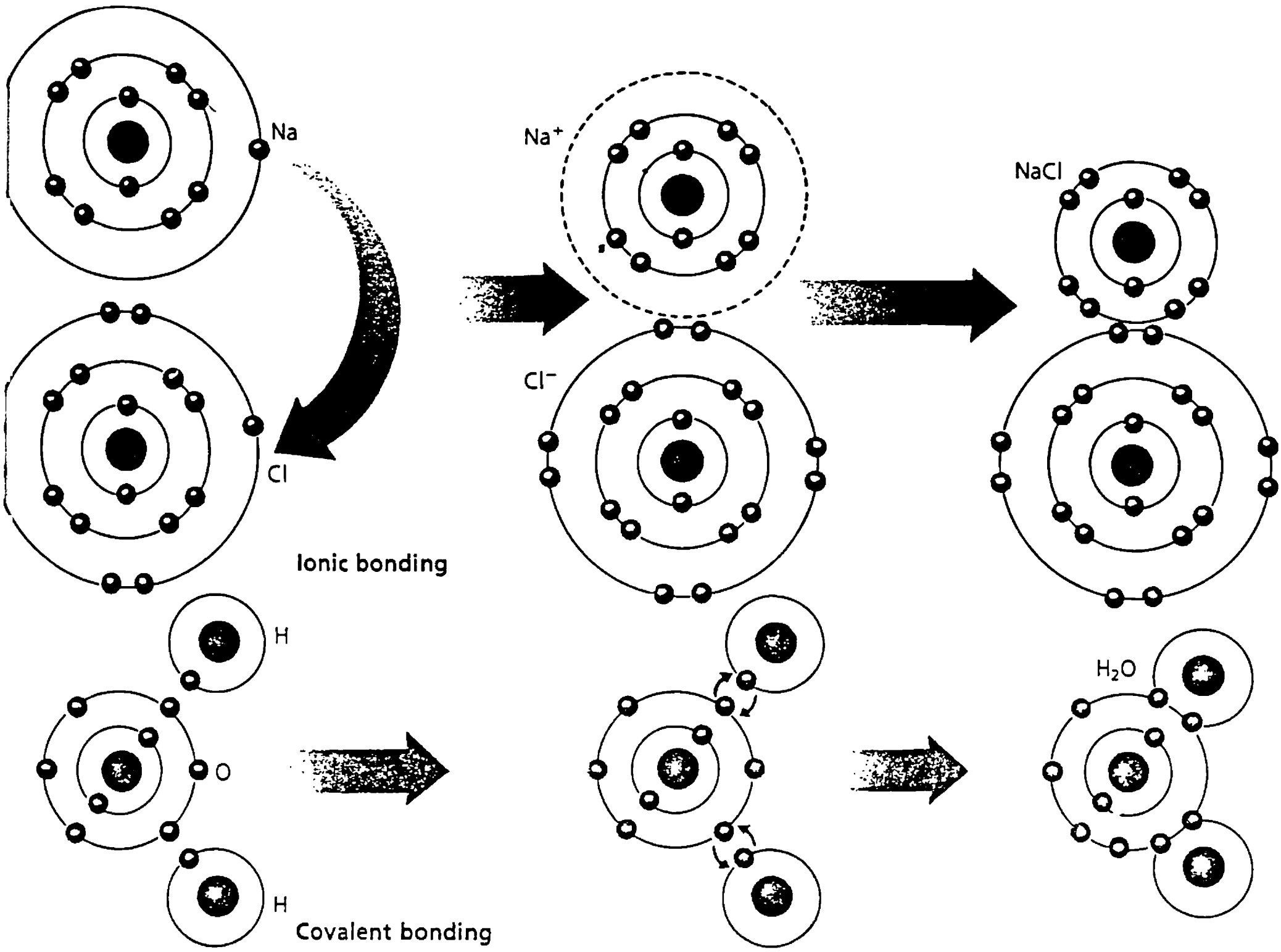
Ionic Bonds

Figure 3-4 shows how sodium and chlorine bond to form table salt. Note that the sodium atom has one electron in its outer energy level and that the chlorine atom has seven electrons in its outer energy level. Remember that most atoms are stable when their outer energy level contains eight electrons.

The diagram shows that when sodium and chlorine interact, the outer electron of the sodium atom moves to the chlorine atom. Afterward sodium and chlorine each have eight electrons in their outer energy level. In this process each atom becomes an **ion**—an atom or a polyatomic particle with an electrical charge. Sodium has lost an electron, and thus it becomes a positively charged ion, abbreviated as Na^+. Chlorine has gained an electron. Thus it becomes a negatively charged ion, chloride, abbreviated as Cl^-.

Because positive and negative charges attract each other, the sodium ion and the chloride ion attract each other and form a bond based on this attraction. Such a bond is an **ionic bond**. The resultant compound, in this case NaCl, is an ionic compound.

Ions are important in a number of biological processes. The elements that plants absorb from the soil—such as magnesium, nitrogen, iron, phosphorus, potassium, and calcium—are all in ionic form. Sodium and potassium ions play a major role in the transmission of nerve impulses in the human body.



Covalent Bonds

A covalent bond forms when two atoms share one or more pairs of electrons. Water is made up of one oxygen atom and two hydrogen atoms held together by covalent bonds. Since hydrogen has one electron, it needs another to give it the stable arrangement of two electrons in its outer energy level. Since oxygen has six electrons in its outer energy level, it needs two more electrons to give it the stable arrangement of eight electrons. The hydrogen and oxygen atoms gain stability by sharing pairs of electrons.

A molecule is a group of atoms held together by covalent bonds. Many substances important in biology are molecules, including carbon dioxide (CO_2) and water. A molecule can be represented either by a chemical formula, such as H_2O, or by a structural formula, such as H—O—H. The structural formula shows the arrangement of atoms in the molecule.

Figure 3-4 Table salt forms through the ionic bonding of sodium ions and chlorine ions (top). Water forms through the covalent bonding of hydrogen atoms and oxygen atoms (bottom).

Section Review

1. Define *element*, *isotope*, and *radioisotope*.
2. How are subatomic particles arranged in the atom?
3. What are two properties of compounds?
4. How does an ionic bond differ from a covalent bond?
5. How would medical researchers use radioactive substances to trace the movement of substances in the body?

Section Objectives

- *Compare and contrast mixtures and compounds.*
- *List some characteristics that distinguish solutions from other mixtures.*
- *Define* suspension, *and give an example of one.*
- *Compare the sol state and the gel state of a colloid.*
- *Contrast properties of acids and bases.*

2. Mixtures

In a compound the combined substances do not retain their original chemical properties. In a mixture, however, the combined substances do retain their original chemical properties. For example, if sand and salt are mixed, neither changes chemically. How are the different types of mixtures important in biology?

Solutions

A **solution** is a mixture in which one or more substances are uniformly distributed in another substance. The **solute** is the substance being dissolved in the solution; the particles that compose a solute may be ions, atoms, or small molecules. The **solvent** is the substance in which the solute is dissolved. When sugar, a solute, and water, a solvent, are mixed, a solution of sugar water results. Though the sugar dissolves in the water, neither the sugar molecules nor the water molecules are altered chemically.

Solutions can be composed of various proportions of a given solute in a given solvent. Thus solutions can vary in concentration. The **concentration** of a solution is a measurement of the amount of solute dissolved in a fixed amount of solution. The more solute dissolved, the greater the concentration of the solution. For example, sugar can be added to a glass of water, spoonful by spoonful, increasing the concentration of the solution. At some point, however, sugar will no longer dissolve in the solution. The solution is then said to be saturated.

Solutions can be mixtures of liquids, solids, or gases. Brass, for example, is a solid solution, formed by cooling a mixture of liquid zinc and liquid copper. Most biologically important solutions, however, are those in which gases, liquids, or solids are dissolved in water. Aqueous solutions—solutions in which water is the solvent—are universally important to living organisms. Marine microorganisms spend their lives immersed in the sea, an aqueous solution. Most nutrients that plants need are in aqueous solution in moist soil. Plasma, the liquid part of the blood, is an aqueous solution containing dissolved nutrients and gases. Body cells exist in an aqueous solution of intercellular fluid.

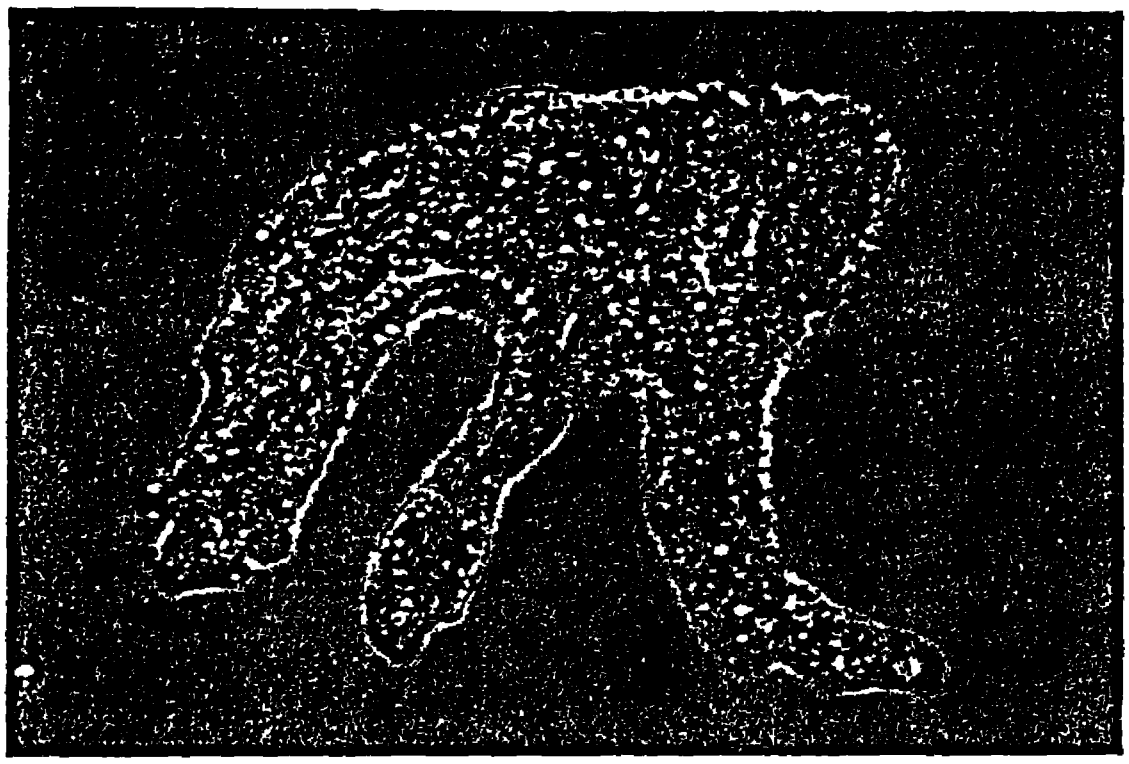


Figure 3-5 Marine microorganisms, such as these zooplanktons and phytoplanktons, live in aqueous solutions.

Suspensions

A **suspension** is a mixture in which particles spread through a liquid or a gas but settle out over time. Waves on a beach can form a suspension of sand and water. The whipping of the wind can form a suspension of dust particles in the air. The particles in a suspension are larger than solute particles in a solution.

One suspension of importance in biology is blood. Red corpuscles and white blood cells are suspended in the plasma. The motion of blood coursing through blood vessels keeps these blood



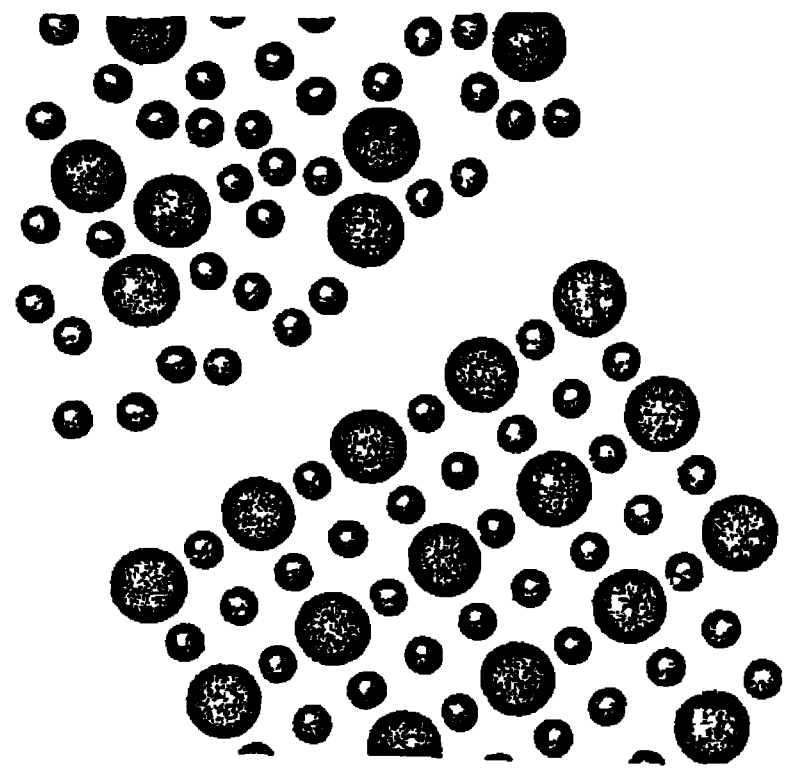


Figure 3-6 An ameba (left) moves as the cytoplasm near the membrane changes from a gel to a sol. The sol changes back to a gel as the molecules become arranged in a loose network (right).

cells distributed throughout the plasma. However, blood in an undisturbed test tube soon becomes separated into layers, with the blood cells settling to the bottom of the test tube.

Colloids

Colloids *(KAHL-OIDZ)*, also called colloidal suspensions, are mixtures in which, like solutions, particles do not settle out over time. However, particles in a colloid are intermediate in size between particles in a solution and those in a suspension.

Colloids can exist in a sol state or a gel state. For example, a colloid is formed when warm water and gelatin powder are mixed. The colloid is first a liquid called a **sol**. When the mixture cools, the gelatin molecules become arranged in a way that forms a loose network, and the colloid becomes a **gel**, a semisolid colloid. A colloid can change from a sol to a gel and back to a sol.

Cytoplasm, the material inside of cells, is an example of a colloid important in biology. Cytoplasm in the gel state helps maintain cell shape. For example, in an ameba the cytoplasm away from the cell membrane is in a gel state and helps maintain the shape of the organism. Cytoplasm near the membrane is often in a sol state. The change from sol to gel and back causes locomotion in amebas, as shown in Figure 3-6.

Acids and Bases

The health and functioning of a living thing depend on the chemical makeup both of the organism's internal environment and of the external environment. One of the most important aspects of an environment is the degree of its acidity or alkalinity.

Acidity or alkalinity is a measure of the relative amounts of hydronium ions (H_3O^+) and hydroxide ions (OH^-) dissolved in a solution.. In water these ions form naturally: water molecules break up, or dissociate, to form hydrogen ions (H^+) and hydroxide ions (OH^-). The hydrogen ions spontaneously recombine with water molecules to form hydronium ions (H_3O^+). Pure water contains equal numbers of hydronium ions and hydroxide ions; thus water is a neutral solution.

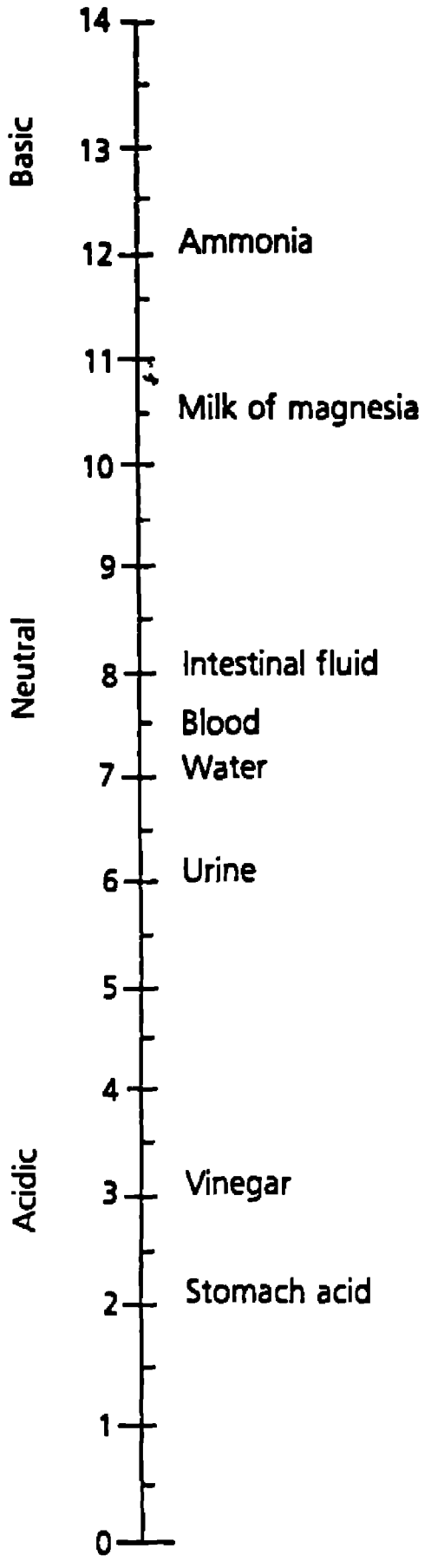


Figure 3-7 The pH scale indicates the relative concentrations of hydroxide ions and hydronium ions in a solution. Some litmus paper turns red in acidic solutions and blue in alkaline solutions.

Acids

If hydrogen chloride (HCl) is dissolved in water, some of its molecules dissociate to form hydrogen ions (H^+) and chloride ions (Cl^-). The hydrogen ions combine with water molecules to form hydronium ions. Such an aqueous solution then contains many more hydronium ions than hydroxide ions and is therefore defined as an **acid solution.** Acid solutions are often just called acids. Acids tend to have a sour taste; they produce a tingling or burning sensation if they come into contact with the skin. In concentrated forms they are highly corrosive. Citric acid, found in oranges, lemons, and grapefruit, is an example of a common acid of biological significance.

Bases

If sodium hydroxide (NaOH) is dissolved in water, some of its molecules dissociate to form sodium ions (Na^+) and hydroxide ions (OH^-). Such a solution contains many more hydroxide ions than hydronium ions and is therefore defined as a **base solution.** Base solutions are often called bases. The adjective *alkaline* refers to bases. Bases have a bitter taste; they tend to feel slippery. Ammonium hydroxide (NH_4OH), a waste product given off by many living organisms, is an example of a base found in nature.

pH

Scientists have developed a scale for measuring the relative concentrations of hydronium ions and hydroxide ions in a solution. It is called the **pH scale** and ranges from 0 to 14, as shown in Figure 3-7. A solution with a pH of 0 is very acidic; a solution with a pH of 7 is neutral; a solution with a pH of 14 is very basic. The pH of a solution can be measured electronically or with litmus paper, a treated paper that changes color at various pH levels.

The control of pH is important for living systems. For example, the chemicals that digest nutrients in the stomach can work only in an acidic environment. Glands in the stomach secrete acids that lower the pH of the food as it enters the stomach. These acids have a pH of about 2. The chemicals that digest nutrients in the intestine, on the other hand, can function only in a more basic environment. Glands that empty into the intestine secrete bases to raise the pH of the fluid that enters the intestines. These bases have a pH of about 8.

Section Review

1. How do mixtures differ from compounds?
2. What is a solution?
3. Why is blood considered an example of a suspension?
4. How do the compositions of an acid and a base differ?
5. If all the cytoplasm in a cell changed permanently to a gel, the cell would die. Explain why this is true.

3. Compounds Important to Life

Biologists classify compounds into organic compounds and inorganic compounds. **Organic compounds** are derived from living things and contain carbon. **Inorganic compounds** are generally derived from nonliving things. Both organic and inorganic compounds are important to life. In this section you will learn about water and carbon compounds, both of which are essential to living things.

Water

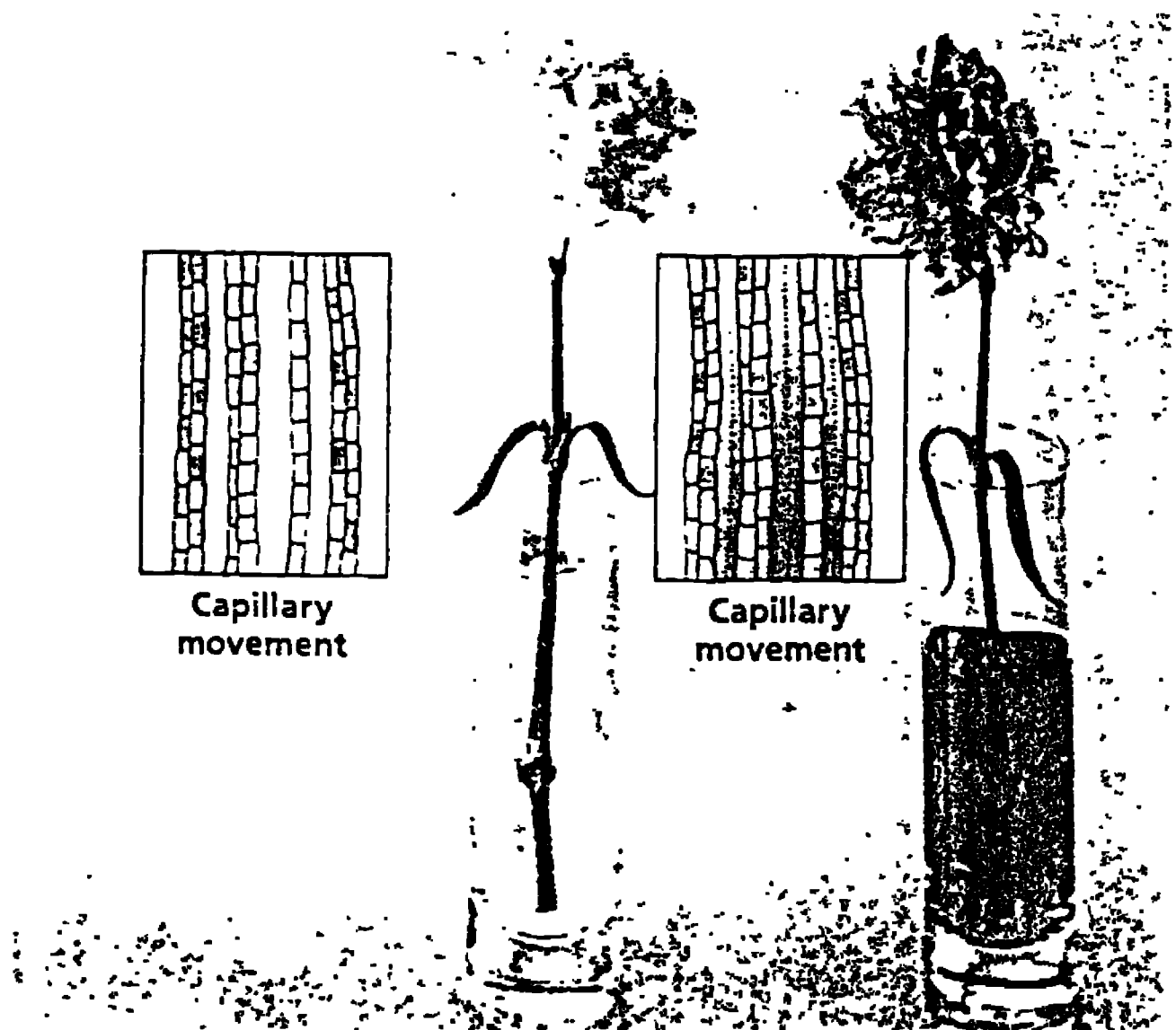
Water, an inorganic molecule, has unique properties that make it one of the most important compounds for living things. In the water molecule (H_2O) the hydrogen and oxygen atoms bond so that the electrical charge is unevenly distributed. The area of the molecule containing oxygen has a slightly negative charge, and the areas containing hydrogen have slightly positive ones. Because of this uneven charge, water is called a **polar compound.**

Because water is a polar compound, it is an effective solvent. For example, when ionic compounds interact with water, the compounds often break apart, or dissociate into ions. This splitting or breaking up of an ionic compound frees ions to participate in biological reactions. Most polar molecules also tend to dissolve in water.

Water molecules and the molecules of solid surfaces are attracted to each other. This phenomenon, called adhesion, gives water its property of capillarity—the ability to spread through fine pores or to move upward through narrow tubes against the force of gravity.

Section Objectives

- *Define* organic, inorganic, *and* polar compounds.
- *Summarize the way in which polarity in the water molecule gives water its unique properties and makes it essential for life.*
- *Describe why carbon readily combines with other elements, and discuss its significance in living things.*
- *Compare condensation reactions and hydrolysis.*



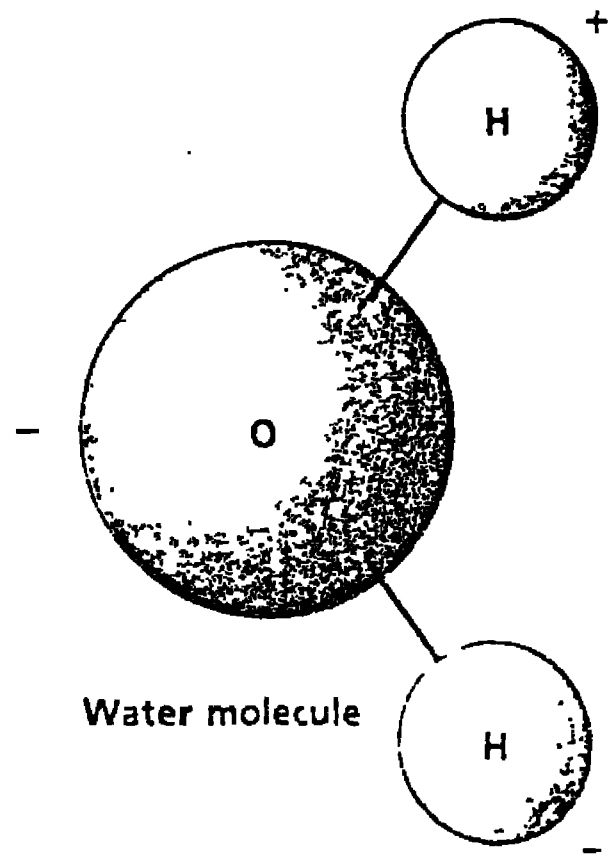


Figure 4-1 Attraction between water molecules and the molecules of a solid surface can result in capillarity, which allows water to flow against the force of gravity.

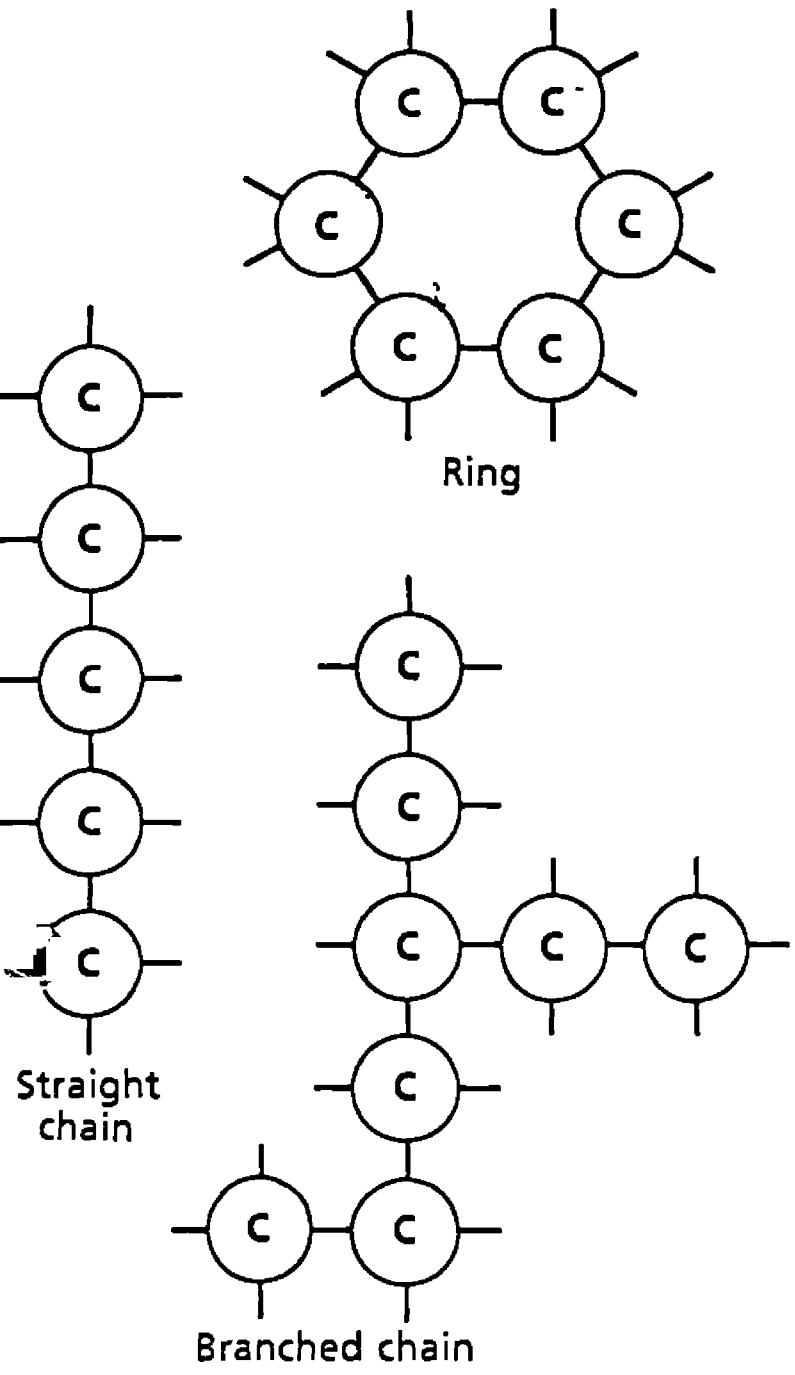


Figure 4-2 A carbon atom, with only four electrons in its outer energy level, readily bonds with other carbon atoms in various formations.

The uneven electrical charge in the water molecule causes the molecules to bond with one another. This phenomenon, called **cohesion**, explains why water heats up and cools down slowly in comparison with other substances. When water is heated, most of the heat energy goes into breaking the bonds between the molecules. Only after the bonds have been broken will the heat energy increase the motion of the molecules and thus raise the temperature of the water. In organisms, the cohesive property of water helps keep cells at an even temperature despite temperature fluctuations in the environment.

Carbon Compounds

As you learned in Chapter 3, the carbon atom has four electrons in its outer energy level. Remember that atoms become stable when their outer energy level contains eight electrons. Carbon, therefore, readily forms four covalent bonds with other elements. As shown in Figure 4-2 carbon also bonds to other carbon molecules, forming straight chains, branched chains, or rings. Because carbon can bond in such a variety of ways, organic compounds exhibit great variability. This variability is responsible for the great variation among living things. Among the most familiar organic compounds are sugars, fats, and proteins. Each of these kinds of organic compounds results from the unique bonding properties of carbon.

Many carbon compounds that are essential for life are polymers, compounds consisting of repeated linked units. Each unit in a polymer is called a **monomer** and consists of a simple molecule. Large polymers are called **macromolecules.**

Monomers link together, often forming polymers through a chemical reaction called a condensation reaction. In a condensation reaction, also called dehydration synthesis, the reactants give off a hydrogen ion (H^+) and a hydroxide ion (OH^-), which in turn combine to produce a water molecule (H_2O). Conversely, the breakdown of some polymers into monomers occurs through a reversal of this process, called hydrolysis. In hydrolysis *(hie DRAHL-uh-suss)* a water molecule splits into a hydrogen ion and a hydroxide ion. As the polymer breaks apart, the hydrogen and hydroxide ions each combine with one of the monomers.

Section Review

1. Distinguish between *organic* and *inorganic compounds.*
2. What properties make water essential for living things?
3. What property allows carbon compounds to exist in a number of forms?
4. How does the reactive process by which polymers bond differ from the process by which they dissociate?
5. The cohesion between water molecules gives water a high boiling point. Why might this be important for living things

4. Organic Compounds

For all living organisms four types of organic compounds are essential: carbohydrates, lipids, proteins, and nucleic acids. As you read, study the structure of each organic compound shown in Figure 4-3 and note its function in the cell.

Carbohydrates

Carbohydrates are organic compounds composed of carbon, hydrogen, and oxygen in a ratio of two hydrogen atoms to one oxygen atom. The number of carbon atoms varies. Carbohydrates exist as monosaccharides, disaccharides, or polysaccharides.

Monosaccharides

A monosaccharide *(MAHN-uh-SACK-uh-ride)*—or simple sugar—contains carbon, hydrogen, and oxygen in a ratio of one to two to one. The most common monosaccharides are glucose, fructose, and galactose. Glucose is manufactured by plants during photosynthesis. It is the main source of energy for both plants and animals and is metabolized during the process called cellular respiration. Fructose is found in fruits and is the sweetest of the monosaccharides. Galactose is found in milk and is usually in

Section Objectives

- *Define* monosaccharide, disaccharide, *and* polysaccharide, *and discuss their significance to organisms.*
- *Relate the structure of lipids to their functions.*
- *Compare the structures of the various types of proteins.*
- *List two essential functions of nucleic acids.*
- *Outline Sanger's experiment for deciphering the structure of insulin.*

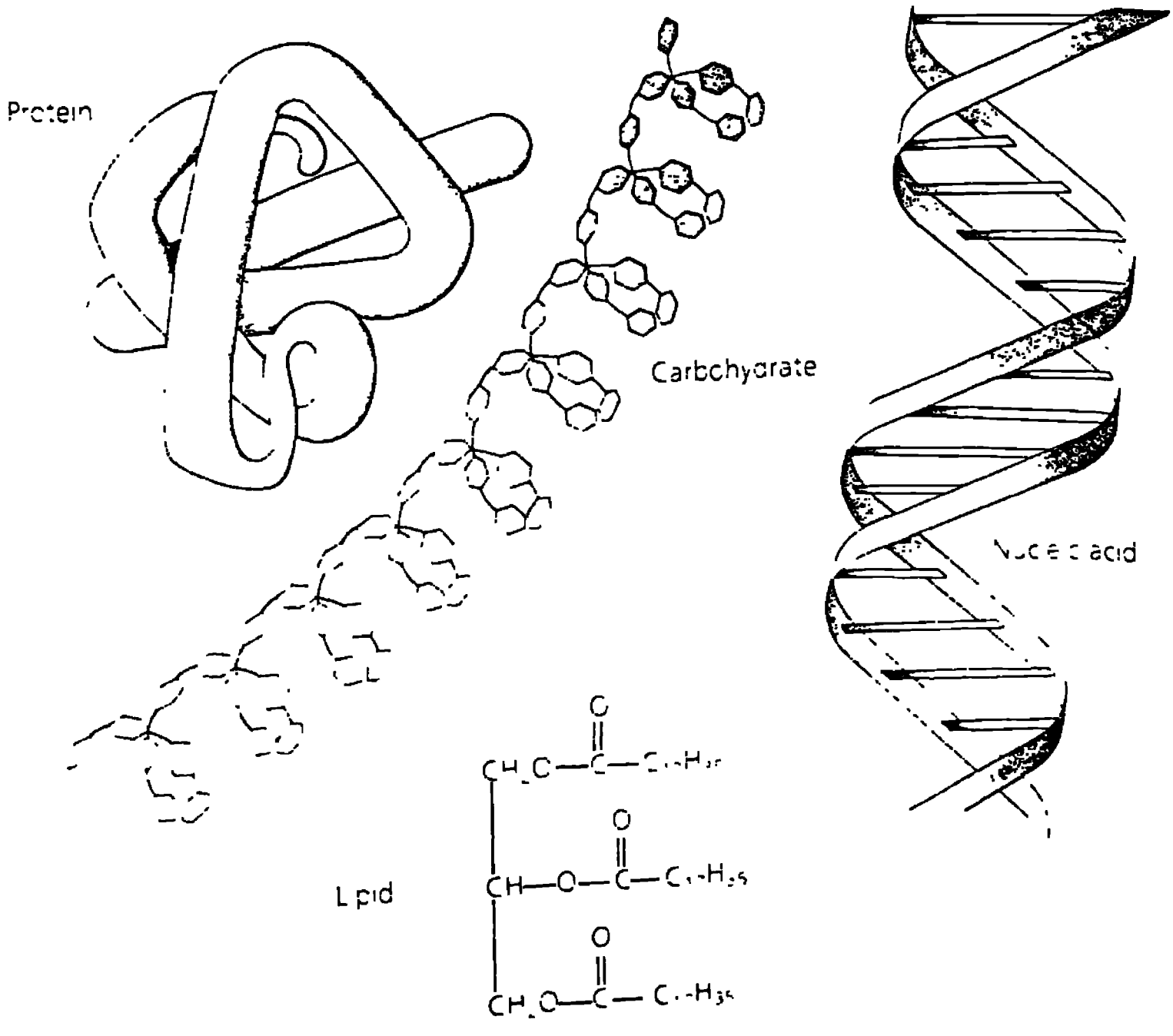


Figure 4-3 The four major kinds of organic compounds are proteins, carbohydrates, nucleic acids, and lipids.

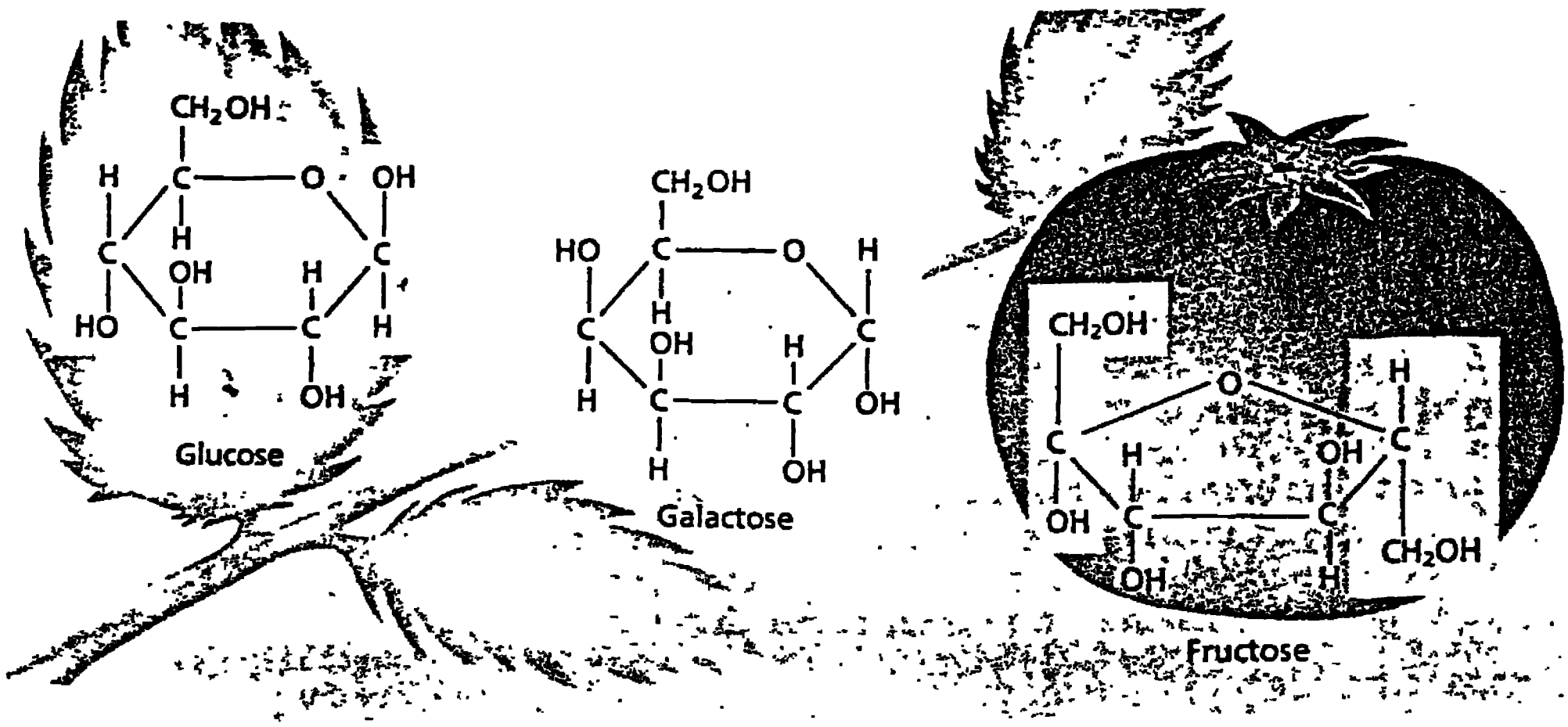


Figure 4-4 The monosaccharides—glucose, galactose, and fructose—all have the same molecular formula although their structures vary.

combination with glucose or fructose. Glucose, fructose, and galactose all have the identical molecular formula, $C_6H_{12}O_6$, but not the same structural formulas. Therefore glucose, fructose, and galactose are isomers—compounds that differ in structure but not in molecular composition. Look at the isomers in Figure 4-4.

Disaccharides and Polysaccharides

In organisms two monosaccharides combine in a condensation reaction forming a double sugar—or disaccharide *(die-SACK-uh-ride)*. Sucrose, a diasaccharide found in sugarcane and sugar beets, is composed of fructose and glucose. Lactose, a diasaccharide found in milk, is composed of glucose and galactose.

A polysaccharide *(PAHL-ih-SACK-uh-ride)* is a complex molecule composed of three or more monosaccharides. Like disaccharides, polysaccharides form through the linking of monosaccharides in condensation reactions. The most important polysaccharides found in living organisms are glycogen, starch, and cellulose.

Animals store glucose in the form of a polysaccharide called glycogen *(GLIE-kuh-jun)*. Glycogen, sometimes called animal starch, consists of hundreds of glucose molecules strung together in a highly branched chain. Plants store glucose in the form of a polysaccharide called starch. Starch molecules have two basic forms—highly-branched chains that are similar to glycogen and long unbranched chains that coil like a telephone cord. Cellulose is a polysaccharide that gives strength and rigidity to the plant cell. In a cellulose molecule thousands of glucose monomers are linked in long, straight chains, which help support plants.

Think



Why would it be to the advantage of an animal, such as a migratory bird, to store energy in the form of lipids rather than in the form of carbohydrates?

Lipids

A lipid is a fatty compound made up of carbon, hydrogen, and oxygen. A lipid molecule has a larger number of carbon and hydrogen atoms and a smaller number of oxygen atoms than carbohydrates do. Fats, oil, and waxes are lipids. Unlike the other organic compounds, lipids do not dissolve in water.

The cell membrane is composed mostly of lipids. The insolubility of the lipids in water allows the membrane to form a barrier between the aqueous environments inside and outside the cell. Lipids also store energy efficiently. The lipid molecule has a relatively large number of carbon–hydrogen bonds, which store more energy than the carbon–oxygen bonds more common in the molecules of other organic compounds.

Fatty Acids

Fatty acids are the monomers that make up most lipids. Figure 4-5 shows that a fatty acid is composed of a long, straight hydrocarbon chain with a carboxyl (COOH) group attached at one end.

The contrasting properties of the two ends of the fatty acid molecule account for the characteristics of lipids. The carboxyl end of the fatty acid molecule is polar. Thus it is attracted to water molecules, which are also polar. Because of this attraction the carboxyl end of the fatty acid molecule is said to be **hydrophilic** *(HIE-druh-FIL-ick)*, which means that it is "water loving."

In contrast, the hydrocarbon end of the fatty acid molecule is nonpolar. It tends not to interact with water molecules and in effect repels water. The hydrocarbon end of the fatty acid molecule is said to be **hydrophobic** *(HIE-druh-FOE-bick)*, or "water fearing." In cell membranes the hydrophilic ends of the fatty acid molecules are oriented to the aqueous side of the membrane and the hydrophobic ends are oriented to the center of the membrane.

Triglycerides, Waxes, and Steroids

Three kinds of lipids exist: triglycerides, waxes, and steroids. A **triglyceride** *(trie-GLISS-uh-ride)* is a type of lipid in which the macromolecule is composed of three molecules of fatty acids joined to one molecule of glycerol. Each fatty acid molecule combines with the glycerol molecule through a condensation reaction. There are two main types of triglycerides. Triglycerides that are liquid at room temperature are called oils. The triglycerides found in plants are usually oils. These are often found in seeds, where they serve as an energy source for sprouting plants. Triglycerides that are solid at room temperature are called fats. The triglycerides found in animals are usually fats.

A **wax** is a type of lipid in which the molecule consists of a long fatty acid chain joined to a long alcohol chain. These long chains make waxes highly waterproof. In plants, wax forms a protective coating on the outer surfaces. In animals, wax forms protective layers, too. For example, earwax forms a barrier that keeps microorganisms from entering the middle ear.

In contrast with most other lipid polymers, which are composed of fatty acids, a **steroid** *(STIR-OID)* is a lipid in which the molecule is composed of four carbon rings. Steroids are considered lipids because they do not dissolve in water. Steroids are found in substances as varied as hormones, nerve tissue, toad venoms, and plant poisons.

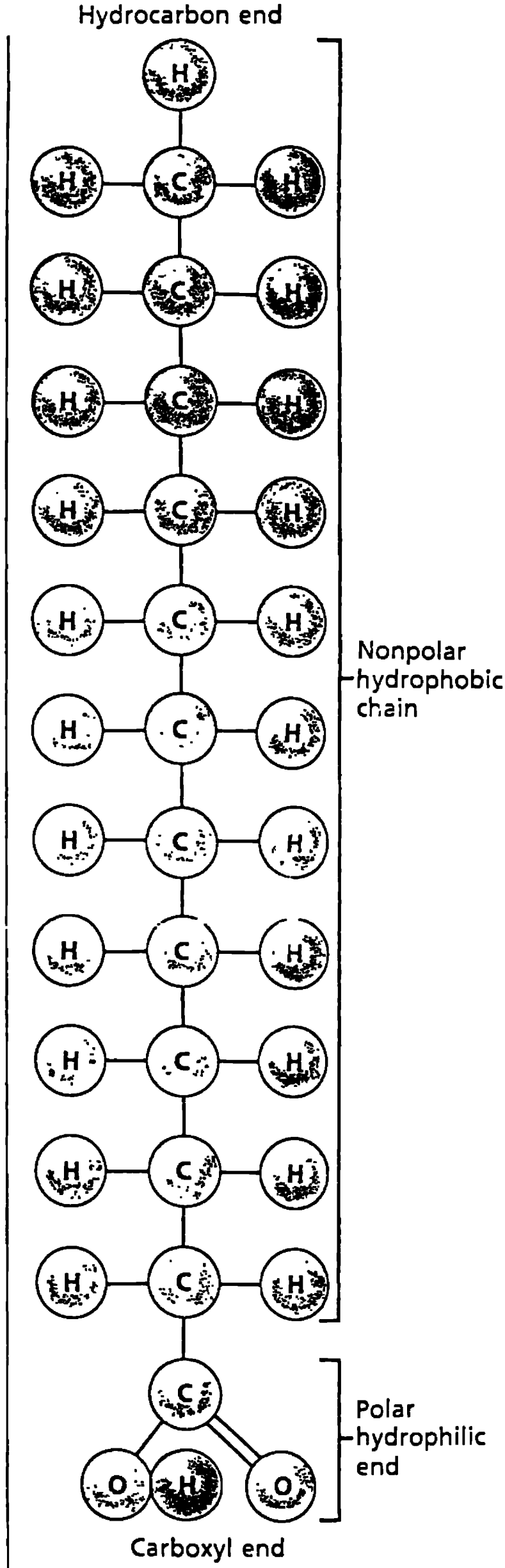


Figure 4-5 A fatty acid consists of a chain of carbon atoms. At the "head" end of each fatty acid is a carboxyl group; this end is polar. The hydrocarbon, nonpolar, end is the "tail."

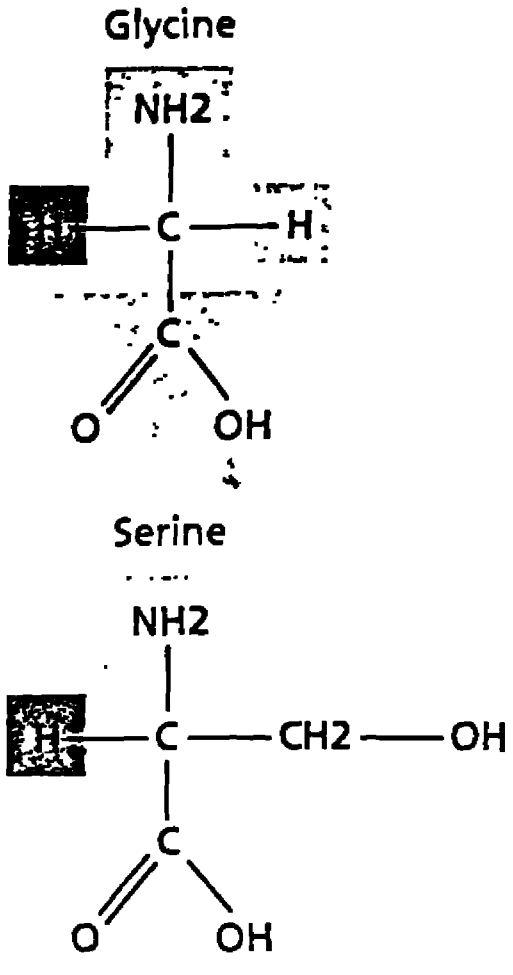


Figure 4-6 Glycine and serine contain the same elements but in different amounts. How does the structure of glycine differ from that of serine?

Proteins

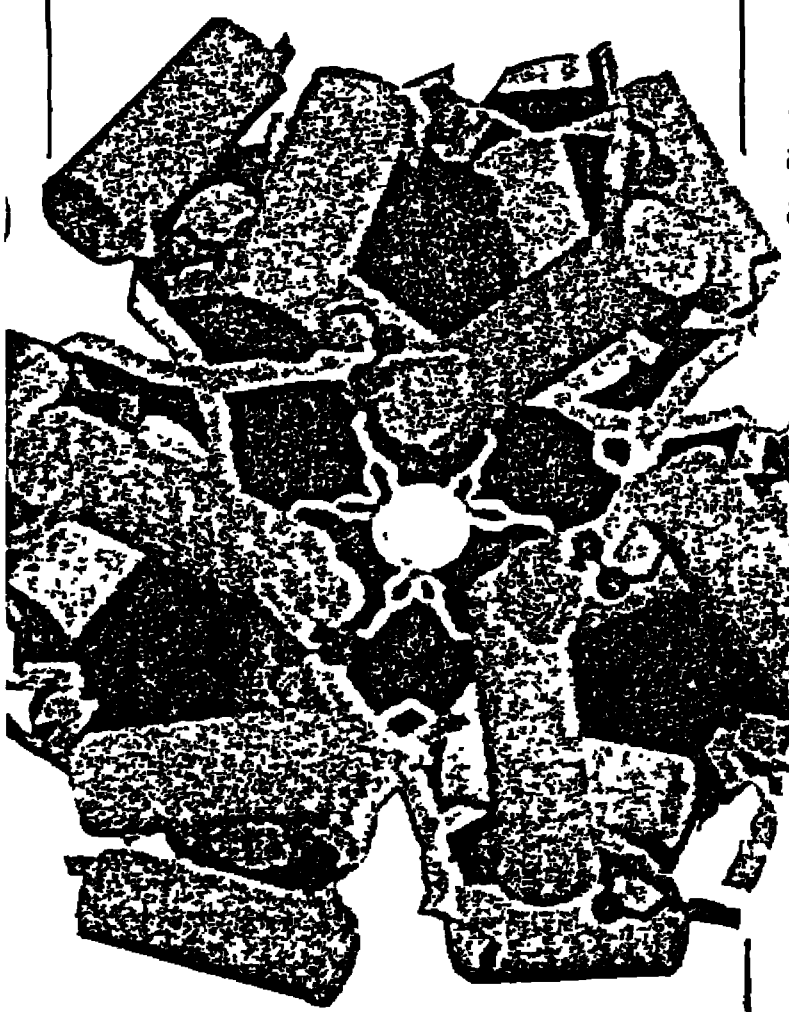
Proteins are organic compounds composed mainly of hydrogen, oxygen, carbon, and nitrogen. Formed from the linkage of monomers called amino acids, which you will read about below, proteins are structural and functional compounds of universal importance in cells and thus in organisms. The skin and muscles of animals are made up mostly of proteins, as are the chemicals that are essential for the life processes in both plants and animals. Each species of organism has thousands of unique proteins.

Amino Acids

The 20 **amino acids**—monomers that form proteins—share the same basic structure. As Figure 4-6 shows, each amino acid contains a central carbon atom to which four other atoms or groups of atoms bond covalently. A single hydrogen atom, shown in orange, bonds at one site. A carboxyl group (COOH), shown in green, bonds at a second site. An amine group (NH_2), shown in blue, bonds at the third site. A group of atoms called the R group, shown in yellow, bonds at the fourth site. The differences between kinds of amino acids result from different R groups.

Biology in Process

Analyzing the Structure of a Protein



In 1943 the British scientist Frederick Sanger set out to analyze the sequence of amino acids in a protein. Sanger chose to study a relatively small protein, insulin—a protein hormone that helps control the amount of blood sugar.

First Sanger broke insulin into its constituent amino acids. Using chromatography, he identified the kinds and amounts of the amino acids. He used this information about insulin to verify his work as he proceeded to decipher the sequence of amino acids in the insulin molecule.

When amino acids bond together, the amino group of one amino acid attaches to the carboxyl group of the next amino acid. Thus at one end of any polypeptide chain is a free amino group, and at the other end is a free carboxyl group. Sanger used this knowledge to figure the number of polypeptide chains in insulin. He used a chemical that bonded only with free amino groups to show that insulin was composed of two free amino groups and thus consisted of two polypeptide chains.

Next Sanger had to determine the order of the amino acids in each of the two chains.

Dipeptides and Polypeptides

Two amino acids bond together to form a dipeptide *(die-PEP-TIDE)*. Bonding occurs by a condensation reaction in which the amino group of one amino acid releases a hydrogen ion (H^+) and the carboxyl group of the second amino acid releases a hydroxide ion (OH^-). Then the nitrogen atom from the amino group and the carbon atom from the carboxyl group bond covalently, linking the two amino acids. A covalent bond between a nitrogen atom and a carbon atom is called a **peptide bond.**

A long chain of amino acids is called a **polypeptide.** Proteins are composed of two or more polypeptides. The amino acid sequence of the proteins determines how each protein bends and folds on itself and how the proteins intertwine.

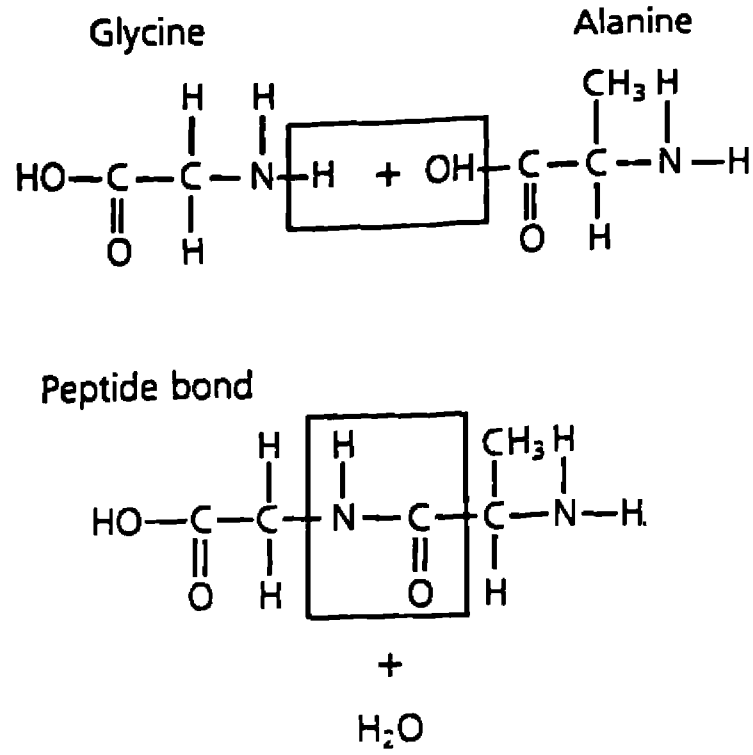
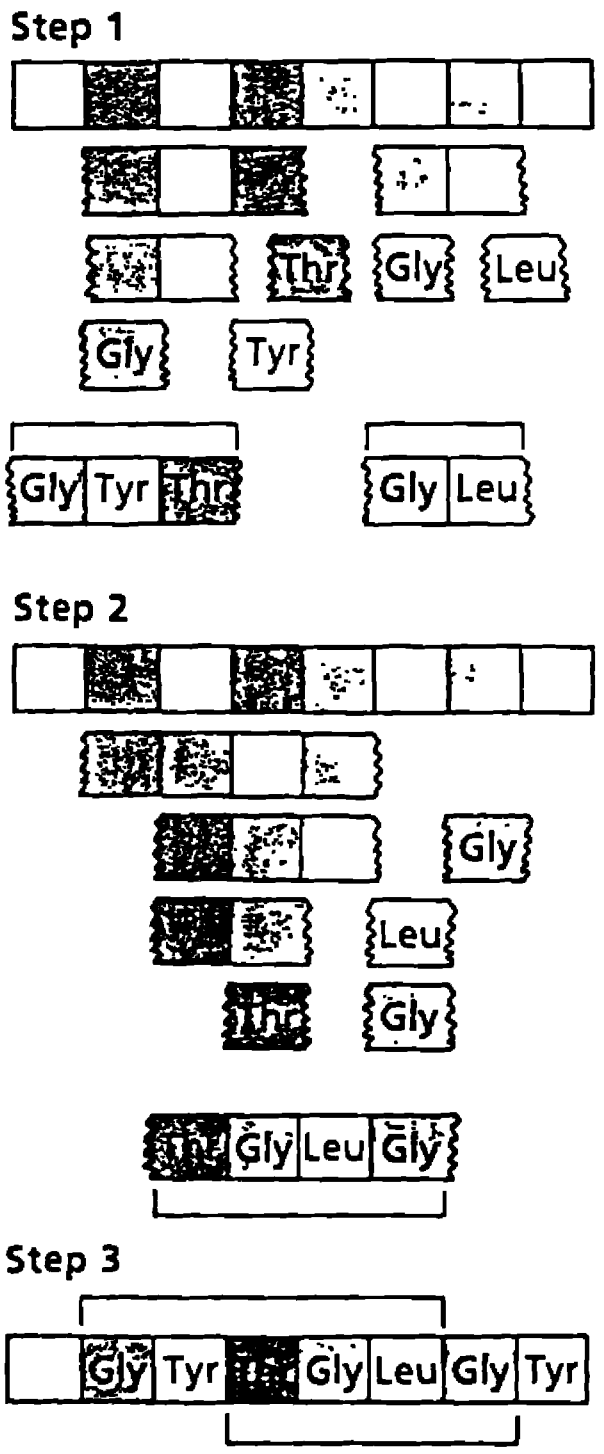


Figure 4-7 When amino acids such as glycine and alanine bond, a dipeptide forms. The covalent bond that joins a nitrogen atom and a carbon atom is a peptide bond.

Enzymes

Intermediary metabolism in living things usually involves catalysts—substances that speed up chemical reactions without being affected by the reactions themselves. Enzymes—proteins that act as catalysts in intermediary metabolism—are essential for the functioning of any cell. An enzyme speeds up a chemical reaction



The diagram shows the steps in the complex procedure he followed. In step 1 he used chemicals that broke the bonds between specific amino acids to split the chains into smaller fragments. Then he treated these fragments with chemicals that broke off amino acids one at a time. Using chromatography he then identified the individual amino acids. Sanger checked his results with the results of his first experiment, which had revealed the composition of insulin.

Finally Sanger had to determine how the fragments fit together. In step 2 he repeated the fragmentation of insulin, using a different chemical, which cleaved the polypeptide chains at different sites. He analyzed the amino acid sequences in this set of fragments and compared them with the sequences from the first set of fragments. By comparing the two sets of fragments Sanger could determine the order of the amino acids in insulin (step 3). Sanger's painstaking labor paid off. In 1953 he deciphered the amino acid sequence of insulin. In 1958 he won the Nobel Prize in chemistry for his achievement.

■ What was the process Sanger used to discover the sequence of amino acids in insulin?

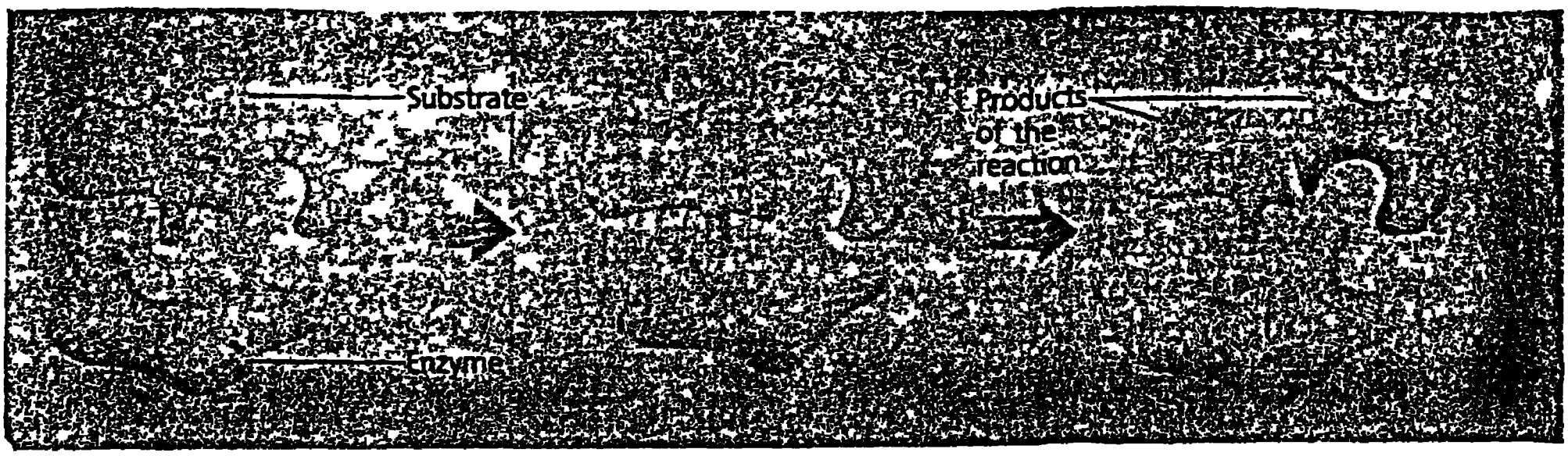


Figure 4-8 An enzyme, which is the essential catalyst in cell metabolism, binds in an exact fit to a specific site on a molecule, or substrate.

by lowering the activation energy, that is, the amount of energy needed for a reaction to occur.

Scientists have proposed several models of enzyme action. Figure 4-8 illustrates one model. Notice how the shape of a particular enzyme allows the enzyme to hook up with a specific molecule. This molecule, called the **substrate**, is the reactant in a chemical reaction that is catalyzed by the enzyme. The linkage of the enzyme and the substrate probably weakens some chemical bonds in the substrate. This weakening might explain how the enzyme lowers the activation energy for a chemical reaction. Once the reaction has occurred, the products are released. The enzyme itself is not altered, thus allowing the cell to reuse the enzyme thousands of times without having to synthesize new enzymes.

Nucleic Acids

Nucleic acids are complex organic molecules that store important information in the cell. The two most important types of nucleic acids are DNA and RNA. Deoxyribonucleic *(DEE-AHK-sih-RIE-boe-noo-KLEE-ick)* acid, or DNA, stores information that is essential for almost all cell activities, including cell division. Ribonucleic *(RIE-boe-noo-KLEE-ick)* acid, or RNA, stores and transfers information that is essential for the manufacturing of proteins.

Both DNA and RNA are composed of thousands of monomers called nucleotides *(NOO-klee-uh-TIDEZ)*. As shown in Figure 4-9, each nucleotide is made up of three main components: a phosphate group, a five-carbon sugar, and a ring-shaped nitrogen base. You will learn more about these important compounds in Chapter 8.

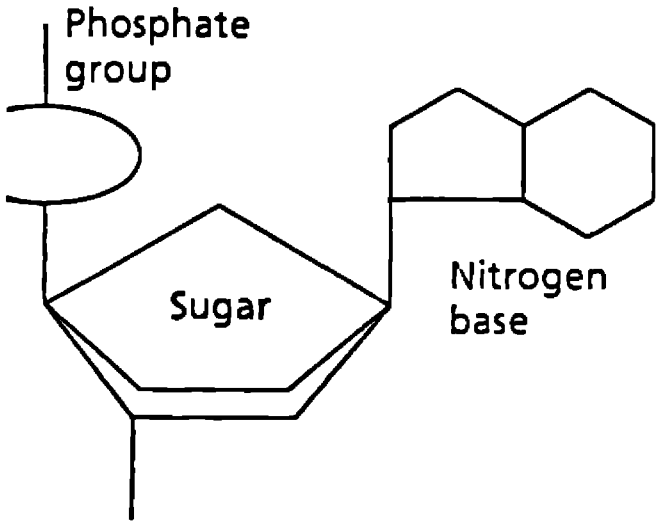


Figure 4-9 Each nucleotide in RNA and DNA consists of a phosphate group, a five-carbon sugar, and a ring-shaped nitrogen base.

Section Review

1. Define *monosaccharide*, *disaccharide*, and *polysaccharide*.
2. Describe the structure of amino acids and proteins.
3. How do the two ends of a fatty acid differ?
4. What are two types of nucleic acids and their functions?
5. High temperatures can weaken bonds between different parts of a protein molecule, thus changing its shape. How might this change alter the effectiveness of an enzyme?

5. Introduction to the Cell

A cell is the smallest unit that can carry on all the processes of life. Every living thing—from the tiniest bacterium floating in a drop of water to the largest elephant—is made up of one or more cells. A complete living thing that consists of only one cell is called a **unicellular organism.** Though small in size, unicellular organisms, such as the *Paramecium caudatum* shown in Figure 5-1, are the most numerous of all life-forms. A living thing consisting of more than one cell is called a **multicellular organism.** Figure 5-2 shows that the buttercup, a multicellular organism, is made up of individual cells.

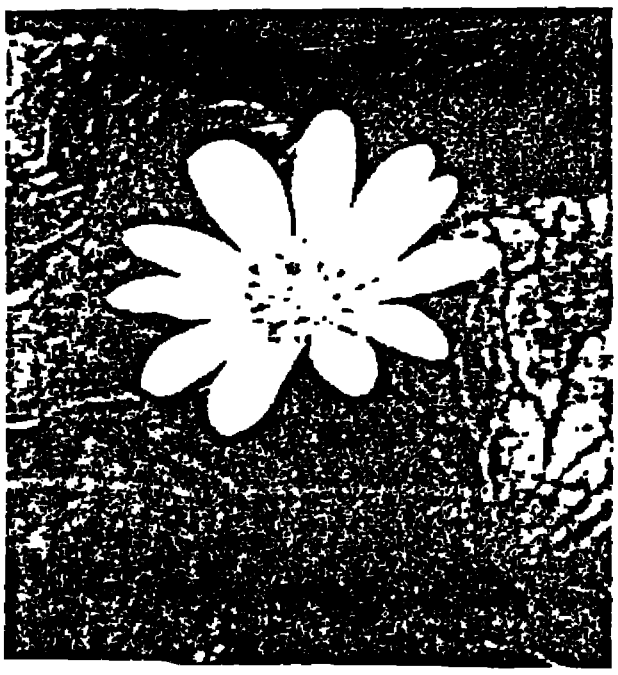
Discovery of the Cell

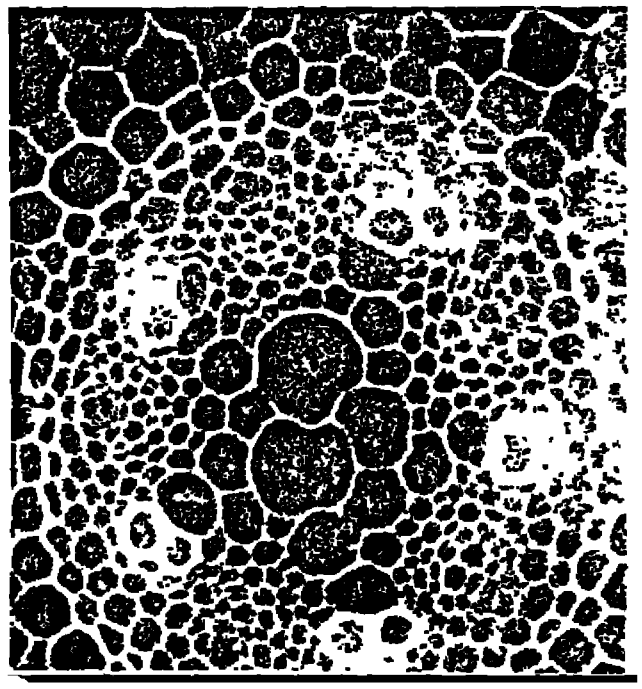
Only a few cells are large enough to be seen by the unaided eye. How, then, did scientists come to recognize that all forms of life are made up of cells? Our knowledge of cells began with the invention of the lens in the 1600s and grew along with advances in microscope technology. The light microscope allows us to view specimens magnified only up to about 2,000 times. At such magnifications plant and animal cells are visible, and many cell structures can be seen. The transmission electron microscope (TEM) is 1,000 times stronger than the light microscope. The scanning electron microscope (SEM) produces three-dimensional images. With these advances the smallest cells can be seen in clear detail.

Hooke and van Leeuwenhoek

Imagine the puzzlement of the English scientist Robert Hooke (1635–1703) when in 1665 he cut a thin slice of cork and observed it with a microscope. "I could exceedingly plainly perceive it to be all perforated and porous," he wrote, and further described it as consisting of "a great many little Boxes." Hooke used a microscope to observe the stems of elder trees, carrots, and ferns. He observed that each showed a similar formation. These "little Boxes" reminded him of the small rooms in which monks lived, so he called them cells.

What Hooke had observed were actually dead plant cells. The first person to observe living cells was a Dutch microscope maker, Anton van Leeuwenhoek (1632–1723), in 1675.





Section Objectives

- *Outline the discoveries that led to the development of the cell theory.*
- *State the cell theory.*
- *Identify a limitation in the size of cells.*
- *Describe the relationship between cell shape and cell function.*
- *Distinguish between prokaryotes and eukaryotes.*

Figure 5-1 All the life activities of a paramecium, *Paramecium caudatum,* shown here in color-enhanced magnification, occur within a single cell (×140).

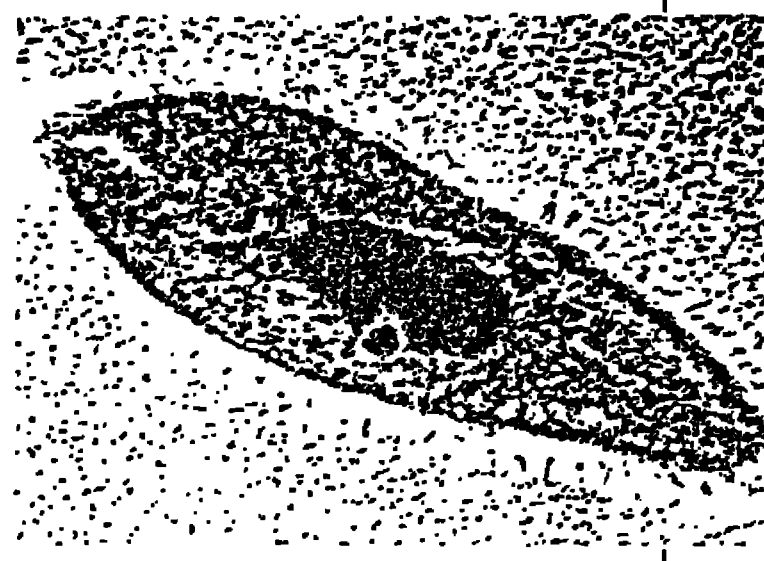


Figure 5-2 A buttercup, *Ranunculus* sp. (left), a multicellular organism, is composed of individual cells like those in the root tip (right, ×60).

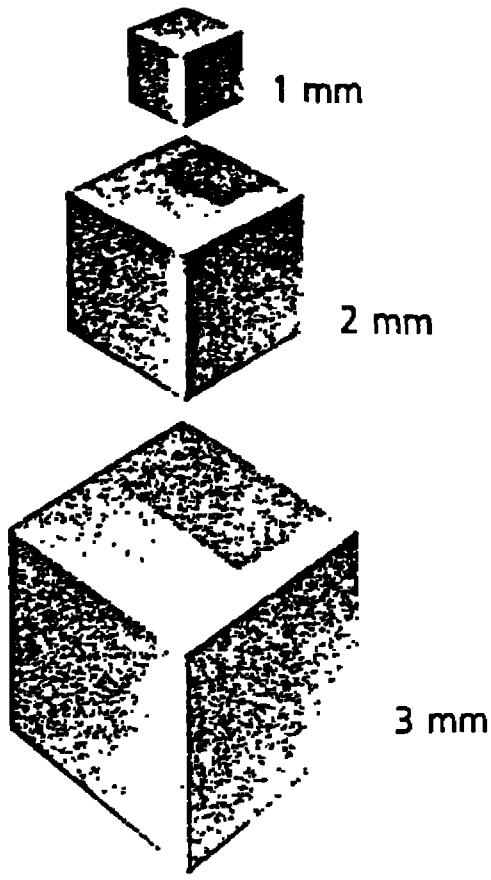


Figure 5-3 A 1-mm cube has a surface area of 6 mm^2 and a volume of 1 mm^3, giving a surface-to-volume (S/V) ratio of 6 : 1. For a 2-mm cube, surface area and volume are 24 mm^2 and 8 mm^3 respectively, a 3 : 1 S/V ratio. For a 3-mm cube, surface area and volume are 54 mm^2 and 27 mm^3 respectively, and the S/V is 2 : 1.

The Cell Theory

About 150 years passed before scientists began to organize the observations of Hooke and van Leeuwenhoek into a unified theory. In 1838 a German botanist, Matthias Schleiden (1804–1881), concluded that all plants were composed of cells. A year later the German zoologist Theodor Schwann (1810–1882) came to the same conclusion about animals. In 1855 a German physician, Rudolph Virchow (1821–1902), while studying how disease affects living things, determined that cells come only from other cells. The observations of these three scientists, taken together, are known as the **cell theory**. This theory has three parts:

1. All living things are composed of one or more cells.
2. Cells are organisms' basic units of structure and function.
3. Cells come only from existing cells.

Cell Diversity

Although all living things are composed of cells, not all cells are alike. Even cells within the same organism may show enormous diversity in size, shape, and internal organization.

Size

Cells range in size from 2 m long, as in the thin nerve cells that extend down a giraffe's leg, to .2 micrometers (μm) in diameter, as in some bacteria. Most plant and animal cells are about 10 to 50 μm in diameter and are visible only with a microscope.

Many cells are roughly cuboidal or spherical. A cell with such a shape is limited in size by the ratio between its volume and its outer surface area. The food, oxygen, and other materials a cell requires must enter through its surface. Likewise, waste products must leave through its surface. The larger the cell, the larger the surface area required to maintain it. As a cell grows, its volume increases more rapidly than its surface area does. *Figure 5-3*







Figure 5-4 SEMs of human cells with structure-related functions include nerve (left), skin (center, ×750), and white blood (right, ×250).

shows how growth affects the ratio between surface area and volume. Volume increases by the cube, while surface area increases by the square. This suggests that as a cell grows large, its surface area becomes too small to maintain life functions.

Shape

We have said that most cells are roughly cuboidal or spherical. Many plant cells, for example, are shaped like triskaidekahedrons; that is, they are roughly round but have 13 flat sides. However, cells differ widely in shape. This diversity of form reflects a diversity of function. Look at the three human cells in Figure 5-4. The long extensions that reach out in various directions from the nerve cell body allow the cell to receive and transmit nerve impulses. In contrast, the flat shape of dead skin cells is well suited to their function of covering the body surface. White blood cells have the ability to change shape. This allows them to move through narrow openings and to surround and isolate bacteria that invade the body.

Internal Organization

Cells also differ in their internal organization. Look at the photomicrograph of an algal cell in Figure 5-5 (top). Note the large structure near the center of the cell. This structure is the **nucleus**, which directs the activities of the cell. It contains DNA, the hereditary information that passes from one cell to another during cell division. DNA directs the formation of the proteins that carry out cell activities. Look again at Figure 5-5 (top), and notice the other smaller structures in addition to the nucleus. These are the cell organelles, many of them enclosed by membranes. An **organelle** is a cell component that performs specific functions in the cell. Cells that contain a nucleus and membrane-bound organelles are called **eukaryotes** *(yoo-KAR-ee-OTES)*. The cells of plants, animals, fungi, protozoa, and algae are all eukaryotes.

Note the bacterium in Figure 5-5 (bottom). Do you observe a nucleus or organelles? Cells that lack nuclei and membrane-bound organelles are called **prokaryotes** *(proe-KAR-ee-OTES)*. Bacteria and related microorganisms are prokaryotes.



Figure 5-5 Two TEMs contrast the unicellular alga (top), a eukaryote, with the bacterium *Bacillus licheniformis,* a prokaryote (bottom, ×136,000). Note the nucleus (the area within the dark circle) in the eukaryote.

Section Review

1. Define *nucleus,* and describe the structure and function of the cell nucleus.
2. What is the cell theory?
3. What single factor limits the size that most cells are able to attain?
4. How would you determine whether a unicellular organism was a prokaryote or a eukaryote?
5. How do you account for the fact that three different scientists made major contributions to the cell theory within a 17-year period?

Section Objectives

- *Describe the structure, composition, and function of the cell membrane.*
- *Name the major organelles found in the cell and describe their functions.*
- *Describe the structure and functions of the cell nucleus.*
- *Compare and contrast animal and plant cells.*
- *Describe how AVEC microscopy is useful in observing microtubules.*

6. Parts of the Cell

Each living cell carries out the tasks of taking in food, transforming food into energy, getting rid of wastes, and reproducing. In this section you will learn about the structures of eukaryotic cells that help perform these functions. Prokaryotic cells will be discussed in Chapter 20.

Although there is no typical eukaryotic cell, most have three main components:

1. The **cell membrane** is the outer boundary of the cell and separates the cell from its surroundings and other cells.
2. The **cytoplasm** *(SITE-uh-PLAZZ-um)* lies inside the cell membrane, contains water and salts, and surrounds organelles.
3. The nucleus contains DNA and directs the activities of the cell.

Cell Membrane

The cell membrane, sometimes called the plasma membrane, is the structure that separates the cell from its external environment. It gives shape and flexibility to the cell. The cell membrane is a complex barrier that keeps out some molecules but allows others to permeate, or pass, into the inside of the cell. The cell membrane is therefore called a **selectively permeable membrane.** Some scientists use the term *semipermeable membrane.* The membrane is about 7.5 to 10 nanometers (nm) thick.

The cell membrane is composed of two layers of molecules. Each layer is made up of a sheet of lipids. Recall from Chapter 4 that a lipid molecule has a carboxyl group as a "head" and a

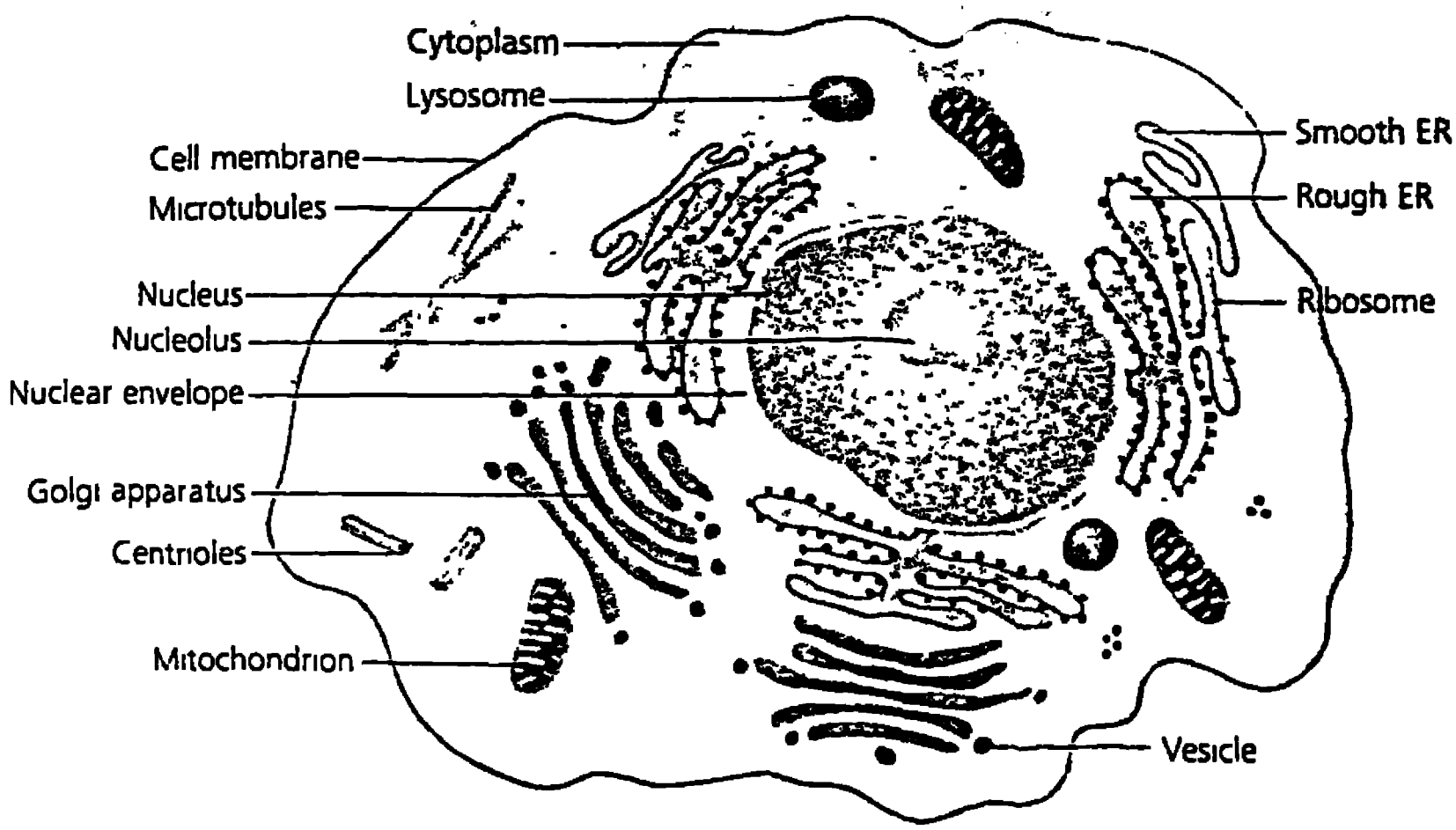


Figure 5-6 A typical animal cell contains many organelles within a cell membrane.

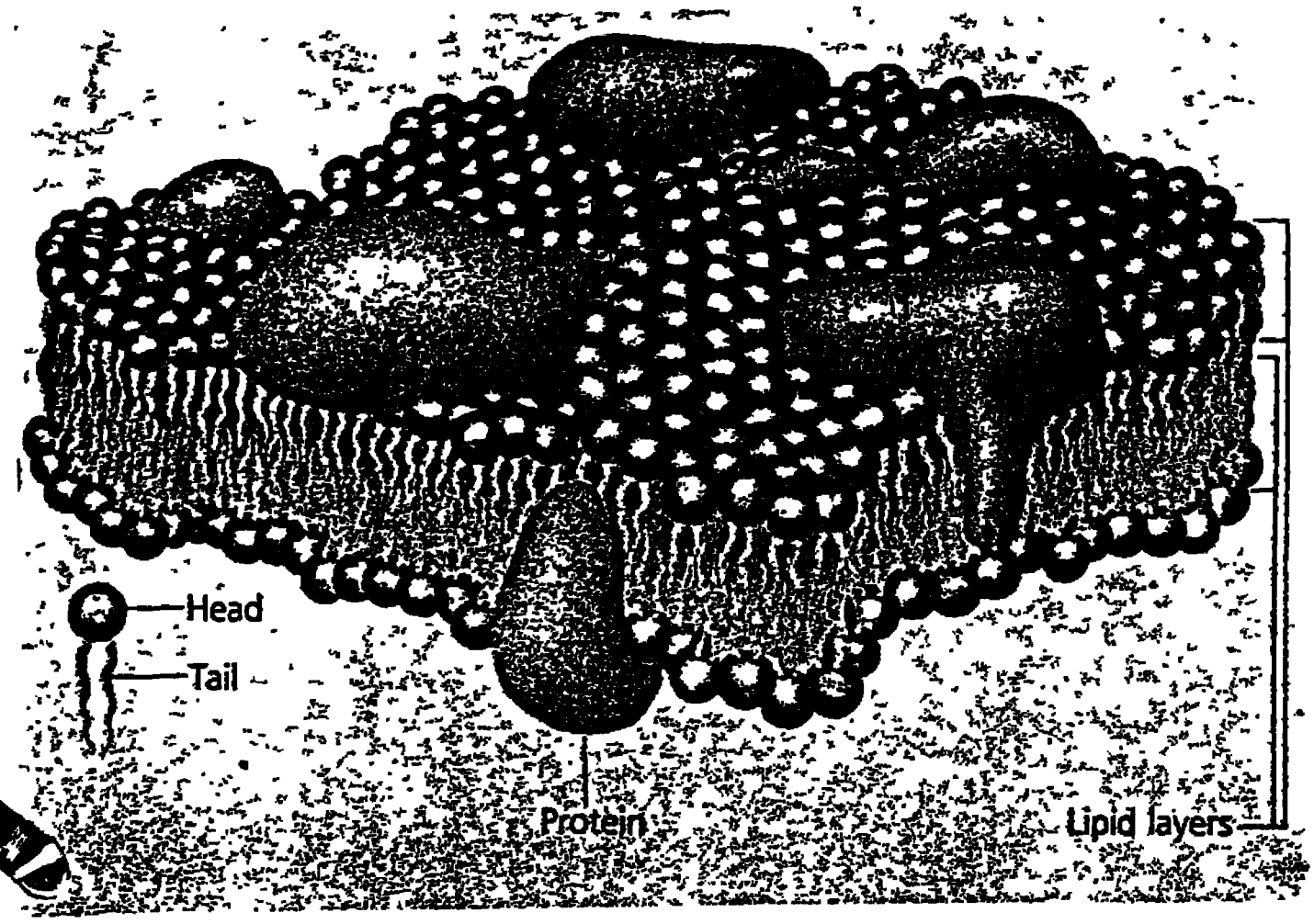


Figure 5-7 Lipids and proteins can move in relation to one another in the fluid mosaic model of the cell membrane. Why does this two-layer model look as though it is composed of three layers?

hydrocarbon chain as a "tail." As Figure 5-7 shows, the lipid molecules in membranes are arranged so that their heads form the outside of the membrane and their tails form the inside of the membrane. In addition, protein molecules are embedded in the lipid layers. Some are associated with only one layer, while others penetrate the entire membrane. You will learn more about how this structure affects transport of materials in Chapter 6.

The lipid molecules that form the membrane are fluid. They can move about relative to one another in a fluid manner. Some of the proteins are also free to move about, so that the mosaic, or pattern, of lipids and proteins changes. Because of these characteristics, scientists call their model of the dynamic cell membrane the fluid mosaic model.

Cytoplasm and Organelles

The cytoplasm is the jellylike material found inside the cell membrane. It surrounds organelles and contains water, salts, and organic molecules. The cytoplasm is in constant motion as particles and organelles move around. This motion, called **cytoplasmic streaming**, is most apparent in some plant cells and in protozoa.

Cytoplasm surrounds organelles. The word *organelle* means "little organ." Like the organs of the body, each organelle performs a specific activity.

Ribosomes

The most numerous of the cell's organelles are **ribosomes** *(RIE-buh-SOMEZ)*, the organelles where proteins are made. As you can see in Figure 5-8, each ribosome is a spherical structure of about 15 to 20 nm in diameter. It is composed of three nucleic acid molecules and over 50 proteins. The ribosome is the site of protein

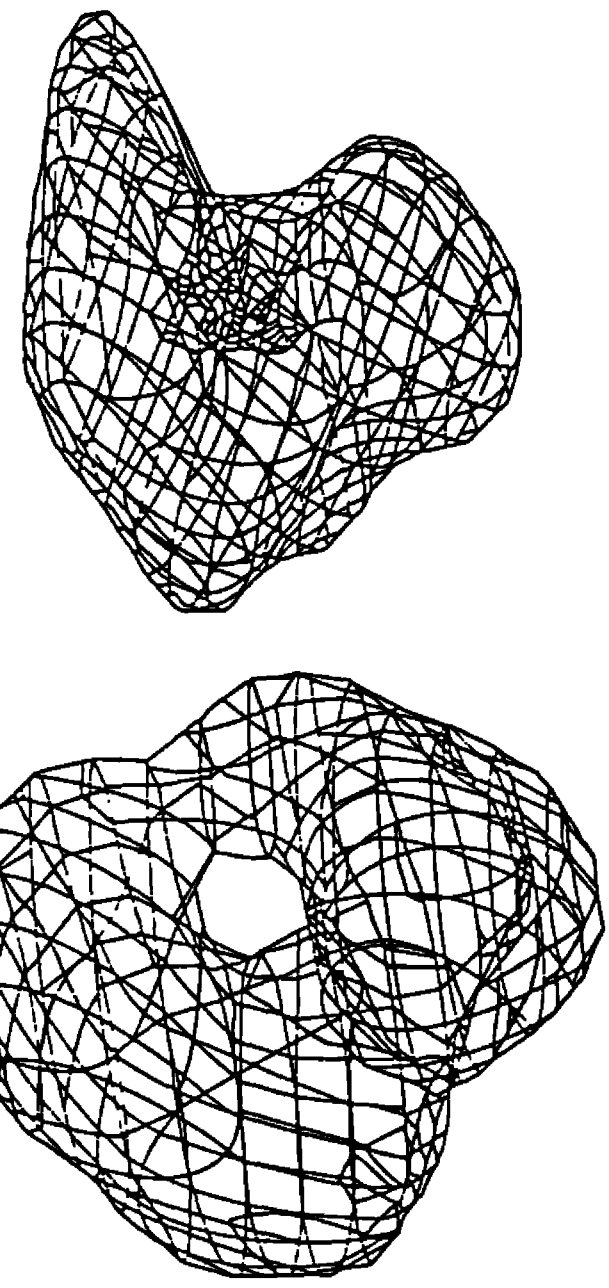


Figure 5-8 Ribosomes are formed from RNA and proteins. They support mRNA, the template for protein synthesis. Note their three-dimensional structure in top (top) and side (bottom) views.

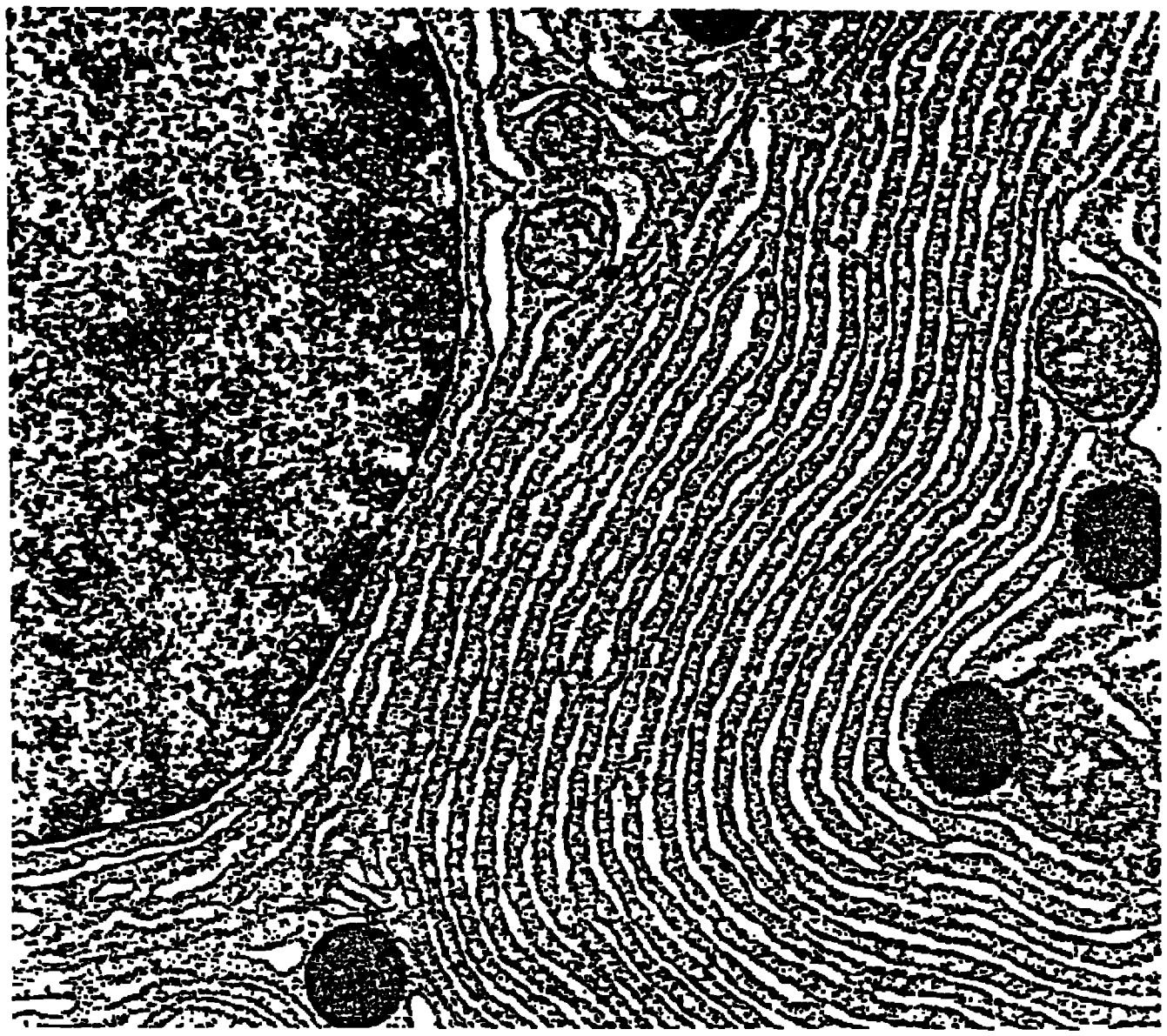


Figure 5-9 Rough ER in cells of the human pancreas are covered with ribosomes. These cells produce and export enzymes used in the digestive process.

synthesis, a process that you will learn more about in Chapter 8. The distribution of the ribosomes within the cell depends on how the proteins they produce will be used. Proteins used within the cell are produced by ribosomes that float freely in the cytoplasm. Proteins that will be exported for use outside the cell are produced by ribosomes attached to a system of membranes called the endoplasmic reticulum.

Endoplasmic Reticulum

The endoplasmic reticulum *(EN-duh-PLAZZ-mick ree-TICK-yuh-lum)* is a membrane system of folded sacs and tunnels. It is called ER for short. Endoplasmic reticulum that is covered with ribosomes, as shown in Figure 5-9, is known as rough ER; ER with few or no ribosomes is called smooth ER. The relative amounts of rough and smooth ER vary from one type of cell to another. Cells that make a lot of proteins that will be exported contain a lot of rough ER. For example, rough ER predominates in those cells of the pancreas that produce and export digestive enzymes. Smooth ER functions primarily as an intracellular highway, a path along which molecules move from one part of the cell to another. In addition, smooth ER can serve as a storage area for proteins that will later be exported from the cell.

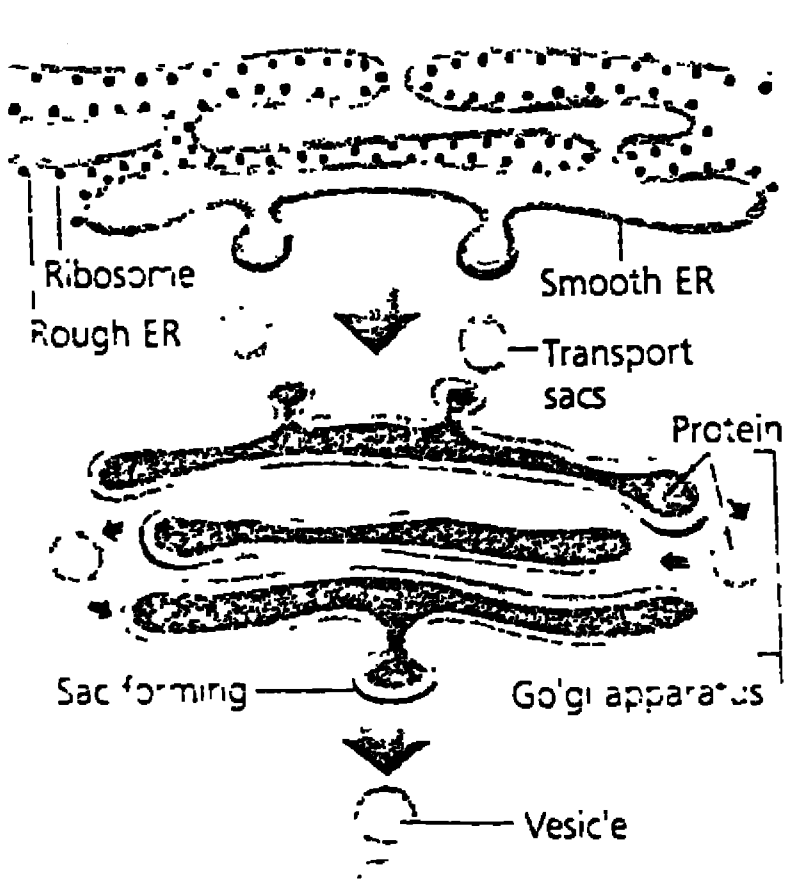


Figure 5-10 An ingenious system moves a protein from its point of synthesis to the cell exterior.

Golgi Apparatus

The Golgi apparatus is the processing, packaging, and secreting organelle of the cell. It consists of a stack of membranes or sacs filled with fluid and dissolved or suspended substances. To understand how the Golgi apparatus works, follow the process in Figure 5-10. The Golgi apparatus operates like a production line in a factory, where a product is assembled at one end, then packaged,

and finally put into a mail bag at the other end. After protein is synthesized on a ribosome, the protein passes into the interior of the ER membrane. Then it moves through the interior of the membrane to an area of smooth ER. There the protein is enclosed in a vesicle, or membranous pouch, that buds off from smooth ER. The vesicle migrates to and fuses with a Golgi sac. The contents of the vesicle are then modified as they pass from sac to sac. Finally a new vesicle is formed from the last Golgi sac, which moves to the cell membrane and discharges its contents outside the cell.

Mitochondria

Scattered throughout the cytoplasm are large organelles that can grow, divide, or fuse with one another. These are the mitochondria *(MITE-uh-KAHN-dree-uh)*, the respiration centers of the cell. Chemical reactions within mitochondria release the energy from the nutrients taken into the cell. As Figure 5-12 shows, a mitochondrion has two membranes. The smooth outer membrane serves as the boundary between the mitochondrion and the cytoplasm. The inner membrane has many long folds, called cristae, that enlarge the internal surface area, providing more space for the reactions of cell respiration that take place there.

The mitochondrion is the place where adenosine triphosphate (ATP) is formed. You will learn more about this process in Chapter 7. ATP provides the chemical energy that drives the chemical reactions of the cell. Mitochondria are therefore most numerous in cells that use a lot of energy, such as muscle cells. A liver cell, which uses energy to carry out a host of biochemical activities, may contain as many as 2,500 mitochondria.

Mitochondria have their own DNA, and new mitochondria arise only when existing ones divide. These facts have led to the theory, discussed further in Chapter 14, that mitochondria developed from prokaryotic cells that came to live inside eukaryotic cells. The prokaryotes, according to the theory, may have sought protection by living inside the eukaryotes, supplying energy for the eukaryotes in turn.

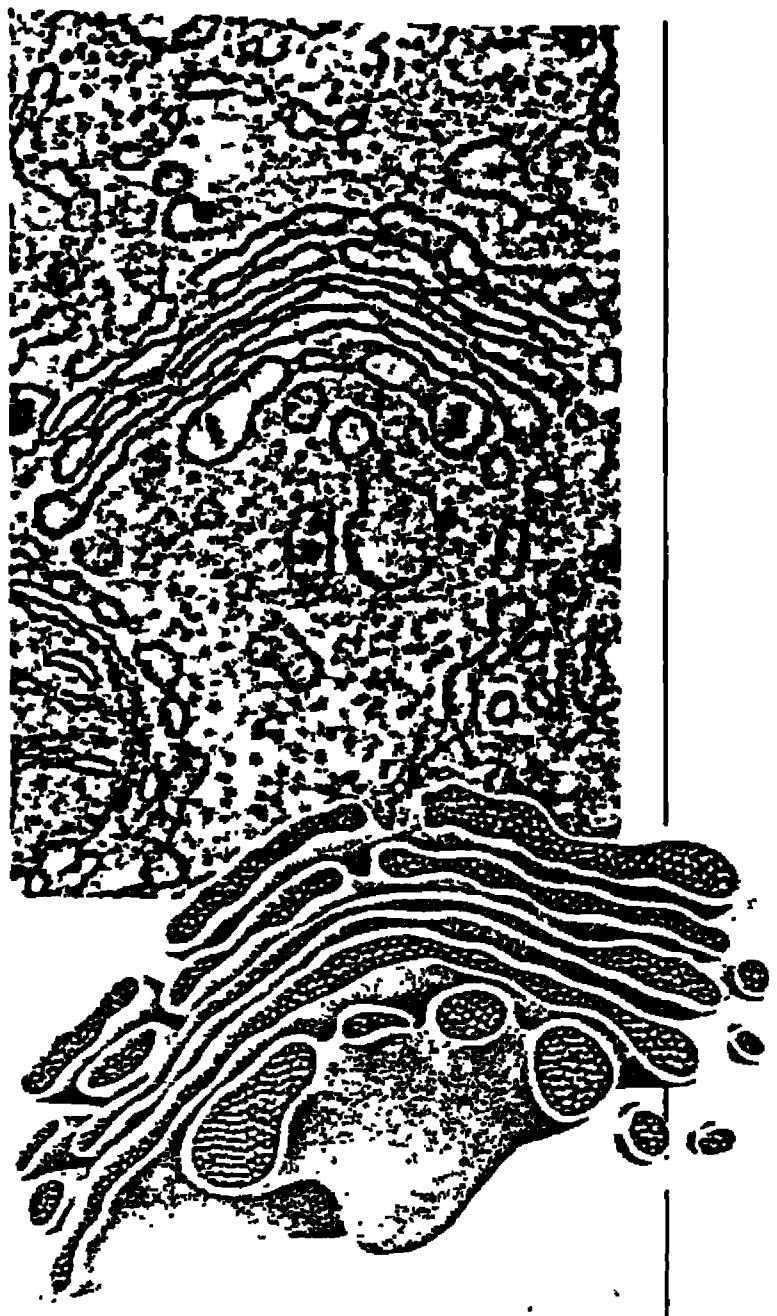
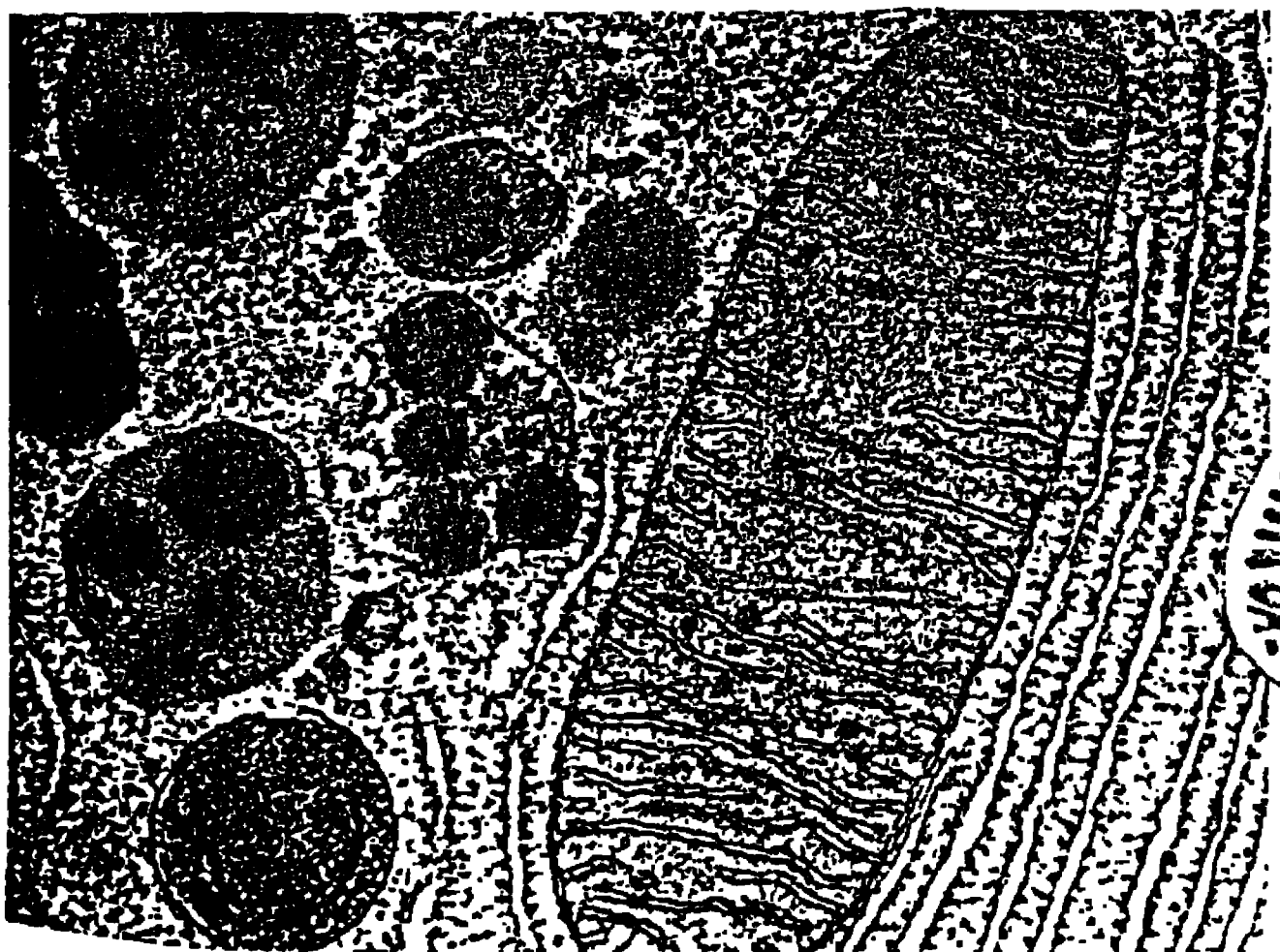


Figure 5-11 TEM of a Golgi apparatus from a rat liver cell (top, ×34,000) is shown in greater detail in an artist's rendering (bottom).



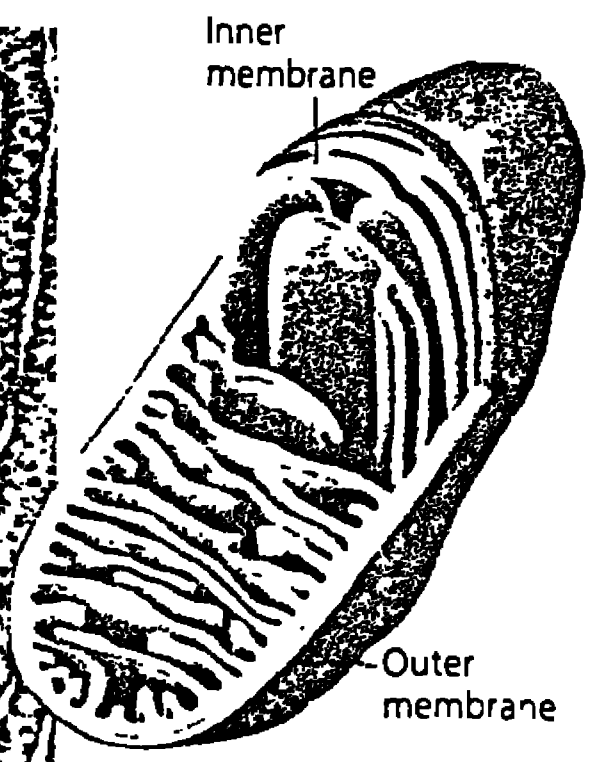


Figure 5-12 TEM of a mitochondrion in a bat pancreas (left, ×79,000) is diagrammed in detail at right.

Lysosomes

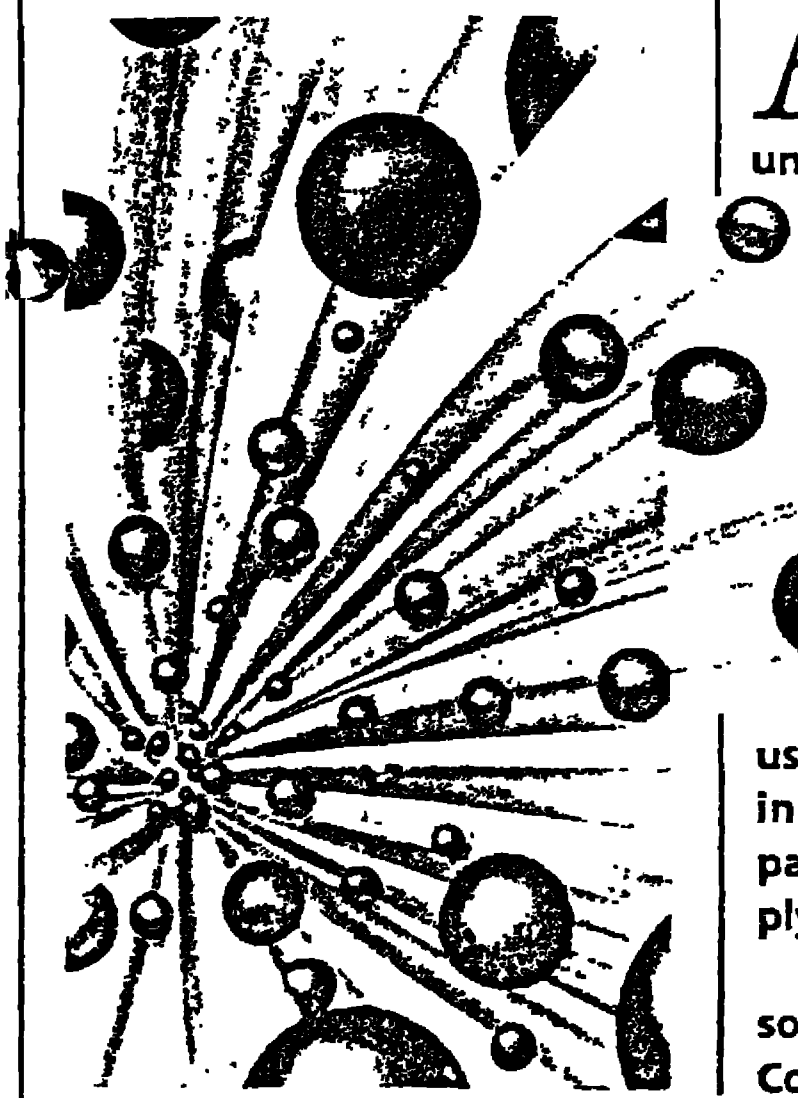
Organelles that contain digestive enzymes are called **lysosomes** *(LIE-suh-SOMEZ)*. These small, spherical organelles are surrounded by a single membrane. They exist primarily in animal and fungal cells and contain some 40 kinds of enzymes. These enzymes digest food particles, disease-causing bacteria captured by the white blood cells, and worn-out and broken parts of cells. Lysosomes also play a role in early development. For example, the embryonic human hand begins as a solid stump. Then lysosomal enzymes selectively destroy tissue and form fingers.

Microtubules and Microfilaments

Long, slender protein tubes called **microtubules** and fine protein threads called **microfilaments** help shape and support cells. Collectively, they form the **cytoskeleton**, the framework of the cell. They are assembled as needed and are then broken down and reassembled to form new structures. Specialized microtubules, called **spindle fibers**, aid in movement of chromosomes during cell division. Microfilaments, which lie just under the cell membrane, help move cellular materials and play a role in cytoplasmic streaming.

Biotechnology

Movement Along Microtubules



As early as 1879, scientists who observed the unicellular organism *Gromia* microscopically described an astonishing movement. Particles appeared to move along extensions from the organism at constantly varying speeds and in different directions. This behavior seemed to be at odds with the usual ways that particles move in organisms. How did these particles move? What was supplying the energy?

Robert Day Allen, a professor of biology at Dartmouth College, was one of the many scientists who explored these questions. Allen pursued this mystery for 20 years until his death in 1986. He interpreted the old data and performed new experiments. He also applied new techniques he had developed in which a video screen was used to increase the contrast between the light and dark parts of a microscopic image. This technique was called AVEC, for Allen video-enhanced contrast microscopy. With AVEC, Allen was able to conclude that microtubules were the highways of both intra- and extracellular traffic.

Microtubules were not even known until 1963, and at

Cilia and Flagella

Cilia *(SILL-ee-uh)* and flagella *(fluh-JELL-uh)* are two kinds of structures that extend out from the surface of the cell and function in movement. Cilia are short, hairlike extensions that occur in large numbers on the surface of some cells. A unicellular paramecium, for example, moves forward by beating the 17,000 cilia that cover its surface. In many animals cilia also line the surface of organs, where they function to move fluids and mucus. The cilia in the human respiratory tract, for example, move mucus that traps dust and bacteria.

Flagella are whiplike, longer than cilia, and occur singly or in pairs. By whipping back and forth, flagella swiftly move unicellular organisms, such as *Euglena,* or cells in multicellular organisms. A sperm cell is rapidly propelled toward the egg by the power of its single flagellum.

Cilia and flagella are internally similar. The cross section in Figure 5-13 reveals that each is composed of nine pairs of microtubules located around its circumference and one pair of microtubules running down its center. Biologists refer to this as the "9 + 2" structure. Each cilium or flagellum is anchored to the cell by a cylindrical structure called a basal body.

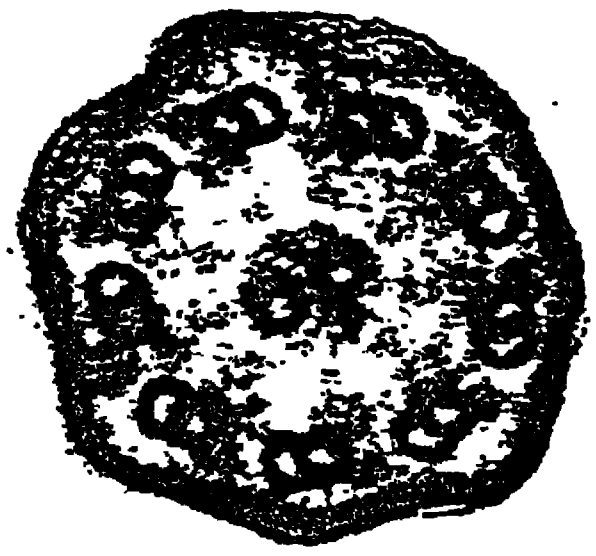


Figure 5-13 This TEM of the cross section of a single cilium shows the typical 9 + 2 structure (×70,000).



first their fragility and their size—only 25 nm in diameter—created problems in viewing them. Researchers overcame the fragility by growing *Allogramia,* another unicellular organism, on microscope slides. The slides were treated with a positively charged substance that caused the organisms to stick to the glass. Then, using AVEC microscopy, Allen observed *Allogromia* microtubules and recorded the interaction of particles with the microtubules.

Allen turned his attention next to the giant nerve cell of the squid (right). Allen invited several squid experts to his laboratory. First they observed the squid nerve cell through a microscope. No movement was visible. Then Allen applied AVEC techniques and switched the nerve cell image to a television monitor.

"Suddenly the screen was teeming with tiny particles moving in both directions," Allen wrote later. Excitement rippled through the group as scientists saw the particles move along threadlike channels, the microtubules.

Using AVEC technology, Allen saw the mitochondria lurch forward in a jerky motion. He saw small Golgi sacs move swiftly "like dense schools of small fish" toward the surface of the cell.

Allen still had not explained how the particles moved along the microtubules and why they moved in opposite directions. Other researchers determined that microtubules had "side arms," or cross bridges, that connected particles to the microtubules. Allen and other biologists hypothesized that these side arms were made up of enzymes that provided the chemical energy needed to move the particles.

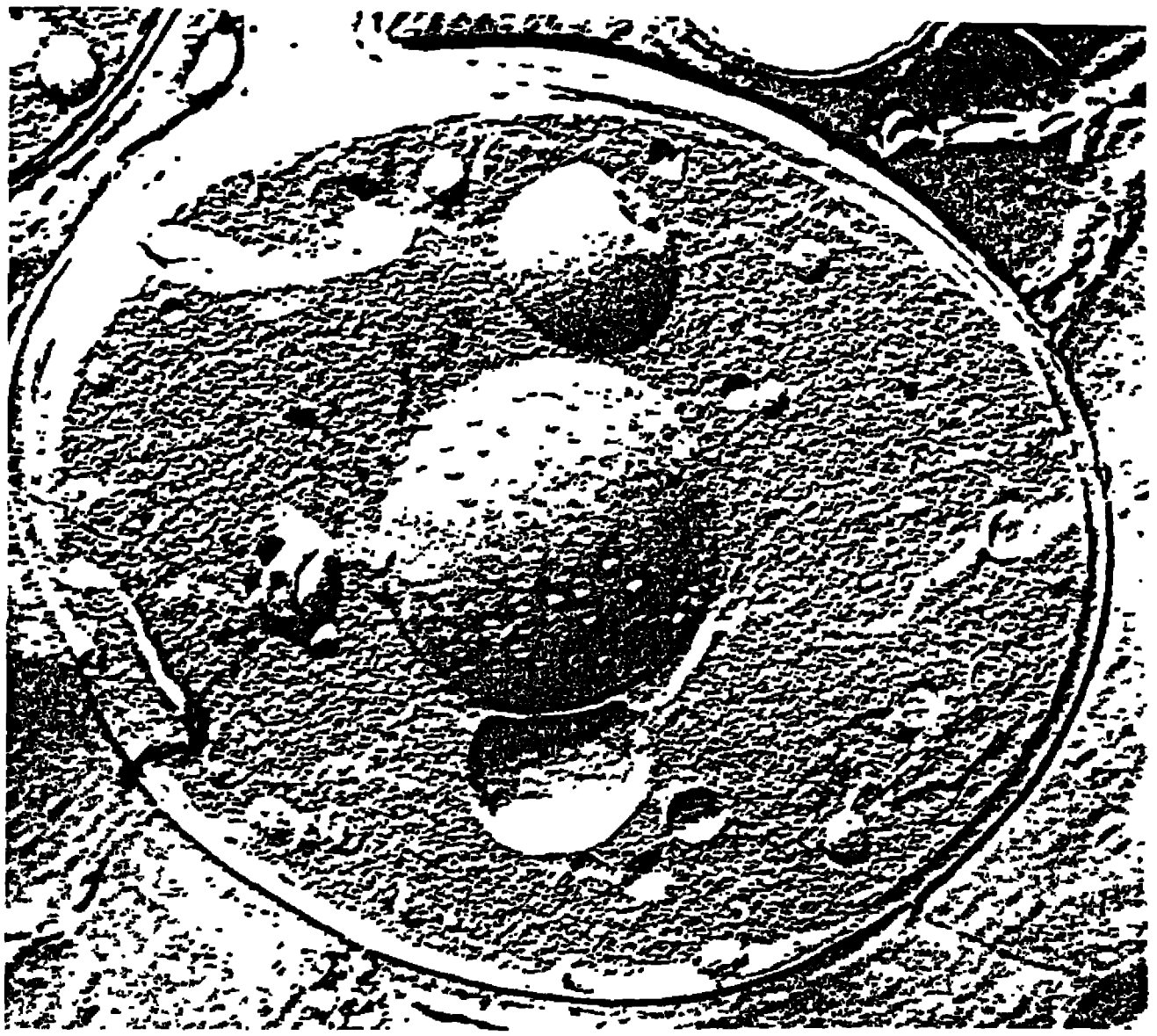


Figure 5-14 This SEM of a yeast cell prepared by the freeze-fracture technique shows the nuclear pores. In the freeze-fracture technique, cells are quick frozen and fractured along a line that splits membranes down the middle of the lipid layer, exposing the inner membrane.

Cell Nucleus

The nucleus is the site where nucleic acids are synthesized and it therefore directs the activities of the cell. It is surrounded by a double membrane called the **nuclear envelope.** Substances enter and leave the nucleus through holes in this envelope called nuclear pores. The pores form channels that allow large molecules, such as nucleic acids, to pass back and forth from the interior of the nucleus to the cytoplasm.

Inside the nuclear envelope is a dense, protein-rich substance called nucleoplasm. The nucleoplasm contains fine strands of **chromatin,** a combination of DNA and proteins. When a cell is dividing, a strand of chromatin coils up and condenses and can be seen under a microscope as a **chromosome.** Chromosomes thus are mostly DNA, the genetic information of the cell.

Most nuclei also contain at least one spherical body called the **nucleolus.** Ribosomes are synthesized and partially assembled in the nucleolus. After assembly they migrate to the cytoplasm.

Plant Cells

Most of the parts of the cell just described are common to all eukaryotic cells. Fungal cells and cells of protozoa and algae have some modifications, which will be discussed in the chapters on those organisms. Plant cells possess some structures in addition to those just described. In plants, a **cell wall** surrounds the cell membrane and helps support and protect the cell. The cell wall is one characteristic that distinguishes a plant cell from an animal cell. Two others are fluid-filled cavities or sacs called **vacuoles** and large organelles called **plastids,** which store food or pigments.

Cell Wall

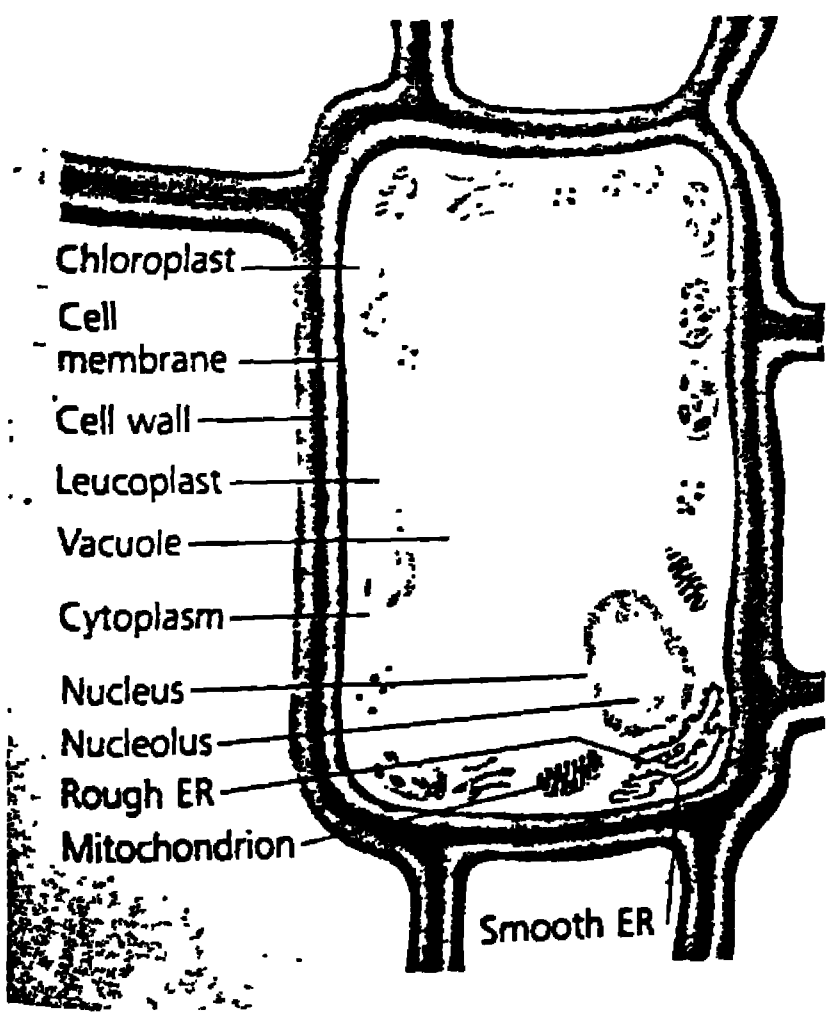
A cell wall is the rigid covering of a plant cell. It is made primarily of long chains of cellulose embedded in hardening compounds such as pectin and lignin. Pores in the cell wall allow ions and molecules to pass to and from the cell membrane. Cell walls are of two types. Primary cell walls are formed during cell growth. Secondary cell walls are formed after growth has ceased. Each type of wall aids in strengthening the cell.

When a plant cell divides, a middle lamella is first formed between the new cells. The middle lamella is an intercellular glue made of pectin, the substance that makes jelly gel. Next, the primary wall is formed between the middle lamella and the cell membrane. Its cellulose fibers are laid down in layers. Each layer has all of the fibers oriented in one direction. The growing cell is thus able to expand sequentially at a right angle to the most recent fiber layer. This structure functions both to protect the cell and simultaneously to allow the cell to grow.

After growth ceases, a secondary cell wall is formed. This wall is made of cellulose and lignin fibers interwoven so that no further expansion of the cell is possible. The secondary wall functions to strengthen the mature cell. A compound called lignin in secondary walls makes them woody. When you pick up a piece of wood, you hold in your hand secondary cell walls.

Vacuoles

Vacuoles are organelles found only in plant cells. Like lysosomes in animal cells, vacuoles store enzymes and waste products. In a mature plant cell, a vacuole typically takes up as much as 90 percent of the volume, crowding the other structures into the



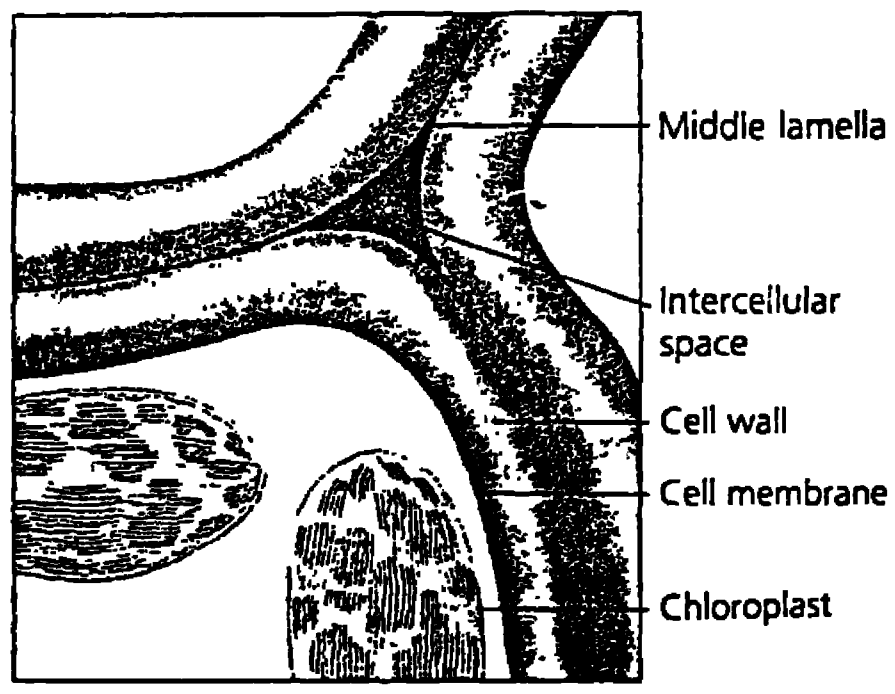


Figure 5-15 Most organelles of a plant cell (below left) are also found in animal cells. Which organelles are not common to both? The elements that make up a cell wall appear at the right.

Table 5-1 Comparison of Prokaryotes and Eukaryotes

Feature	Prokaryotes	Eukaryotes	
		Animals	Plants
Average size (diameter)	1–10 μm	10–20 μm	30–50 μm
Cell membrane	Yes	Yes	Yes
Cell wall	Yes	No	Yes
Nucleus	No	Yes	Yes
Ribosomes	Yes	Yes	Yes
Endoplasmic reticulum	No	Yes	Yes
Golgi complex	No	Yes	Yes
Mitochondria	No	Yes	Yes
Vacuoles	No	Small or absent	Usually a single large one per cell
Lysosomes	No	Often present	Rare
Microtubules	No	Yes	Yes
Cilia and flagella	Yes	Often present	Mostly absent except for sperm

Think



In many plant cells the vacuole takes up a large space. As the above photograph of a spinach leaf cell shows, this crowds the other organelles to the edge of the cell. In addition to providing a storage area for nutrients and wastes, how else might the large area occupied by a vacuole function to benefit the cell?

space that's left. Some of the waste products stored by vacuoles are toxic materials that need to be kept away from the rest of the cell. Some acacia trees store cyanides in their vacuoles as a poisonous defense against plant-eating animals.

Plastids

Plants depend on light as a source of energy. Solar energy must be converted into chemical energy and then be stored. In plants plastids carry out these functions. Chloroplasts contain a green pigment called chlorophyll that absorbs sunlight as the first step in the conversion process. You will learn more about chloroplasts in Chapter 7. Chromoplasts synthesize and store pigments such as orange carotenes, yellow xanthophylls, and various red pigments, some of which function in trapping sunlight for energy. Chromoplasts are what give certain plants their distinctive colors. **Leucoplasts** *(LOO-kuh-PLASTS)* store food such as starches, proteins, and lipids. Present in most plant cells, leucoplasts are especially prominent in storage organs such as potato tubers.

Section Review

1. Name the three main parts of the eukaryotic cell.
2. Summarize the fluid mosaic model of the cell membrane.
3. Compare and contrast the vacuole and the lysosome.
4. Distinguish between the nucleus and the nucleolus.
5. Why do you think plant, and not animal, cells have walls?

7. Multicellular Organization

Biologists suggest that the earliest cells on earth were simple prokaryotic cells similar to some present-day bacteria. Like most bacteria they lacked the internal structures to synthesize their own food; they depended on organic nutrients in the environment. As they reproduced and their numbers increased, however, they began to compete for limited natural resources. With increasing competition cells with adaptations evolved. Some of these cells were eukaryotic. These unicellular eukaryotes may have existed in temporary groups, or colonies, with other cells, with some cells acting as special energy producers. Eventually, such temporary colonies may have evolved into multicellular organisms in which groups of cells became specialized for various functions. You will learn more about the evolution of prokaryotes and eukaryotes in Chapter 14.

Section Objectives

- *Distinguish between tissues, organs, and organ systems.*
- *Describe the way in which cells are organized in multicellular organisms.*

Tissues, Organs, and Organ Systems

You have learned how the organelles within a cell perform specific functions that contribute to cell maintenance. Division of labor is also carried out by the individual cells that compose a multicellular organism. Each cell depends on other cells to perform one or more of the functions that keep the entire organism alive. The division of labor among cell types is called cell specialization.

In most multicellular organisms, cells are organized into tissues. A **tissue** is a group of similar cells that carry out a common function. Epithelial tissue, for example, consists of sheets of closely packed cells that form surface coverings, such as the outermost living layer of the skin and the lining of the nose. Cells that pull against one another make up muscle tissue. Cells that are specialized for transmitting messages make up nervous tissue.

Several types of tissue that interact to perform a specific function form an **organ**. The stomach, for example, is an organ. In the

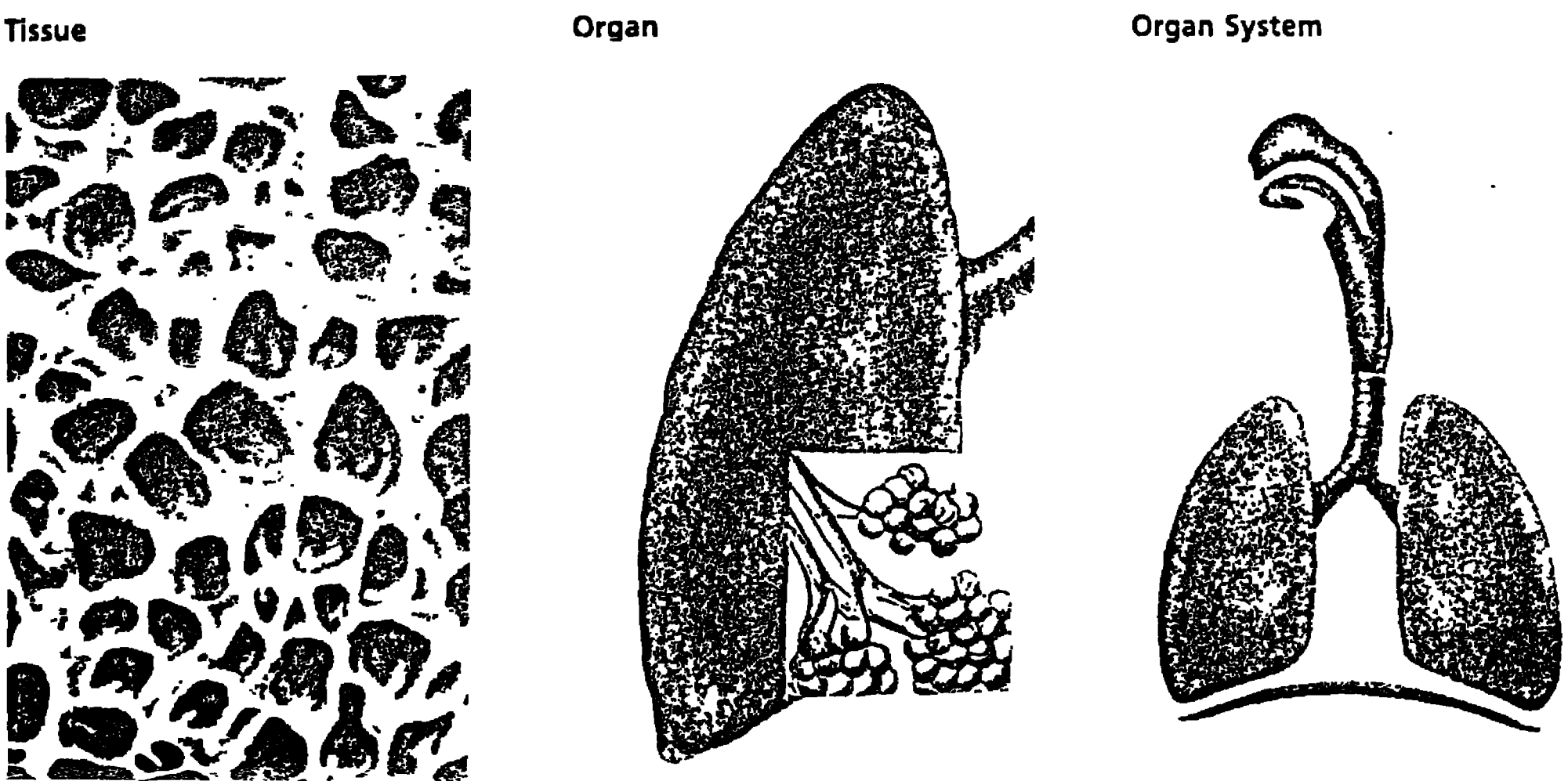


Figure 5-16 Spongy tissue (left) is the foundation for the tiny branching tubes and air sacs that form the lungs, an organ (center). The lungs, in turn, are part of the respiratory system (right).

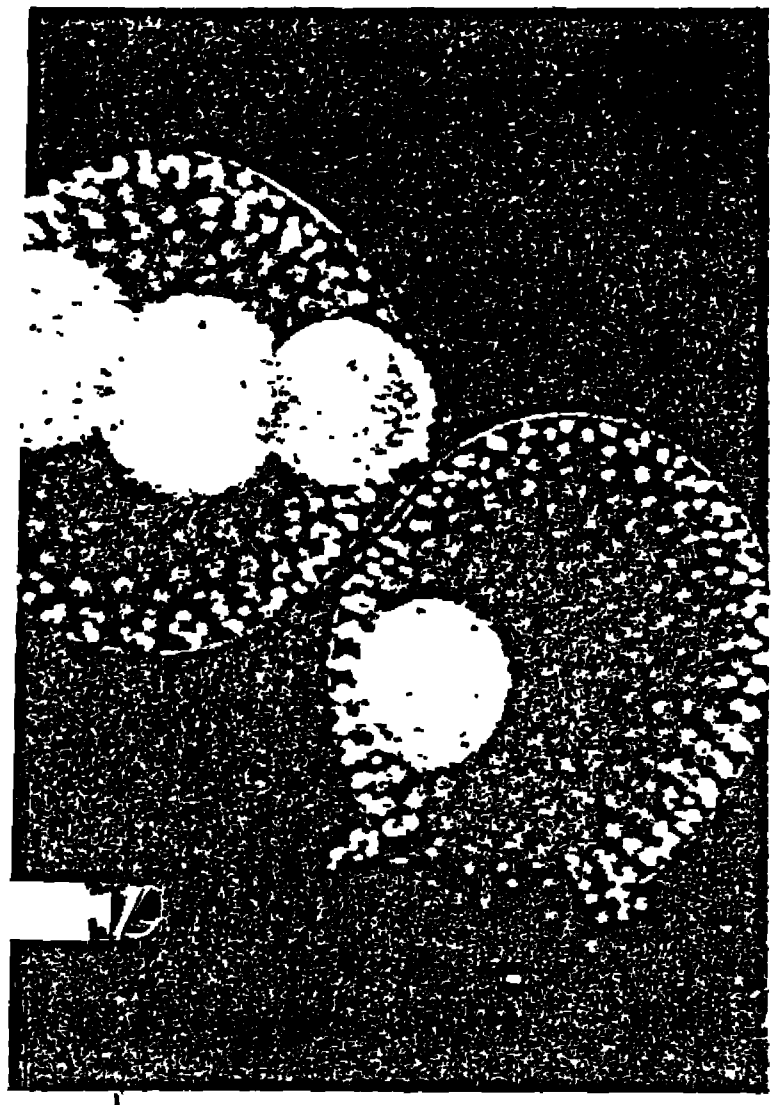


Figure 5-17 New *Volvox* colonies are formed in the interior of other colonies and are released when the old colony ruptures.

stomach, muscle tissue causes movement, epithelial tissue secretes enzymes, and nervous tissue transmits messages back and forth between the stomach and the brain.

An organ system is made up of a group of organs that work together to perform a set of related tasks. For example, the mouth, esophagus, stomach, intestines, and several other organs make up the digestive system. Each of these organs performs a specific aspect of the complex process we refer to as digestion.

Plants have tissue systems and organs. These are organized somewhat differently from those in animals. A dermal tissue system forms the outer layer of a plant. A ground tissue system makes up the bulk of roots and stems. A vascular tissue system is the water transport system of the plant. The three plant organs are roots, stems, and leaves.

Organisms

In a unicellular organism one cell carries out all the functions of life. Some life-forms, called colonial organisms, appear to be neither unicellular nor multicellular. A colonial organism is a group of more or less similar cells that live together in closely connected groups. An example is *Volvox*, a green alga that can be seen in Figure 5-17.

The organization of *Volvox* may give a clue to how multicellular organisms evolved. In *Volvox* each cell maintains its own individual existence. Sometimes, however, individual cells carry out specialized functions, such as reproduction or movement, for the whole colony. Each hollow *Volvox* sphere contains 500 to 60,000 cells. The spheres move in the water by the combined beating of the flagella of the specialized outer cells. A few of the cells are specialized for reproduction. They produce daughter colonies, which you can see as the darker spheres floating within the main sphere.

The same principle of specialization found in *Volvox* is found within all multicellular organisms. However, in multicellular organisms cells are so specialized that they are dependent on the function of other cells of the organism.

Section Review

1. Explain how a cell, a tissue, and an organ are related.
2. Give an example of an organ system, and name some of the parts that form it.
3. Name the plant tissue systems and organs.
4. To what extent are the individual cells within a *Volvox* colony independent of one another?
5. Green algae, such as *Codium*, enlarge by dividing the nucleus but do not form cell walls between the parent and the daughter cells. Would you call *Codium* a unicellular or a multicellular organism? Explain your answer.

8. Diffusion and Osmosis

To remain alive and function optimally, cells, tissues, organs, and organisms must maintain a biological balance with their immediate environment. Cells maintain this biological balance, or homeostasis, by controlling and regulating what gets into and out of the cell. Though cells can exist within a range of environmental states, there is a limit to how much they can adjust.

Diffusion

To understand how cells maintain homeostasis, you must understand how molecules move. Molecules are in constant motion. They travel in straight lines until they hit something, then rebound, still traveling in a straight line but in a different direction. They rebound again, and so on. As the molecules move, they tend to move into those areas where the molecules are less concentrated. This tendency results in an overall direction of movement among the molecules. Diffusion is the process by which molecules spread from an area of greater concentration to an area of lesser concentration.

Equilibrium

An example of diffusion occurs when you put a cube of sugar in water. The sugar molecules diffuse away from the cube into the water. At first the molecules are more concentrated near the sugar cube and less concentrated farther from the cube. This difference in concentrations of a substance across space is called a concentration gradient. Eventually the sugar molecules diffuse throughout the water so that they are equally distributed. When the concentration of the molecules of a substance is the same throughout a space, a state called equilibrium exists. Once equilibrium is established the random movement of molecules continues, and equilibrium is maintained.

Section Objectives

- *Define homeostasis.*
- *Describe the movement of molecules to achieve equilibrium.*
- *Explain the process by which water molecules move across a membrane.*
- *Differentiate between diffusion and osmosis.*

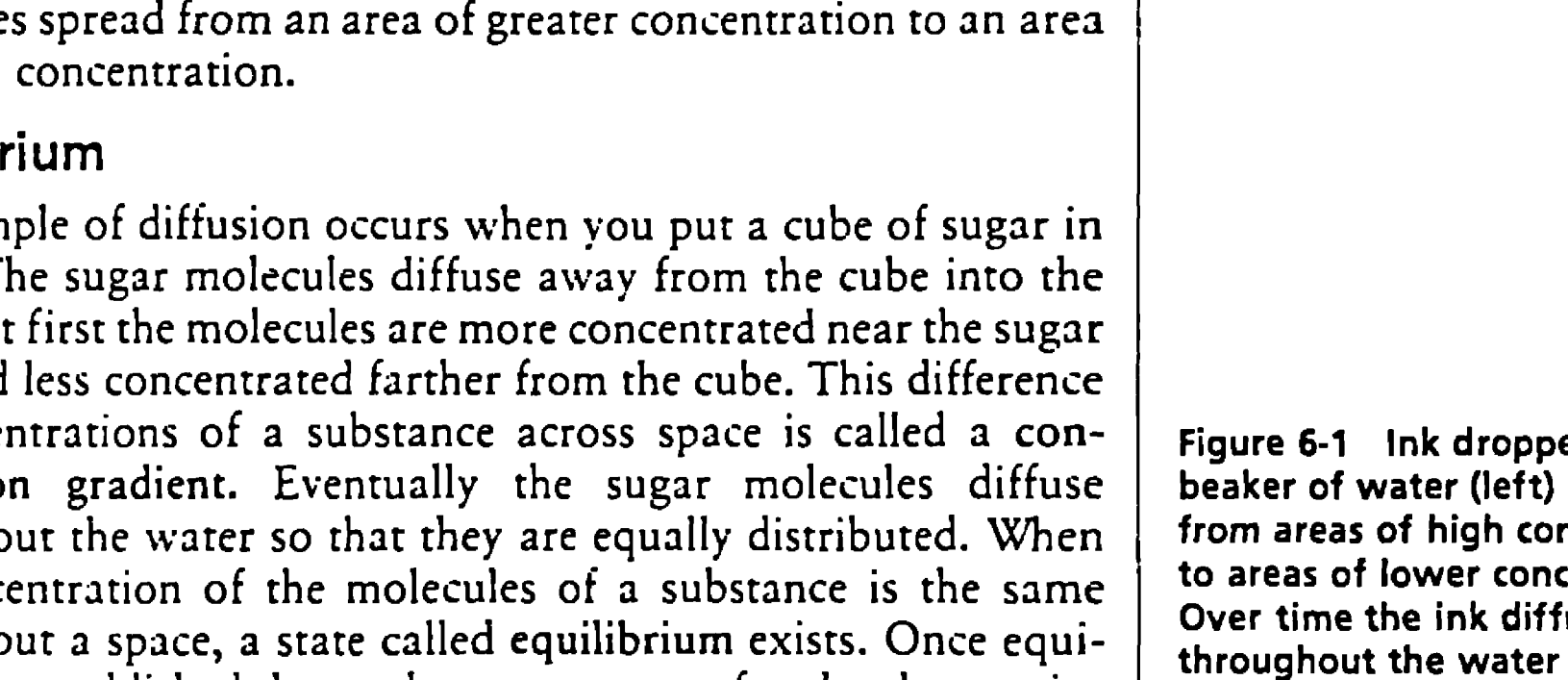
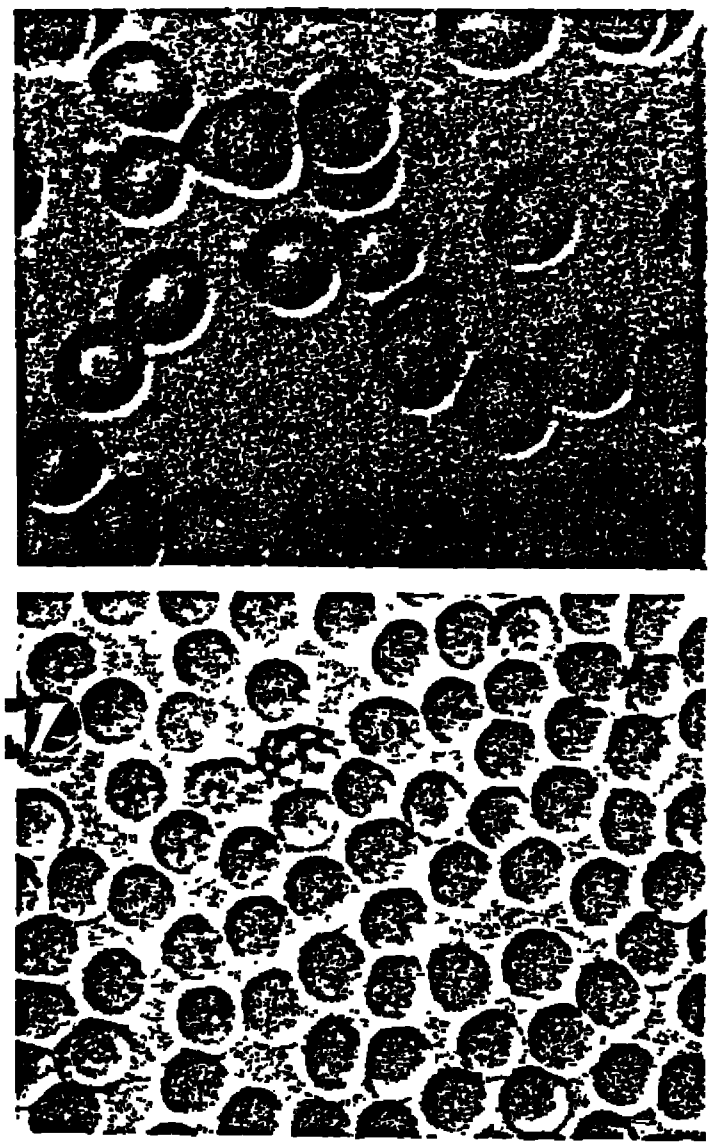


Figure 6-1 Ink dropped into a beaker of water (left) diffuses from areas of high concentration to areas of lower concentration. Over time the ink diffuses evenly throughout the water (center and right). Eventually equilibrium is established.

Think



The normal red blood corpuscles in the top photo are in a plasma solution. Now look at the red blood corpuscles in the bottom photo. Do you think they are in a salty solution or in distilled water? Why? The micrograph of red corpuscles appears green because a red blood cell *in vivo* is straw-colored, almost transparent. The cells appear reddish only when they are in a large grouping, or when the cell is nonliving and stained. Without the blue-green background color, the cell would not be visible.

Diffusion Across Membranes

Some kinds of molecules can also diffuse across a membrane. They do this by moving between the molecules that make up the membrane. If a substance can pass through a membrane, the membrane is **permeable** to it. As with all diffusion, molecules diffuse from an area of greater concentration on one side of the membrane to one of lesser concentration on the other.

Not all molecules can diffuse through all membranes. The ability of a molecule to pass through a membrane depends on the size and type of molecule and the molecular structure of the membrane. Membranes that let only some substances through are called selectively permeable membranes, or semipermeable membranes. Cell membranes are semipermeable; thus they regulate what gets into and out of a cell. Oxygen, for example, enters by diffusion, but large molecules like starch do not.

Osmosis

Recall from Chapter 3 that a solution is composed of a solute dissolved in a solvent. In the example cited on the previous page sugar is the solute and water is the solvent. In organisms the solvent is water and the solutes are inorganic and organic compounds. In the sugar example the solute diffused. However, it is also possible for the solvent to diffuse. The process by which water molecules diffuse through a membrane from an area of greater concentration to an area of lesser concentration is called osmosis *(ahz-MOE-suss)*. Note that in biology osmosis refers only to the diffusion of water.

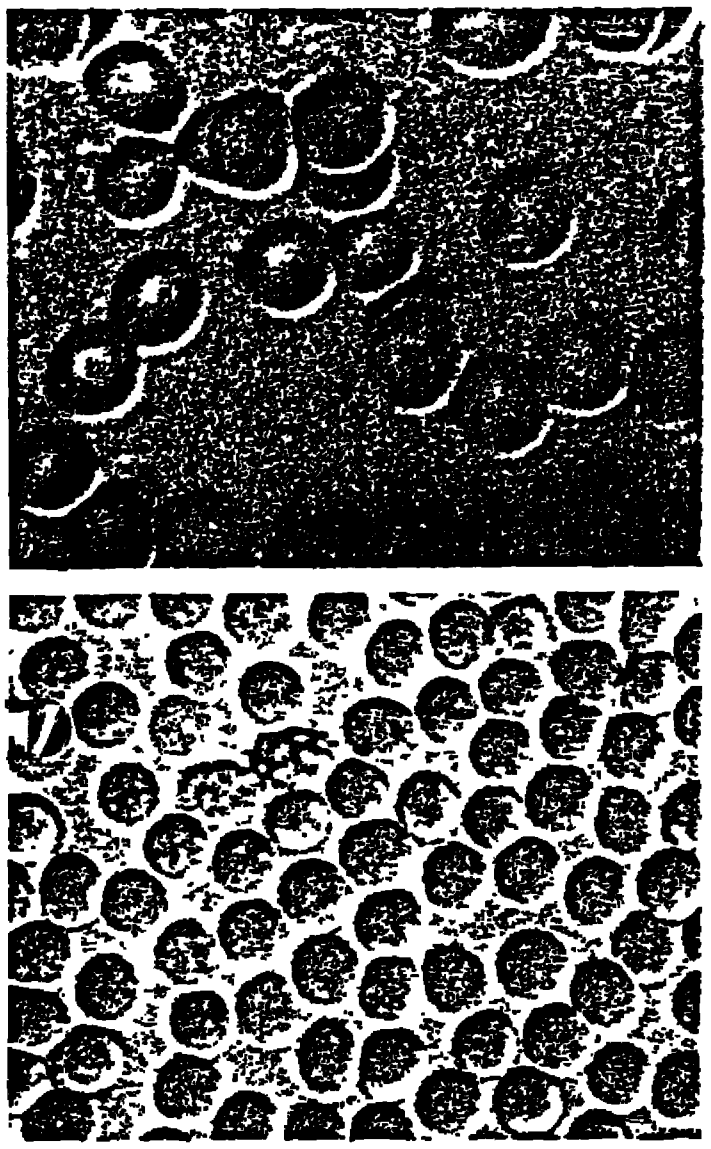
Direction of Osmosis

What determines the direction in which the water molecules diffuse across a cell membrane? The direction depends on the concentrations of water and of solutes dissolved in the solutions. Study Table 6-1. If the concentration of solute molecules in the

Table 6-1 Direction of Osmosis

Conditions	Environment solution is	Cell solution is	Water will move
If solute concentration in the environment is lower than in the cell	Hypotonic	Hypertonic	Into the cell
If solute concentration in the environment is higher than in the cell	Hypertonic	Hypotonic	Out of the cell
If solute concentration in the environment is equal to that in the cell	Isotonic	Isotonic	Water will not move

Think



The normal red blood corpuscles in the top photo are in a plasma solution. Now look at the red blood corpuscles in the bottom photo. Do you think they are in a salty solution or in distilled water? Why? The micrograph of red corpuscles appears green because a red blood cell *in vivo* is straw-colored, almost transparent. The cells appear reddish only when they are in a large grouping, or when the cell is nonliving and stained. Without the blue-green background color, the cell would not be visible.

Diffusion Across Membranes

Some kinds of molecules can also diffuse across a membrane. They do this by moving between the molecules that make up the membrane. If a substance can pass through a membrane, the membrane is **permeable** to it. As with all diffusion, molecules diffuse from an area of greater concentration on one side of the membrane to one of lesser concentration on the other.

Not all molecules can diffuse through all membranes. The ability of a molecule to pass through a membrane depends on the size and type of molecule and the molecular structure of the membrane. Membranes that let only some substances through are called selectively permeable membranes, or semipermeable membranes. Cell membranes are semipermeable; thus they regulate what gets into and out of a cell. Oxygen, for example, enters by diffusion, but large molecules like starch do not.

Osmosis

Recall from Chapter 3 that a solution is composed of a solute dissolved in a solvent. In the example cited on the previous page sugar is the solute and water is the solvent. In organisms the solvent is water and the solutes are inorganic and organic compounds. In the sugar example the solute diffused. However, it is also possible for the solvent to diffuse. The process by which water molecules diffuse through a membrane from an area of greater concentration to an area of lesser concentration is called osmosis *(ahz-MOE-suss)*. Note that in biology osmosis refers only to the diffusion of water.

Direction of Osmosis

What determines the direction in which the water molecules diffuse across a cell membrane? The direction depends on the concentrations of water and of solutes dissolved in the solutions. Study Table 6-1. If the concentration of solute molecules in the

Table 6-1 Direction of Osmosis

Conditions	Environment solution is	Cell solution is	Water will move
If solute concentration in the environment is lower than in the cell	Hypotonic	Hypertonic	Into the cell
If solute concentration in the environment is higher than in the cell	Hypertonic	Hypotonic	Out of the cell
If solute concentration in the environment is equal to that in the cell	Isotonic	Isotonic	Water will not move

environment outside the cell is lower than that in the cell, the solution outside is **hypotonic** relative to its environment. The prefix *hypo-* means "lower." Water will move into the cell until equilibrium is established. When the concentration of solute molecules outside the cell is greater than that inside, the solution outside is **hypertonic** relative to its environment. The prefix *hyper-* means "higher." Water will diffuse out of the cell until equilibrium is established. When the concentration of solutes outside and inside the cell are equal, the solution is **isotonic** relative to its environment. The prefix *iso-* means "equal." Water will diffuse into and out of the cell at equal rates, establishing osmotic balance.

Notice that the prefixes *hypo-*, *hyper-*, and *iso-* refer to the relative concentration of solute. Remember that a hypotonic solution exists in relation to a coexisting hypertonic solution. A hypertonic solution exists in relation to a coexisting hypotonic solution. An isotonic solution has an adjacent isotonic solution.

Role of Osmosis

A plant cell swells as it fills with water. It does not swell endlessly because it is restricted by cell walls. As water diffuses into the cell, pressure—called **turgor pressure**—increases. The pressure forces the cytoplasm and cell membrane against the cell wall and the cell becomes rigid. Such a cell has high turgor pressure.

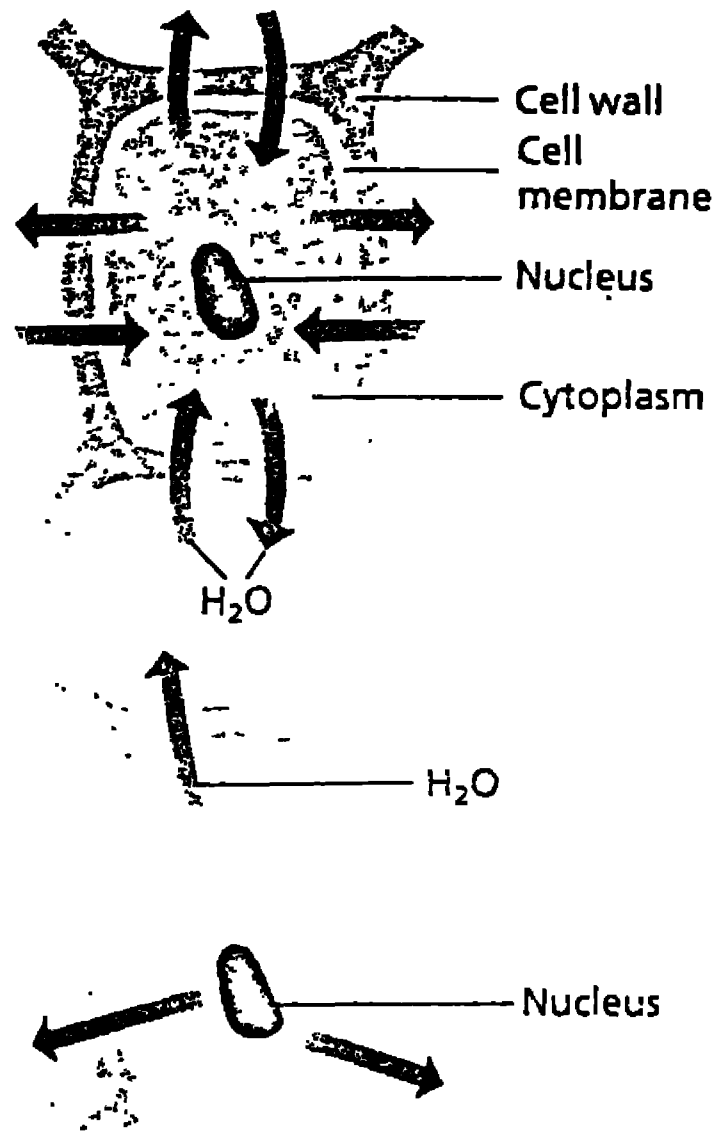
Turgor pressure is maintained while the cells are in a hypotonic environment. If the environment loses water or gains solutes, the concentration of solutes outside the cell may become greater than that inside. Water then leaves the cell, turgor pressure is lost, and the cell wilts. This condition is called **plasmolysis** *(plazz-MAHL-uh-suss)*. The reverse condition, in which cells take in so much water that they burst, is called **cytolysis**.

Unicellular freshwater organisms exist in a hypotonic environment and are thus hypertonic relative to their environment. Water will therefore diffuse into the cell. Since these organisms need to maintain a relatively lower concentration of water inside the cell to function normally, they must rid themselves of the excess water that enters the cell by osmosis. Some organisms do this with contractile vacuoles, organelles that remove water. The contractile vacuoles collect the excess water and then contract, squeezing the water out of the cell.

Section Review

1. Distinguish between *diffusion* and *osmosis*.
2. How does the cell membrane help maintain homeostasis?
3. What is one factor that determines the direction in which molecules move across a membrane?
4. When the turgor pressure of a plant cell increases, does that indicate that the cell is hypotonic, hypertonic, or isotonic relative to its environment? Explain your answer.
5. Why would drinking sea water be dangerous for humans?

Figure 6-2 The plant cell at the top is in osmotic balance since conditions are such that water is leaving and entering the cell in equal amounts. In the plant cell at the bottom, a hypertonic solution outside the cell has caused plasmolysis.



9. DNA

Section Objectives

- *Explain the principal function of DNA in cells.*
- *Describe the basic structure of a DNA molecule.*
- *Summarize the process of replication.*
- *List some major scientific discoveries that led to the description of DNA structure by Watson and Crick.*

What enables cells to have so many different forms and perform so many different functions? Ultimately the source of this amazing diversity is DNA, or deoxyribonucleic acid. In simple terms, DNA controls the production of proteins within the cell. These proteins in turn form the structural units of cells and control all chemical processes within the cell.

Every new cell that develops in your body needs an exact copy of the DNA from its parent cell. Likewise, humans and all other organisms must be able to pass copies of their DNA on to their offspring in order to continue the species. As you will see in this chapter, the structure of the DNA molecule is related to its two primary functions—to store and use information to direct the activities of the cell and to copy itself exactly for new cells that are [illegible]ated.

Structure of DNA

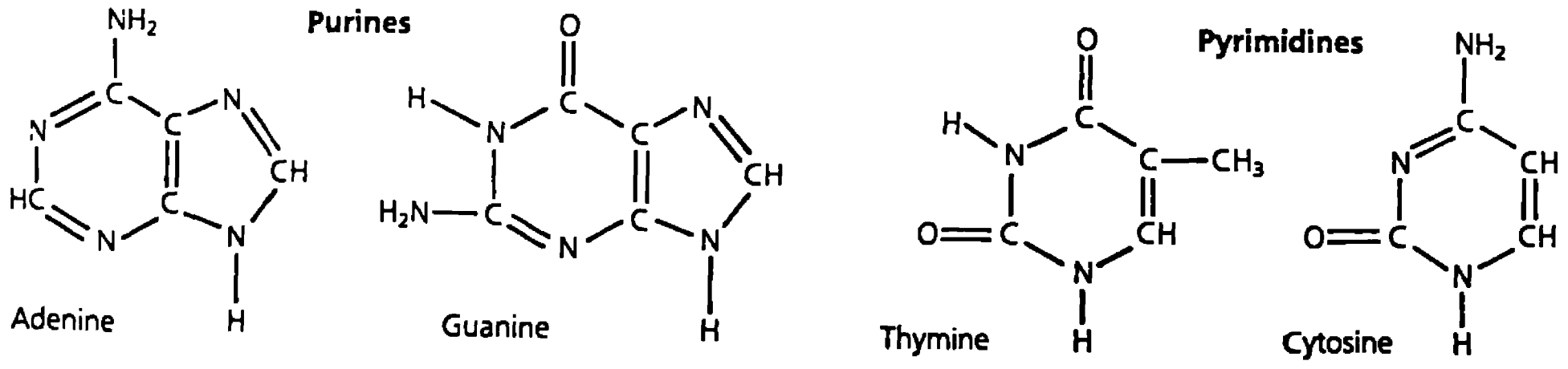
As you recall from Chapter 4, the nucleic acids DNA and RNA are complex organic molecules. DNA and RNA are polymers—that is, they are composed of repeating subunits, or monomers. The repeating subunits in both DNA and RNA are **nucleotides.**

Nucleotides

The DNA molecule consists of two long strands, each of which is a chain of nucleotide monomers. Each nucleotide has three parts: (1) a five-carbon sugar molecule called **deoxyribose** *(dee-AHK-sih-RIE-BOSE)*, (2) a phosphate group, and (3) a nitrogen base.

While the sugar molecule and phosphate group are the same in every nucleotide, the nitrogen base may be any one of four different kinds. These bases are **adenine** *(AD-'n-EEN)*, **guanine** *(GWAHN-EEN)*, **thymine** *(THIE-MEEN)*, and **cytosine** *(SITE-uh-SEEN)*. Study the structure of each in Figure 8-1. The first two bases—adenine and guanine—belong to a class of organic molecules known as **purines** *(PYOOHR-EENZ)*, which have a double ring of carbon and nitrogen atoms. The second two bases—thymine and cytosine—are **pyrimidines** *(pie-RIM-uh-DEENZ)*. These molecules have a single ring of carbon and nitrogen atoms.

Figure 8-1 The nitrogen base in a nucleotide is either a purine or a pyrimidine.



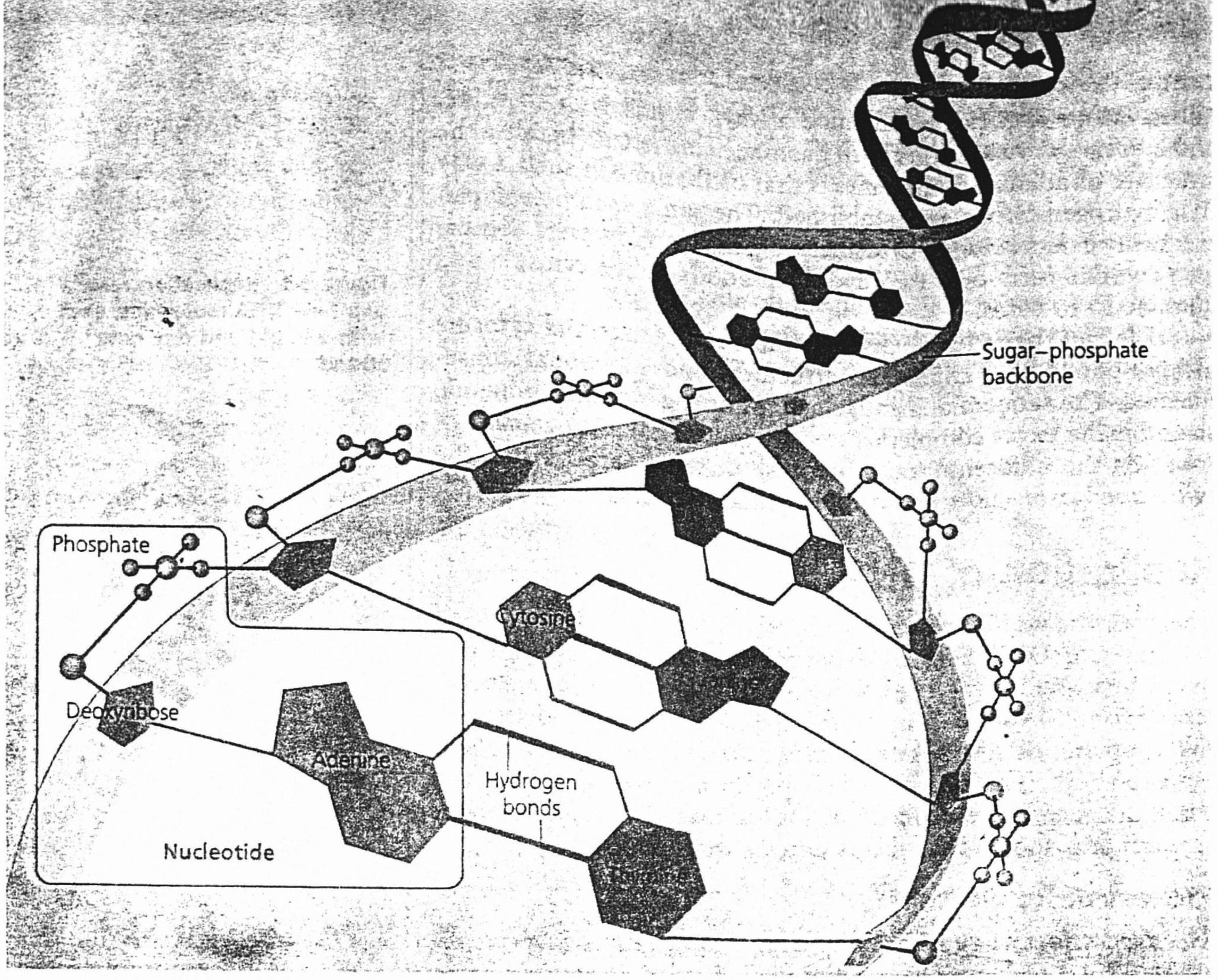


Figure 8-2 The DNA structure resembles a twisted ladder and is described as a double helix.

The Double Helix

Each nucleotide—deoxyribose, phosphate, and nitrogen base—bonds to other nucleotides to form a long strand. Two of these strands bonded together form a molecule of DNA. The two strands twist around a central axis to form a spiral structure called a **double helix.** The double helix structure was first described in 1953 by James Watson (1928–) and Francis Crick (1916–). Their discovery is one of the most significant of the twentieth century.

Figure 8-2 shows the details of the structure of DNA. As you can see, the DNA molecule looks something like a twisted ladder. The sides of the ladder are formed by alternating sugar and phosphate units, and the rungs consist of bonded pairs of nitrogen bases. Notice that the rungs are of uniform length because in each case one base is a double-ringed purine and the other is a single-ringed pyrimidine. An actual DNA molecule has a right-hand twist, with each full turn consisting of ten base pairs.

The two strands of DNA are held together by hydrogen bonds between the bases. A **hydrogen bond** is a type of chemical bond in which atoms share a hydrogen nucleus—that is, one proton. In DNA, hydrogen bonds form between purines and pyrim-

idines. More specifically, adenine always bonds with thymine, and cytosine always bonds with guanine. This occurs because the structure of adenine complements that of thymine in such a way that hydrogen bonds are established. The same kind of complementarity exists between cytosine and guanine. However, adenine and thymine form only two hydrogen bonds, while cytosine and guanine form three.

The fact that adenine always bonds to thymine and cytosine always bonds to guanine has structural and functional consequences. The sequential arrangement of nitrogen bases along one strand is the exact complement of the sequential arrangement of bases on the adjacent strand. Because of this characteristic, the two strands are said to be complementary strands.

Replication of DNA

The scientific world was stunned by Watson and Crick's proposed structure for DNA because it immediately suggested how DNA might be copied—and copied exactly. If the two complementary strands of DNA were to unwind, then each strand could serve as the template, or mold, on which a new complementary strand could be built. This process would produce two new DNA molecules that are exact replicas of the original DNA. Subsequent research has shown that this is exactly what happens.

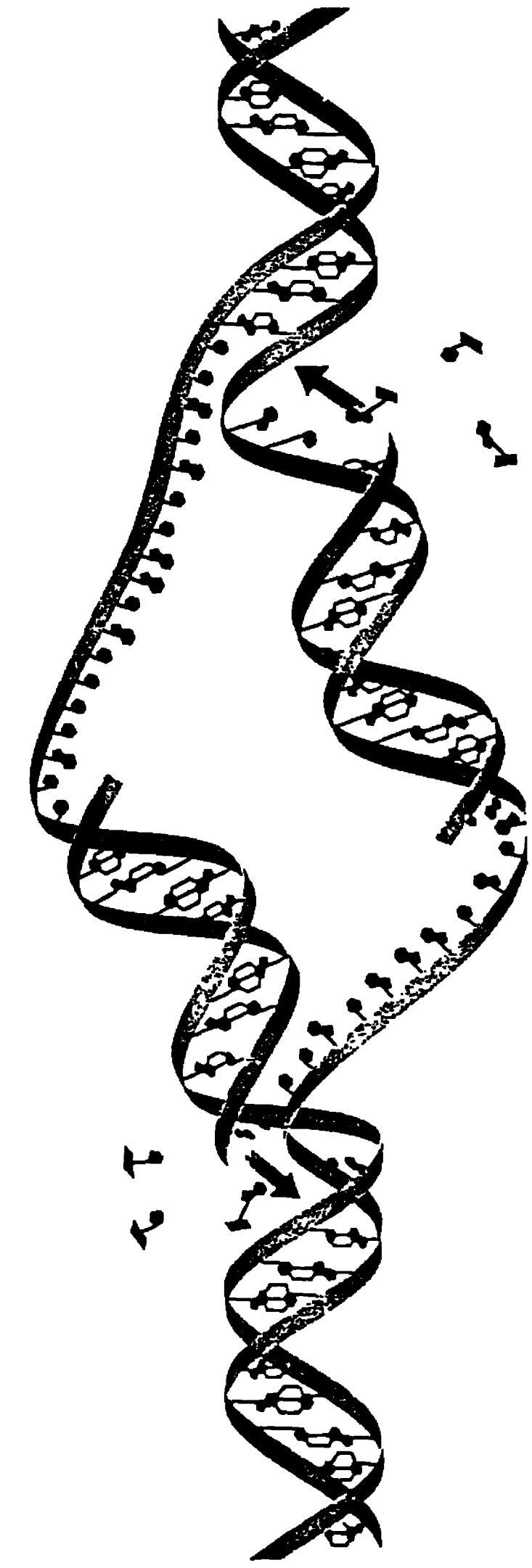
Process of Replication

The process of the duplication of a DNA molecule is called **replication.** Refer to Figure 8-3 as you read about the process of replication. Replication begins when an enzyme called DNA helicase attaches to a DNA molecule, moves along the molecule, and "unzips" the two strands of DNA. DNA helicase acts by breaking the hydrogen bonds between the nitrogen bases.

After the DNA strands are separated, the now unpaired bases in each strand react with the complementary bases of nucleotides that are floating freely in the nucleus. These complementary bases bond with the bases in the DNA strands by forming hydrogen bonds. As each new set of hydrogen bonds links a pair of bases, an enzyme called DNA polymerase catalyzes the formation of the sugar-to-phosphate bonds that connect one nucleotide to the next one. This process results in two new DNA molecules, each of which consists of one "old" strand of DNA and one "new" strand of DNA.

The process of replication maintains the complementary nature of the DNA molecule. Since adenine (A) can pair only with thymine (T) and cytosine (C) can pair only with guanine (G), the sequence of nucleotides in each new strand exactly matches that in the original molecule. Suppose, for instance, that the sequence of nucleotides in one strand of the original molecule was A-T-T-C-C-G. The complementary strand in the original molecule must have had the sequence T-A-A-G-G-C. Any new strand formed

Figure 8-3 Replication results in two new DNA molecules, each with one old and one new strand.



using the first strand as a template will also follow the sequence T-A-A-G-G-C. Similarly, any new strand formed using the original T-A-A-G-G-C strand as a template must follow the sequence A-T-T-C-C-G.

Replication of DNA doesn't begin at one end of the molecule and proceed to the other. Rather, copying of DNA occurs simultaneously at many points on the molecule. Enzymes join the individual segments of DNA to each other as they are copied. Because of the size of the DNA molecule, if replication didn't occur in this way, it would take 16 days to copy just one DNA molecule of a fruit fly. Actually, the replication of this fruit fly DNA takes only about three minutes, because about 6,000 sites are being copied simultaneously.

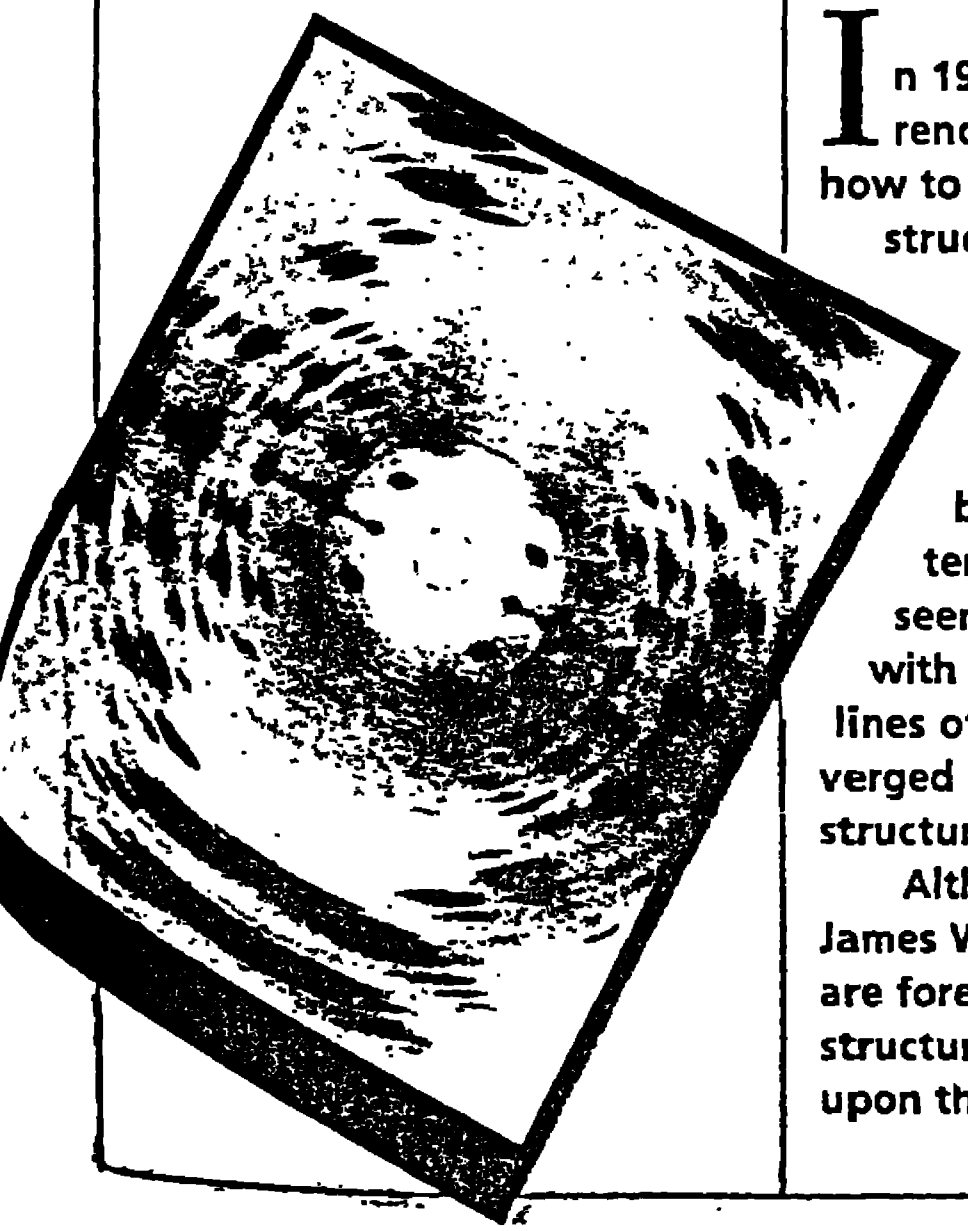
Accuracy and Repair

The entire process of DNA replication occurs with great accuracy. The cell has a built-in "proofreading" function, performed by enzymes or proteins depending on the organism. The degree of accuracy is on the order of one error per billion nucleotides.

DNA also has a mechanism for repair. In human cells, body heat, radiation, chemicals, and other factors can damage DNA.

Biology in Process

Discovering the Structure of DNA



In 1912 British physicist Lawrence Bragg figured out how to use X rays to reveal the structure of crystals. In 1928 British bacteriologist Frederick Griffith determined that traits could be transmitted between strains of bacteria. These discoveries seem to have little to do with DNA, but they launched lines of research that converged in the discovery of DNA structure in the early 1950s.

Although the names of James Watson and Francis Crick are forever associated with the structure of DNA, they drew upon the work of many other researchers in developing their model. Truly in the words of Isaac Newton, they "stood upon the shoulders of giants."

When Watson and Crick began their work together, they already knew a great deal about DNA. Researchers following up on the work of Griffith had demonstrated that DNA is the genetic material. Others had revealed many details of the chemical composition of DNA. Of special note was a discovery by American biochemist Erwin Chargaff. He had shown that in DNA the amount of cytosine equals that of guanine, and the amount of thymine equals that of adenine.

Body heat alone continuously breaks up bonds between deoxyribose and purines. A group of 20 or more repair enzymes recognizes and removes damaged nucleotides and replaces them with new ones, thus ensuring the accurate replication of new DNA.

In studying the structure and replication of DNA, make a note of one thing. The sequence of bases along a strand is, as you will learn, not random. Inherent in the sequence of nitrogen bases is all the information determining the structure and function of an organism.

Section Review

1. What is the difference between a *purine* and a *pyrimidine?*
2. How are the two strands of a DNA molecule bonded together to form a double helix?
3. Why is the process of DNA replication necessary?
4. What important roles do enzymes play during the replication process?
5. Prokaryotic cells lack a nucleus; eukaryotic cells have a nucleus. Suggest an adaptive advantage for confining DNA in a nucleus.



The most direct information about DNA structure available to Watson and Crick came from Bragg's technique of X-ray crystallography. Maurice Wilkins and Rosalind Franklin, researchers at King's College in London, had used X-ray crystallography to produce images of DNA like the one shown at left. By 1952 Franklin's interpretation of these images indicated that DNA is a helix with the sugar–phosphate backbone on the outside. Franklin's images also showed that the diameter of the helix was so large that it must consist of more than one strand of nucleotides.

The main questions left for Watson and Crick (above) to answer were how many strands of nucleotides make up DNA and how those strands are bonded together. Watson and Crick succeeded in answering those questions by combining available information with a technique of model building, which they knew that American chemist Linus Pauling had used to determine aspects of protein structure.

The chain of events that led to the discovery of DNA structure exemplifies the way in which a scientific discovery often draws upon the work done by many scientists over many years. In this particular case, Lawrence Bragg was no doubt pleased that the technique he had developed 40 years earlier played a major role in this landmark discovery, which Watson and Crick made in the laboratory he directed at Cambridge University.

- **In what ways was the process of communicating vital to the success of Watson and Crick?**

Section Objectives

- *Compare and contrast the structure of RNA with that of DNA.*
- *Name the three types of RNA, and describe the structure of each.*
- *Summarize the process of transcription.*

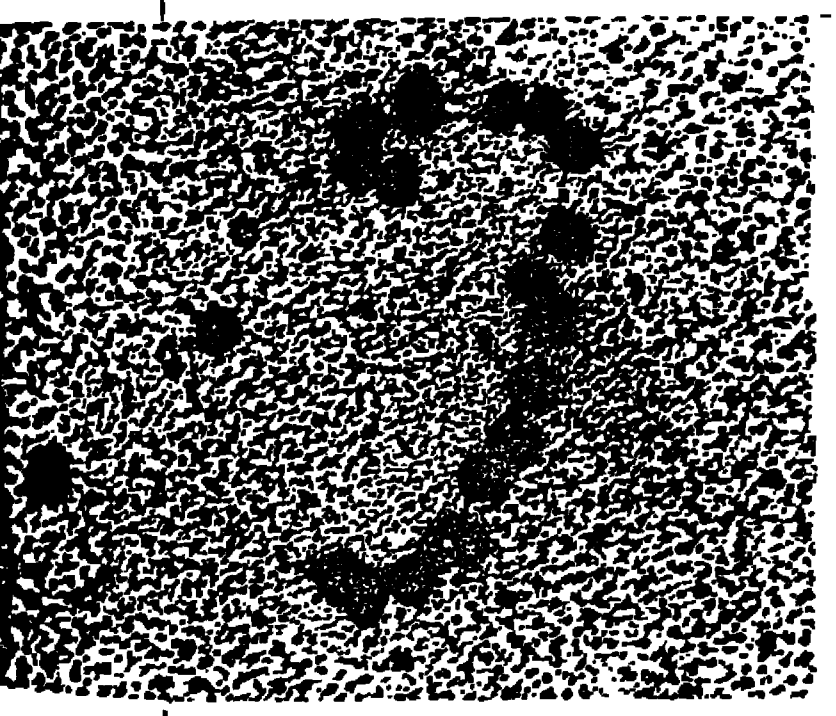


Figure 8-4 Ribosomes, shown in this SEM, are composed of rRNA and proteins.

10. RNA

DNA stores and transmits the information needed to make proteins but it does not actually use that information to synthesize proteins. That is the primary function of RNA, or ribonucleic acid. In this section we will examine the basic structure of RNA and the process by which it is produced from DNA. In Section 8.3 we will study the role of RNA in the synthesis of proteins.

Structure of RNA

Like DNA, RNA is a polymer consisting of nucleotide monomers or subunits. However, RNA differs from DNA in three important ways. First, an RNA molecule consists of only one strand of nucleotides instead of the two strands of the DNA molecule. Second, RNA has **ribose** as its five-carbon sugar rather than deoxyribose. Finally, RNA has the nitrogen base **uracil** instead of thymine.

In addition, RNA exists in the following three structural forms. Each plays a different role in protein synthesis.

- Messenger RNA (mRNA) is a single, uncoiled strand that transmits information from DNA for use during protein synthesis. It serves as a template, or pattern, for the assembly of amino acids during protein synthesis.
- Transfer RNA (tRNA) is a single strand of RNA folded back on itself in hairpin fashion, allowing some complementary bases to pair. tRNA exists in 20 or more varieties, each with the ability to bond to only one specific type of amino acid.
- Ribosomal RNA (rRNA), which is RNA in globular form, is the major constituent of the ribosomes. The precise function of rRNA in protein synthesis is not yet fully understood.

Transcription

RNA is produced from DNA through a process called transcription. RNA molecules are transcribed according to the information encoded in the base sequence of DNA. As you read about transcription, follow the process in Figure 8-5.

An enzyme called RNA polymerase first binds to a DNA molecule and then causes the separation of the complementary strands of DNA. The enzyme next directs the formation of hydrogen bonds between the bases of a DNA strand and complementary bases of RNA nucleotides that are floating in the nucleus. RNA polymerase then moves along the section of DNA, establishing the sugar-to-phosphate bonds between the RNA nucleotides in much the same way as in DNA replication. When RNA polymerase reaches the sequence of bases on the DNA that acts as a termination signal, the enzyme triggers the release of the newly made RNA.

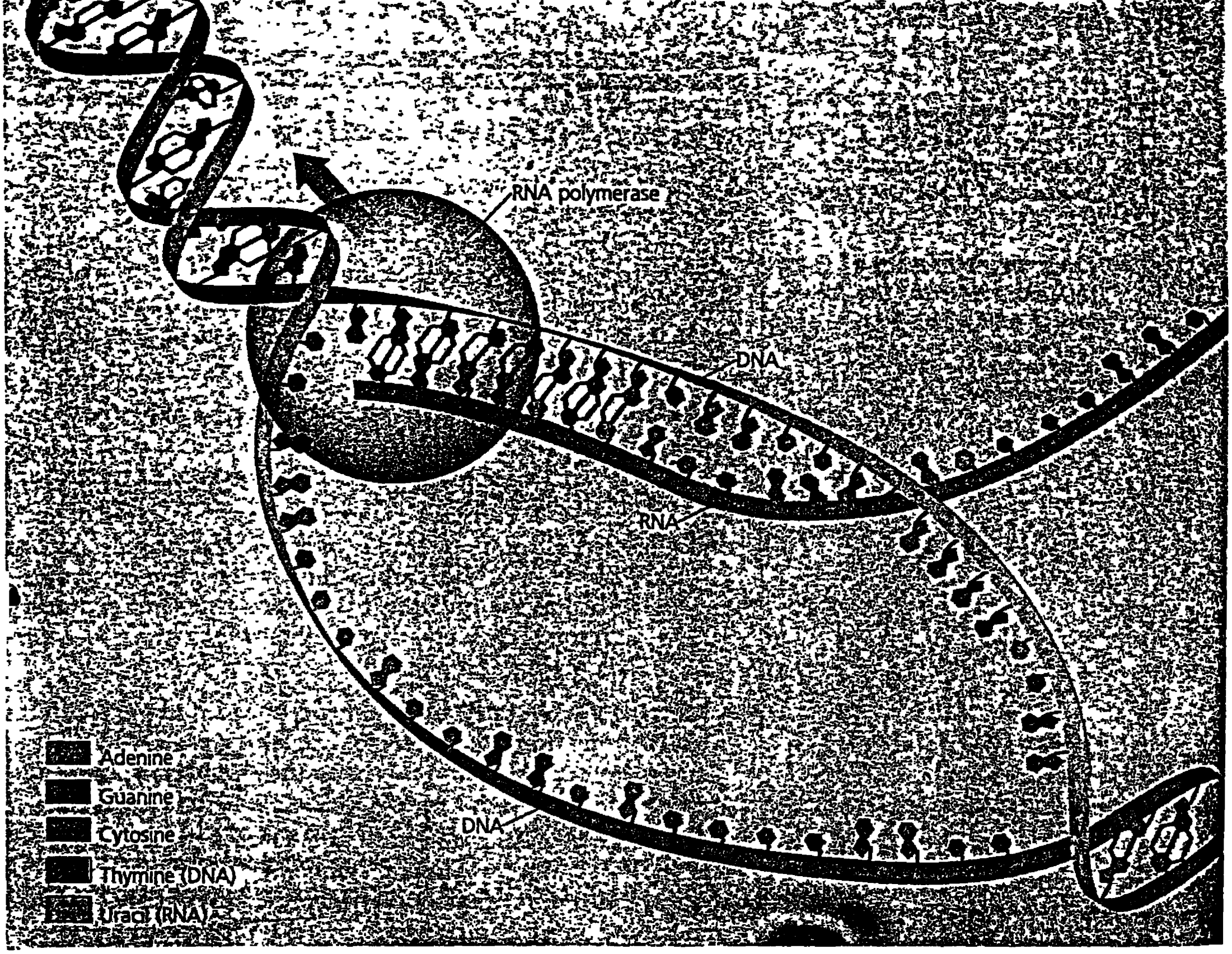


Figure 8-5 During transcription a DNA strand is linked to complementary bases of RNA nucleotides by hydrogen bonds.

All three types of RNA are transcribed in this manner. Each type of RNA then leaves the nucleus and travels to the cytoplasm, where it is involved in the synthesis of protein.

Notice that the transcription process creates RNA with a base sequence complementary to DNA. As you learned in Section 8.1, genetic information resides in the sequence of bases on a DNA molecule. During transcription this genetic code of DNA becomes inherent in the sequence of bases in RNA.

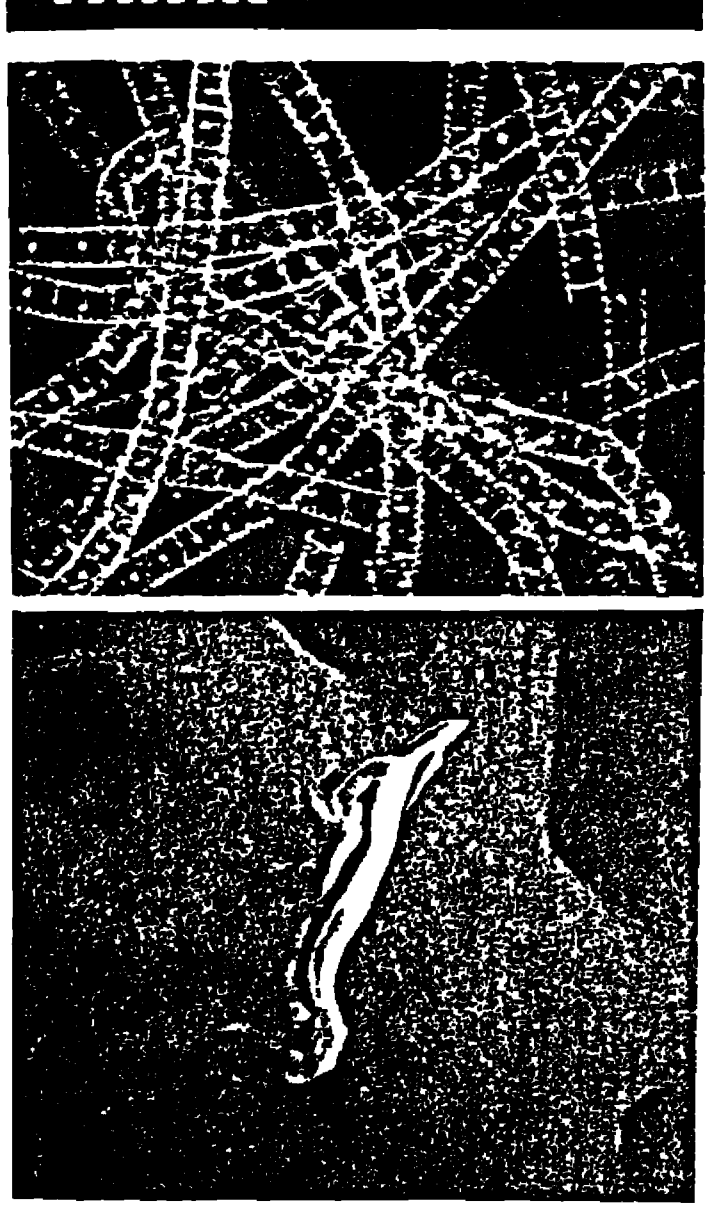
Section Review

1. What is *transcription?*
2. In what three ways does the structure of RNA differ from that of DNA?
3. What are the three types of RNA?
4. How is the sequence of bases in DNA reflected in the sequence of bases in the RNA made through the transcription process?
5. Why is the presence of nuclear pores advantageous for the movement of RNA?

Section Objectives

- *List two characteristics of the genetic code.*
- *Distinguish between a codon and an anticodon, and state where each is found.*
- *Summarize the process of translation.*

Think



These organisms have the same genetic code. What does this suggest about evolution of life on earth?

11. Protein Synthesis

Now that you know about the structures of DNA and RNA, let's take a look at the process of protein synthesis itself. Protein synthesis is the formation of proteins using information coded on DNA and carried out by RNA.

Protein Structure

Depending on its complexity, an organism may have from several hundred to several thousand different proteins as part of its makeup. Each protein molecule is made up of one or more polymers called polypeptides, each of which consists of a specific sequence of amino acids linked together by peptide bonds. As you know from Chapter 4, there are 20 different amino acids. A protein may consist of hundreds or thousands of amino acids, and all these amino acids must be arranged in a particular sequence for the protein to function properly. In fact, all structural and functional characteristics of a protein are determined by its amino acid sequence.

Codons

The assembly of amino acids into a specific protein is the task accomplished during protein synthesis. Before you study the sequence of events that occurs in protein synthesis, you must understand how the information necessary for creating proteins is encoded in nucleic acids.

The genetic code is the system that contains information needed by cells for proper functioning. This information is built into the arrangement of the nitrogen bases in a particular sequence of DNA. Since DNA makes RNA, which makes proteins, the DNA ultimately contains the information needed to put the amino acids together in the proper sequence.

As you learned in Section 8.2, mRNA is transcribed using DNA as a template. The genetic code inherent in the DNA is thus reflected in the sequence of bases in mRNA. A specific group of three sequential bases of mRNA is called a codon. In effect, each codon codes for, or recognizes, a specific amino acid using tRNA as an intermediary. As you will see, each codon attracts a group of bases on tRNA, and each tRNA has a specific amino acid attached to it.

Table 8-1 lists all of the 64 possible codons. You will note that each amino acid listed in the table has several codons. These codons often differ from each other only by the base in the third position. A few codons do not encode amino acids at all. Instead, they are "start" signals that engage a ribosome to start reading an mRNA molecule or "stop" signals that cause the ribosomes to stop reading mRNA.

Table 8-1 Codons in mRNA

First Base	Second Base: U	Second Base: C	Second Base: A	Second Base: G	Third Base
U	UUU, UUC: Phenylalanine UUA, UUG: Leucine	UCU, UCC, UCA, UCG: Serine	UAU, UAC: Tyrosine UAA, UAG: Stop	UGU, UGC: Cysteine UGA: Stop UGG: Tryptophan	U C A G
C	CUU, CUC, CUA, CUG: Leucine	CCU, CCC, CCA, CCG: Proline	CAU, CAC: Histidine CAA, CAG: Glutamine	CGU, CGC, CGA, CGG: Arginine	U C A G
A	AUU, AUC, AUA: Isoleucine AUG: Methionine	ACU, ACC, ACA, ACG: Threonine	AAU, AAC: Asparagine AAA, AAG: Lysine	AGU, AGC: Serine AGA, AGG: Arginine	U C A G
G	GUU, GUC, GUA, GUG: Valine	GCU, GCC, GCA, GCG: Alanine	GAU, GAC: Aspartic acid GAA, GAG: Glutamic acid	GGU, GGC, GGA, GGG: Glycine	U C A G

The coding for amino acids shown in Table 8-1 is universal. For example, UUU is the codon for the amino acid phenylalanine in bacteria, mice, and humans. AUG is the universal "start" code. Every organism has the same genetic code.

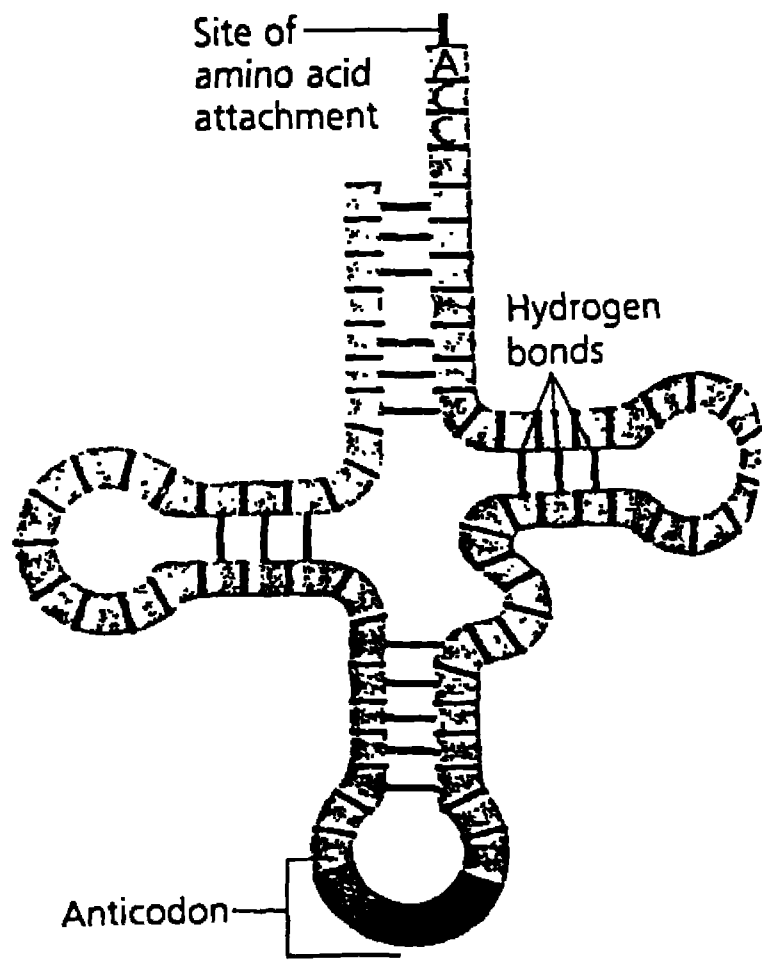
Translation

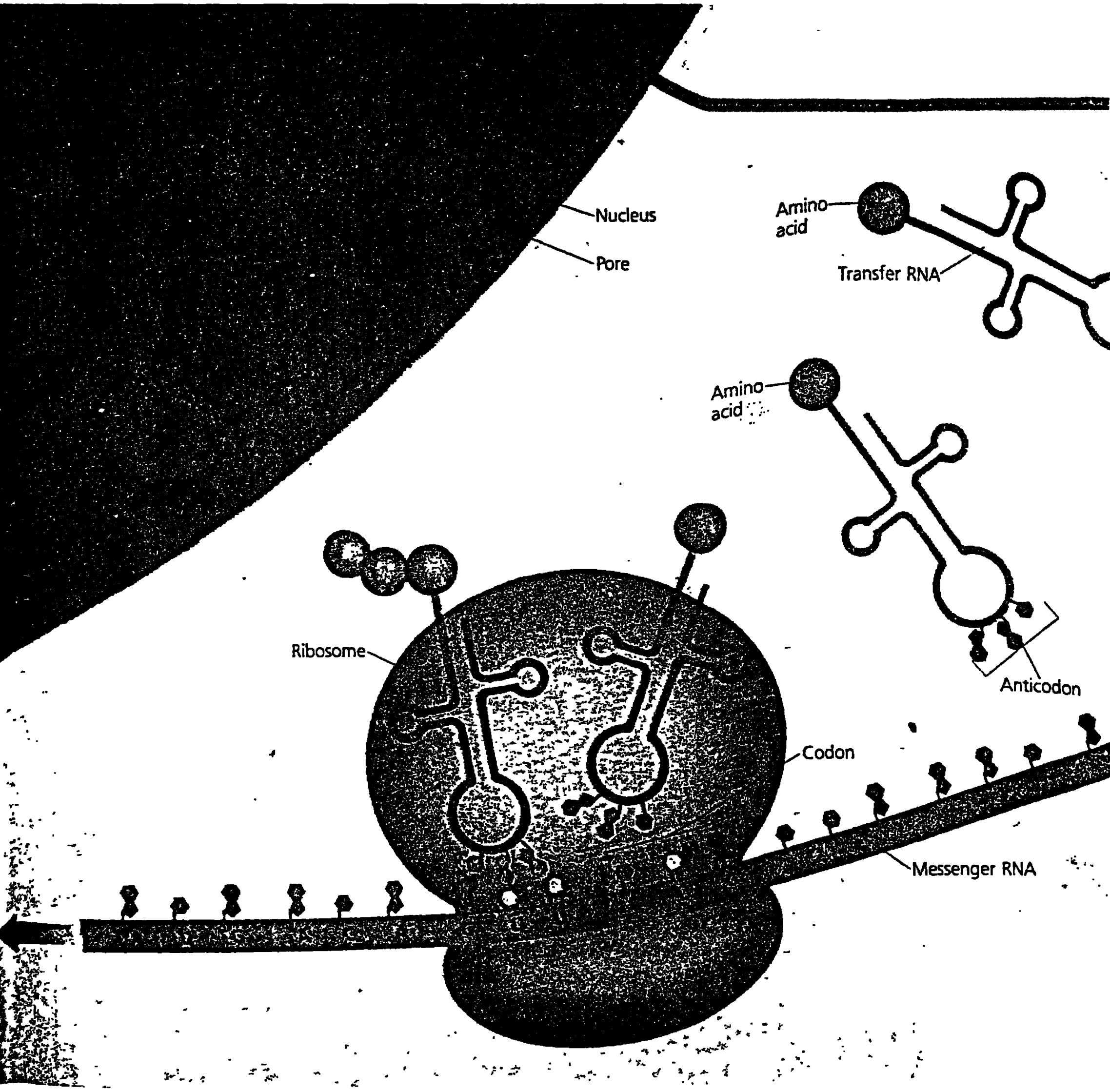
The process of assembling protein molecules from information encoded in mRNA is called **translation**. The process of translation begins when mRNA moves out of the nucleus by passing through the nuclear pores. The mRNA then migrates to a group of ribosomes, where the actual synthesis of proteins takes place.

Amino acids floating freely in the cytoplasm are transported to the ribosomes by tRNA. Notice in Figure 8-6 that each kind of tRNA has a region that bonds to a specific amino acid. Notice also that the opposite loop of the cloverlike structure of tRNA bears a sequence of three bases called an anticodon. The tRNA anticodon bases are complementary to—and thus pair with—the codon of mRNA.

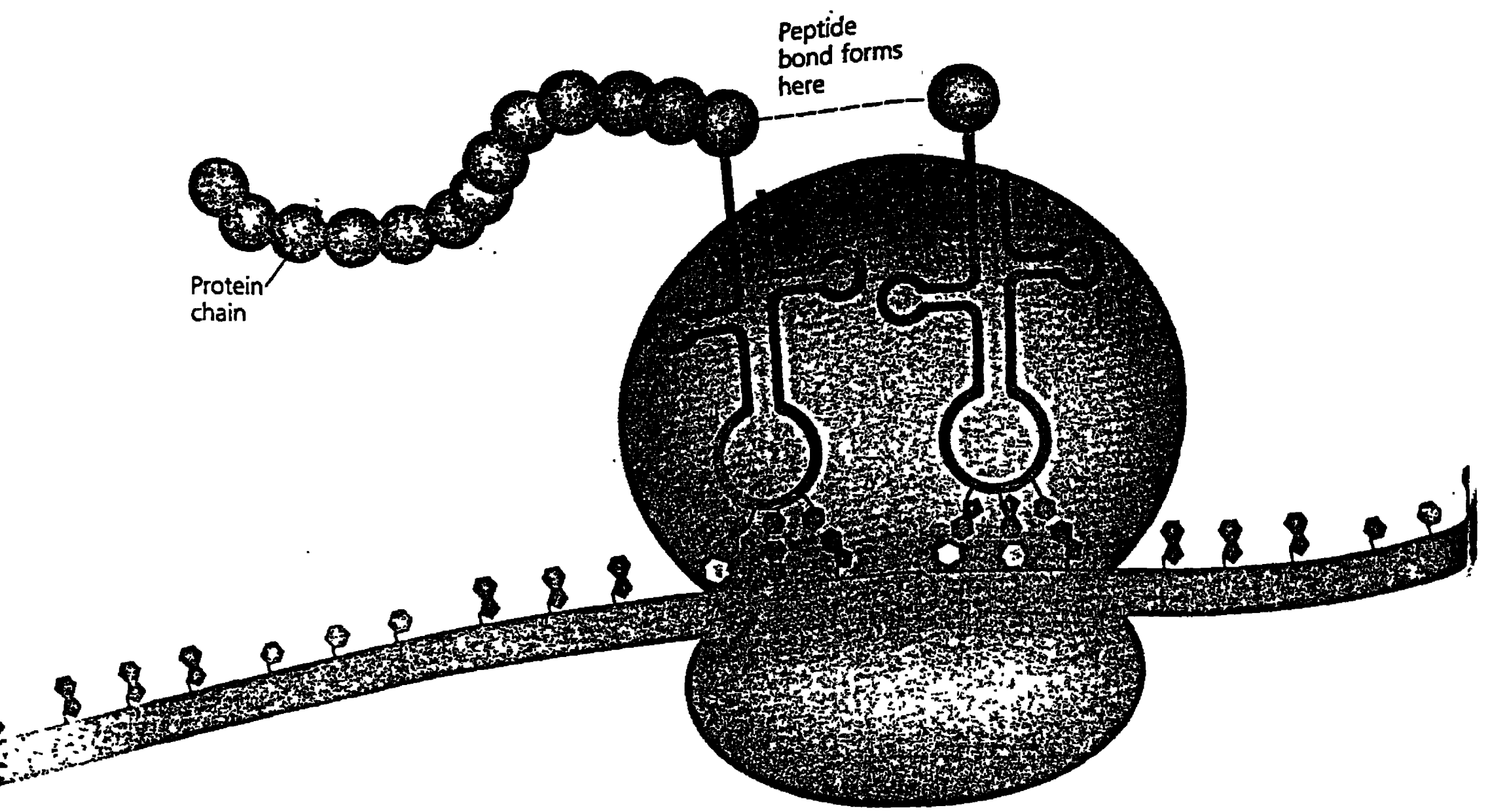
The assembly of a polypeptide begins when a ribosome attaches at an AUG codon on the mRNA. The AUG codon pairs with an anticodon UAC on a specific tRNA. Since the tRNA with this anticodon carries methionine, the first amino acid in the chain is always methionine. However, this does not mean that all polypeptides begin with methionine, because this first methionine is later removed from the chain.

Figure 8-6 Each kind of tRNA transports a specific amino acid to the ribosomes.





As you can see in Figure 8-7, usually several ribosomes are simultaneously translating the same mRNA. As a ribosome moves along the strand of mRNA, each codon is sequentially paired with its anticodon and the specified amino acid is added to the chain. An enzyme in the ribosome catalyzes a reaction that binds each new amino acid to the chain. In this reaction a peptide bond is formed with the last amino acid in the chain. The process continues, with each amino acid being linked to the chain in turn. Eventually the ribosome reaches a "stop" codon. This codon brings the



process to an end. At this point the mRNA is released, and the polypeptide is complete.

As you have seen, the manufacture of specific proteins is a function of the order of bases in mRNA. In turn, the base sequence of mRNA is complementary to that of a specific region of DNA. The region of DNA that directs the formation of a polypeptide is called a gene. Since most proteins consist of more than one polypeptide, information from several genes may be required to produce a particular protein.

Figure 8-7 When a codon is sequentially paired with its anticodon, a specified amino acid is added to the chain.

Section Review

1. What is *translation?*
2. Distinguish a codon from an anticodon, and explain the significance of each.
3. How does the physical structure of transfer RNA relate to its function?
4. Explain how the genetic code is formed and why the genetic code is said to be universal.
5. Do you think that all of an organism's genes are always involved in the continuing process of making proteins? Defend your answer.

12. Chromosomes

Cell division is the process by which cells reproduce. A unicellular organism divides and forms two new individuals. Multicellular organisms result from divisions of the zygote, a single cell. Even the zygote is produced by the union of two other cells, usually a sperm cell and an egg cell, and each of these cells arose from other cells. Insightful nineteenth-century biologists recognized a pattern: all cells come from preexisting cells. How cells divide is the subject of this chapter.

Information in the cell is contained in genes. Genes code for the proteins that carry out cellular functions. When a cell divides, genes are separated into daughter cells in an orderly, predictable process. This process involves the formation of chromosomes.

Section Objectives

- *Identify the structures of a chromosome.*
- *Summarize how DNA becomes a chromosome.*
- *Explain the difference between a diploid cell and a haploid cell.*

Chromosome Structure

Recall from Chapter 5 that densely stained areas exist inside the nuclear membrane of a nondividing cell. The substance that takes up stain in these areas is chromatin *(KROE-muh-tin)*. Experimental evidence has shown that chromatin is composed of DNA and proteins. The DNA in chromatin exists as thin, uncoiled strands.

When cell division begins, DNA replicates. Then the replicated strands of DNA begin to coil, as shown in Figure 9-1. As coiling proceeds, DNA becomes tightly wrapped around globules of histones, a group of special protein molecules. DNA and histones in this coiled form can be seen as a rod-shaped structure called a chromosome. Note that only the physical arrangement of the DNA strand is changed in its transition from chromatin to chromosome. The chemical makeup of the DNA remains unchanged.

Each chromosome consists of two identical parts, each called a chromatid *(KROE-muh-tid)*. The two chromatids are often called sister chromatids. The point at which each pair of chromatids is attached is called the centromere *(SEN-truh-mir)*.

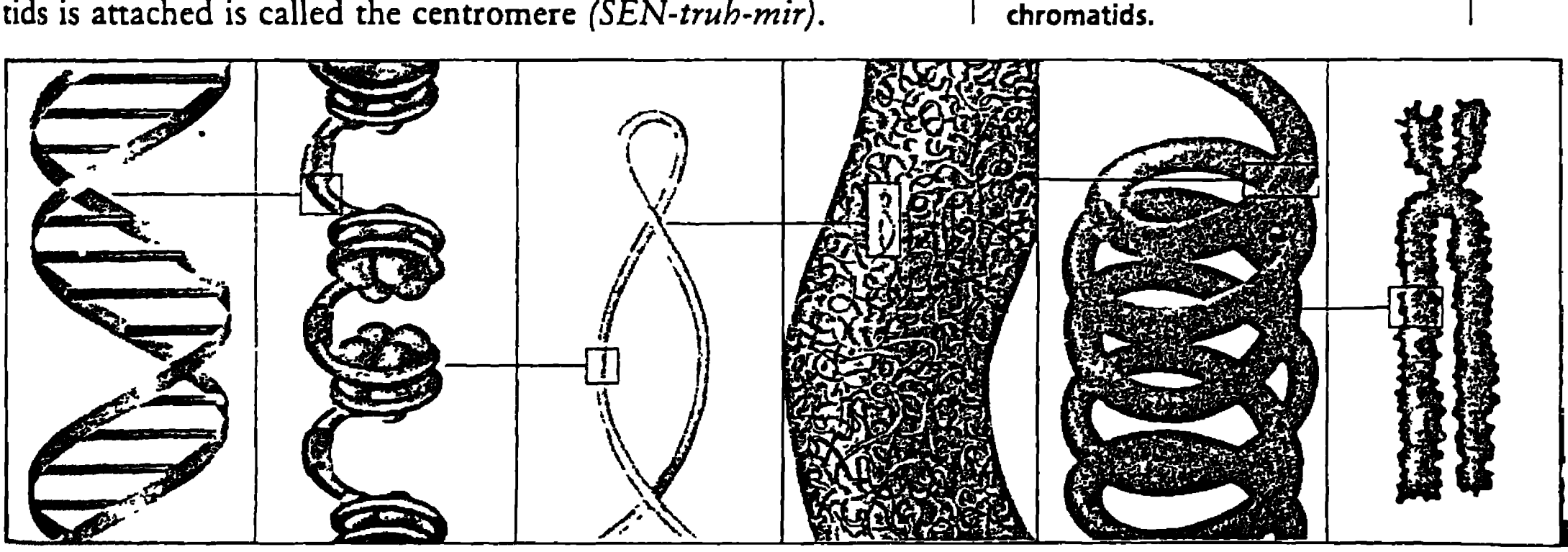
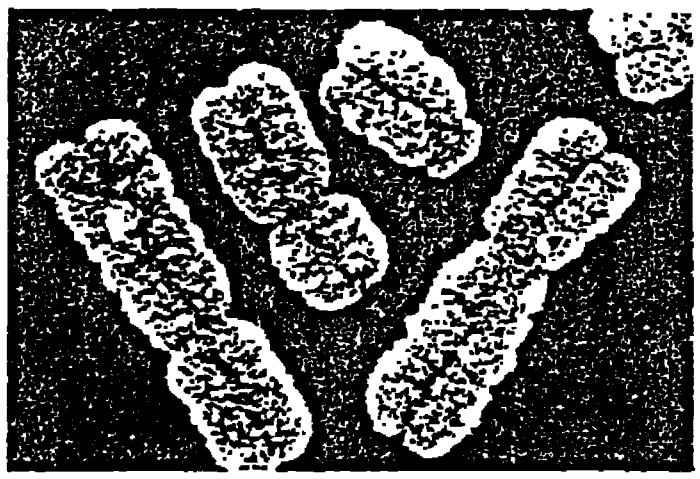


Figure 9-1 During the initial phases of cell division the DNA within cells coils and becomes organized into chromosomes, each of which is composed of two chromatids.

Table 9-1 Chromosome Numbers of Various Species

Species	Number	Species	Number
Alligator	32	Fruit fly	8
Ameba	50	Garden pea	14
Brown bat	44	Goldfish	94
Bullfrog	26	Grasshopper	24
Carrot	18	Horse	64
Cat	32	Human	46
Chicken	78	Lettuce	18
Chimpanzee	48	Onion	16
Corn	20	Redwood	22
Earthworm	36	Sand dollar	52

Think



These are human chromosomes as seen under a scanning electron microscope. Why do chromosomes differ in size and shape?

Chromosome Numbers

Every species has a characteristic number of chromosomes in each cell. The number varies considerably among species. A certain nematode worm species, for example, has only 2 chromosomes in each cell, while certain protozoa have over 300 chromosomes in each cell. A potato, a plum, and a chimpanzee each have 48 chromosomes in each. As you might guess from this information and from the chromosome counts given in Table 9-1, chromosome number is not an indication of the complexity of the species.

In all sexually reproducing organisms chromosomes occur in pairs. The two members of each pair are called **homologous chromosomes** or homologues. Each chromosome of a pair has the same size and shape as its homologue. Viewed with a microscope, the two homologous chromosomes are indistinguishable. However, the pair is structurally different from all other homologous pairs in the cell.

A cell that contains both chromosomes of a homologous pair is termed **diploid.** The notation 2N refers to diploid cells. For example, the diploid, or 2N, number of a human body cell is 46, and the cell contains 23 homologous pairs of chromosomes. A cell that has only one chromosome of each homologous pair is termed **haploid.** The notation 1N refers to haploid cells. For example, the haploid, or 1N, number of a human egg or sperm cell is 23, and there are no homologous chromosomes in either cell.

Section Review

1. Explain how a chromatid differs from a chromosome.
2. What is the structure of the DNA in chromatin?
3. When do we refer to DNA as a chromosome?
4. What is the difference between a diploid cell and a haploid cell?
5. Why might two organisms that contain the same number of chromosomes not possess similar traits and appearance?

13. Nutrients

All the different kinds of food in the world are composed of the same six basic ingredients: carbohydrates, proteins, fats, vitamins, minerals, and water. These ingredients, called **nutrients**, are the chemical substances that organisms need in order to grow and function properly. Carbohydrates, proteins, fats, and vitamins are called organic nutrients because they are synthesized within living organisms. Minerals and water are inorganic nutrients and are not synthesized within living organisms.

Few foods contain all the nutrients. In fact most foods contain a concentration of just one or two of them. Nutritionists classify foods with similar nutrients into a single group within a classification system based on four food groups: (1) meat, (2) milk, (3) fruits and vegetables, and (4) bread and cereals.

Carbohydrates, proteins, and fats are involved in specialized functions. However, all of these nutrients can also provide the body with the energy that it needs to maintain itself, to function, and to grow. A calorie is the amount of heat required at standard atmospheric pressure to raise the temperature of 1 g of water from 14.5° C to 15.5° C. A kilocalorie is 1,000 calories. Scientists use the term Calorie, with a capital C, to express the amount of energy that a particular food provides. A Calorie is actually the same as a kilocalorie. When you read that a food has 150 Calories, it actually has 150,000 calories. Scientists determine the number of Calories a food contains by measuring the amount of heat a specific quantity of food releases when burned in an instrument called a calorimeter.

Carbohydrates

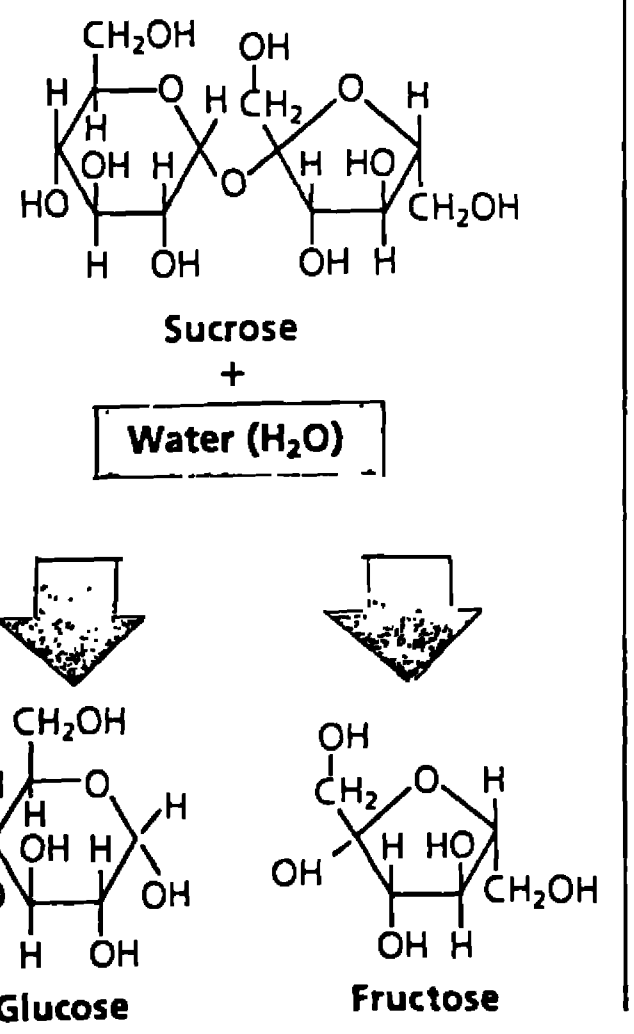
Carbohydrates are compounds of carbon, hydrogen, and oxygen that provide most of the body's energy when they are broken down in cellular respiration. Although proteins and fats can also supply energy, the body can most easily use the energy provided by carbohydrates. Carbohydrates contain sugars that are converted into the usable energy of ATP. Proteins and fats must be subjected to many more chemical processes before the body can obtain energy from them.

What sugars provide energy? The fructose and the glucose (also known as dextrose) in fruit and honey are simple sugars, **monosaccharides** *(MAHN-uh-SACK-uh-RIDEZ)*, that are absorbed directly into the bloodstream. Sucrose (cane sugar), maltose, and lactose (milk sugar) are **disaccharides** *(die-SACK-uh-RIDEZ)*, sugars that consist of two monosaccharides that are chemically linked. Disaccharides split into two monosaccharides when water breaks the chemical bond that joins them. This splitting of a molecule through reaction with water is called **hydrolysis** *(hie-DRAHL-uh-suss)*.

Section Objectives

- *Define* nutrient, *and distinguish organic from inorganic nutrients.*
- *Describe the molecular structure of carbohydrates, proteins, and fats.*
- *Distinguish between vitamins and minerals, and summarize the functions they perform in the body.*
- *List some of the important functions of water in the body.*
- *Summarize the events that led to the discovery of vitamin B_1.*

Figure 45-1 This diagram shows the hydrolysis of sucrose, which occurs in the presence of enzymes.



The carbohydrates that require the longest digestion time are polysaccharides. Polysaccharides *(PAHL-ih-SACK-uh-RIDEZ)* consist of many simple sugars bonded together. The starch found in rice, corn, and many other grains and vegetables is a polysaccharide made up of long chains of glucose molecules. The body chemically dismantles these long chains into individual glucose units, which can be absorbed by the blood and carried to the tissues.

Many plant foods contain cellulose, a polysaccharide that the body cannot dismantle into its individual component sugars. Cellulose, the substance that forms the walls of plant cells, is nevertheless an extremely important part of the human diet. Although indigestible itself, cellulose provides fiber that aids in digestion.

Proteins

Proteins are the major structural and functional material of body cells. Proteins from food help the body to grow and to repair tissues. Also, proteins called enzymes are organic catalysts in the myriad chemical reactions that take place in the body. You will recall from Chapter 4 that a catalyst is a substance that speeds up a chemical reaction but does not change the end products. Thus enzymes speed up the thousands of different cell reactions.

As you remember from Chapter 4, proteins consist of long chains of amino acids. The human body uses about 20 kinds of amino acids to construct the proteins it needs. The body manufactures many of these amino acids, but it cannot produce all of them in the quantities that it needs. Amino acids that the body produces are termed nonessential amino acids because you do not have to get them from your food. Amino acids that must be obtained from food are called essential amino acids. Ten amino acids are essential to children and teenagers, while only eight are essential to adults. The two additional amino acids children require function in reactions involving growth.

Some foods contain all of the essential amino acids. Most animal proteins—eggs, milk, fish, poultry, beef—contain all the essential amino acids. Most plants, on the other hand, do not. However, eating certain combinations of two or more plant foods can supply all the essential amino acids. Many such combinations exist. Vegetarians who eat no animal products get their proteins by eating two or more plant foods or by combining seeds or grains with legumes. Examine Figure 45-2 to discover just a few of these combinations.

Fats

Fats are organic molecules that the body utilizes to obtain energy and to build cell membranes and other cell parts. The body stores excess fat from the diet in special tissues under the skin and around the kidneys and liver. Excess carbohydrates may be converted into fat for storage.

Think



Many people go on fad diets that consist primarily of selections from one food group. Anyone who follows such a limited diet soon develops a nutrient deficiency. In a diet consisting only of the foods shown above, what nutrients would be lacking? What effects might these deficiencies produce?

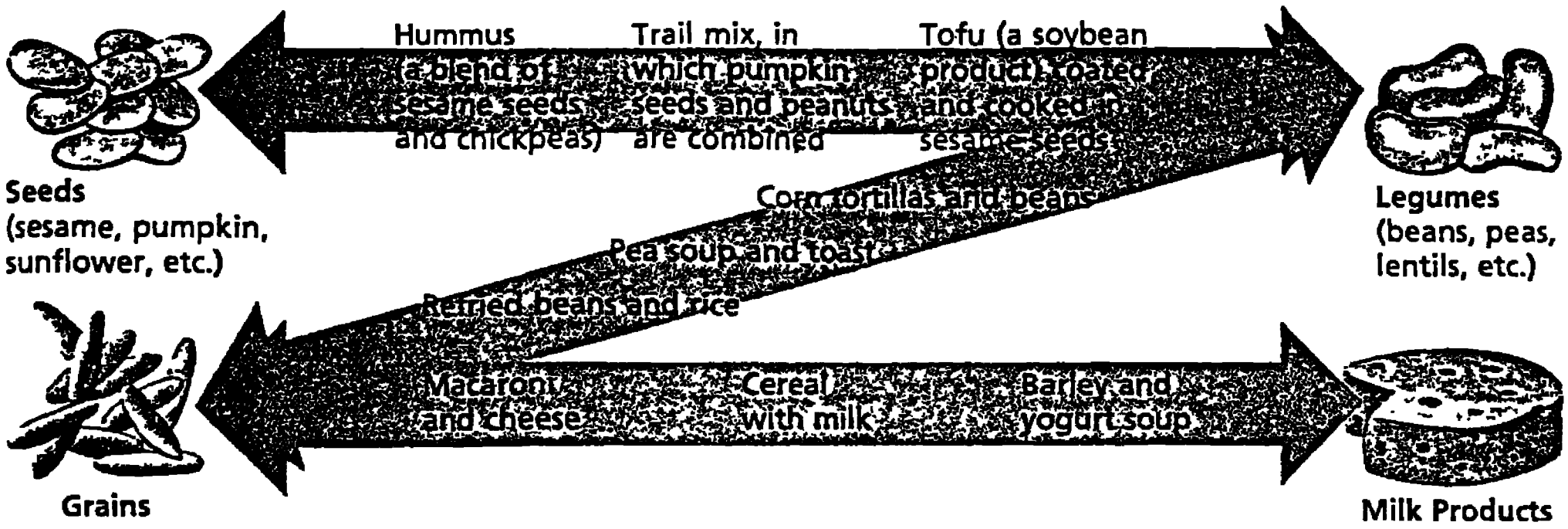


Figure 45-2 Combining legumes with either seeds or grains or combining grains with milk products will furnish all the essential amino acids.

Why does the human body store fat? After all, excessive fat can strain the heart. The answer is that stored fats are actually beneficial unless they are excessive. A light layer of body fat beneath the skin provides insulation in cold weather. Fat surrounding vulnerable organs, such as the kidneys and liver, acts as protective padding. Most important, fat reserves form a backup fuel supply. While you cannot live just off your body fat, the body can use this fat for energy when carbohydrates are unavailable.

Structure of Fats

To use fats, the body must first break down each fat molecule into its parts—glycerol and fatty acids. About 98 percent of the fats in food are **triglycerides** *(trie-GLISS-uh-RIDEZ)*, molecules formed from three molecules of fatty acids and one molecule of glycerol. The glycerol molecule is the same in all fats, but the fatty acids differ in both structure and composition. The body converts some fatty acids into other fatty acids. Which fatty acids the body produces depends upon its needs at the time.

Types of Fats

Scientists classify fats as saturated or unsaturated on the basis of structural differences in their fatty acids. A saturated fatty acid has all its carbon atoms connected by single bonds and thus contains as many hydrogen atoms as possible. An unsaturated fatty acid has at least one double bond between carbon atoms. If there are two or more double bonds, the fatty acid is called polyunsaturated. In general, animal fats are saturated and plant oils are unsaturated. However, some vegetable oils, such as palm oil and coconut oil, are composed primarily of saturated fats.

Scientific studies have indicated that consuming a high level of saturated fats seems to trigger an increase in the production of **cholesterol**, a fatlike molecule in the body. In turn, an elevated blood cholesterol level may lead to the formation of fatty deposits that can clog arteries, hardening them and restricting blood flow. The result of this condition may be heart disease or a stroke.

Vitamins

Vitamins are complex organic molecules that serve as coenzymes. This means that vitamins activate the enzymes and assist with their function. For example, the presence of vitamin B_1 or thiamine, is essential to the function of two enzymes that catalyze the first step in aerobic respiration. Without thiamine, aerobic respiration cannot proceed. Because vitamins perform such vital functions and generally cannot be synthesized by the body, a daily diet should include the proper amounts of all vitamins.

All vitamins dissolve in either water or fat. The fat-soluble vitamins include vitamins A, D, E, and K. The water-soluble vitamins are vitamins B and C. Fat-soluble vitamins are absorbed and stored like fats. As with fats, your body can amass a reserve of fat-soluble vitamins. However, unpleasant physical symptoms

Table 45-1 Vitamins

Vitamins	Best sources	Essential for	Deficiency diseases and symptoms
Vitamin A (fat soluble)	Fish-liver oils, liver and kidney, green and yellow vegetables, yellow fruit, tomatoes, butter, egg yolk	Growth, health of the eyes, structure and functions of the cells of the skin and mucous membranes	Retarded growth, night blindness, susceptibility to infections, changes in skin, defective tooth formation
Vitamin B_1 (thiamin, water soluble)	Meat, soybeans, milk, whole grain, legumes	Growth; carbohydrate metabolism; functioning of the heart, nerves, muscles	Beriberi: loss of appetite and weight, nerve disorders, faulty digestion
Vitamin B_2 (riboflavin; water soluble)	Meat, fowl, soybeans, milk, green vegetables, eggs, yeast	Growth, health of the skin and mouth, carbohydrate metabolism, functioning of the eyes	Retarded growth, dimness of vision, inflammation of the tongue, premature aging, intolerance to light
Vitamin B_3 (niacin; water soluble)	Meat, fowl, fish, peanut butter, potatoes, whole grain, tomatoes, leafy vegetables	Growth; carbohydrate metabolism; functioning of the stomach, intestines, and the nervous system	Pellagra: smoothness of the tongue, skin eruptions, digestive disturbances, mental disorders
Vitamin B_{12} (water soluble)	Green vegetables, liver	Preventing pernicious anemia	A reduction in number of red blood cells
Vitamin C (ascorbic acid; water soluble)	Fruit (especially citrus), tomatoes, leafy vegetables	Growth, strength of the blood vessels, development of teeth, health of gums	Scurvy: sore gums, hemorrhages around the bones, tendency to bruise easily
Vitamin D (fat soluble)	Fish-liver oil, liver, fortified milk, eggs, irradiated foods	Growth, calcium and phosphorus metabolism, bones and teeth	Rickets: soft bones, poor development of teeth, dental decay
Vitamin E (tocopheral; fat soluble)	Wheat germ oil, leafy vegetables, milk, butter	Normal reproduction	(Undetermined)
Vitamin K (fat soluble)	Green vegetables, soybean oil, tomatoes	Normal clotting of the blood, liver functions	Hemorrhages

and even death can result from storing too much of a particular vitamin as well as from having too little. Continual megadoses of vitamin A, for instance, can result in severe nausea and a yellow skin color. The body cannot store the water-soluble vitamins and therefore excretes any surplus amounts.

The only vitamin that the body can synthesize in large quantities is vitamin D. This synthesis begins with the conversion of cholesterol to provitamin D by intestinal enzymes. Provitamin D is stored in the skin, where exposure to the ultraviolet light in sunlight converts it into vitamin D. People who don't spend a lot of time in the sun get their vitamin D from food.

With the exception of vitamin D, human beings must obtain the vitamins they need from food sources and vitamin supplements. For this reason a knowledge of which foods contain which vitamins is important. Study Table 45-1 to learn some of the food sources of the vitamins listed.

Minerals

In the context of nutrition, minerals are inorganic substances required for the normal function of the body. Minerals such as calcium, magnesium, and iron are drawn from the soil and become part of plants. Animals that feed on plants, in turn, extract the minerals and incorporate them into their bodies. Table 45-2 lists the primary sources and functions of a few of the minerals most essential to human beings. Iron, for example, is nec-

Table 45-2 Minerals

Minerals	Source	Essential for
Sodium salts	Table salt, vegetables	Blood and other body tissues; nerve action
Calcium salts	Milk, whole-grain cereals, vegetables, meats	Deposition in bones and teeth; heart and nerves
Phosphorus salts	Milk, whole-grain cereals, vegetables, meats	Deposition in bones and teeth; formation of ATP, nucleic acid
Magnesium salts	Vegetables	Muscle and nerve action
Iron salts	Leafy vegetables, liver, meats, raisins, prunes	Formation of red blood corpuscles
Iodine	Seafoods, water, iodized salt	Production of thyroid gland secretion
Potassium salts	Vegetables, citrus fruits, bananas, apricots	Maintain acid–base balance; growth, nerve action

essary for the formation of red blood corpuscles, while potassium maintains the body's acid–base balance and aids in growth. Both are found in certain fruits and vegetables; iron is also found in meats. Iodine—found in seafoods, water, and iodized salt—is processed and secreted by the thyroid gland. Minerals are excreted through the skin in perspiration as well as through the kidneys in urine.

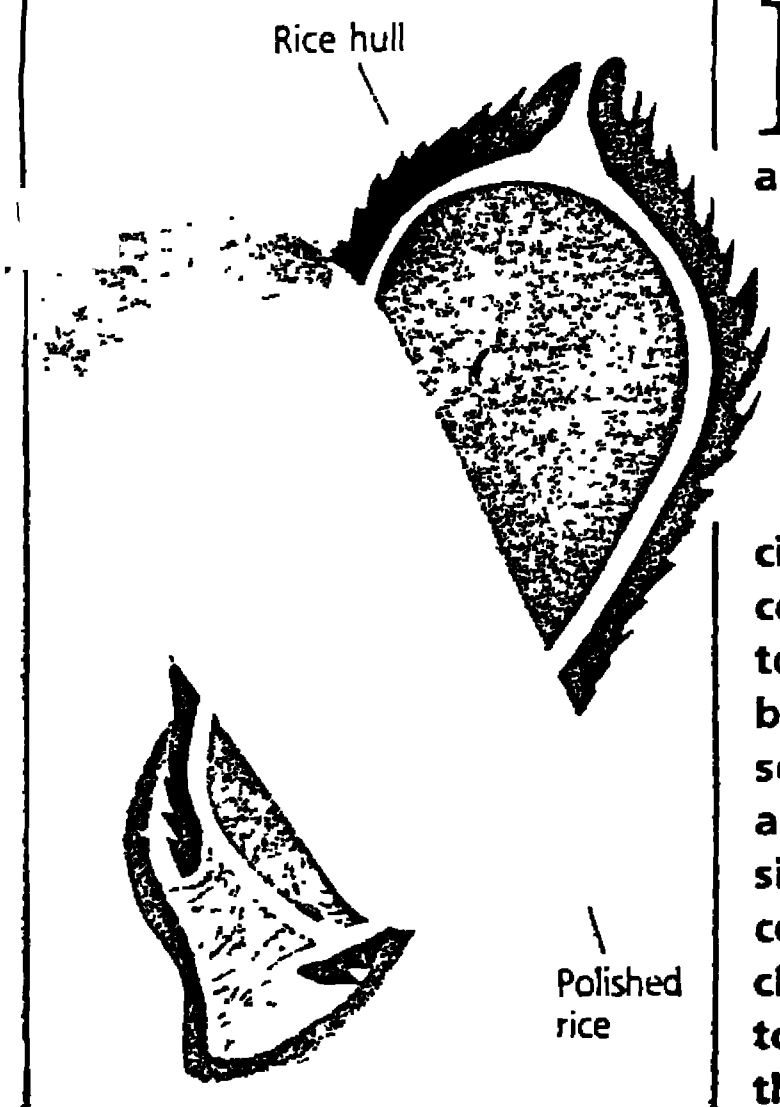
Water

The importance of water to human life may be inferred from the fact that water accounts for over half of your body weight. Most of the reactions that maintain life can take place only in water. Water makes up over 90 percent of the fluid part of the blood, which carries essential nutrients to all the parts of the body. It is also the medium in which waste products are dissolved and carried away from body tissues.

Water also helps regulate body temperature. It absorbs the heat released in cellular reactions and distributes the heat throughout the body. When the body needs cooling, the problem is solved through perspiration. When this perspiration—a water-

Biology in Process

The Discovery and Synthesis of Vitamin B_1



In the early 1600s, a terrible disease began to spread among people in parts of Asia. The disease was called beriberi. Its victims became so weak that they were unable to do anything. Many of them died.

In the 1890s Dutch physician Christiaan Eijkman began conducting experiments in Java to determine the cause of beriberi. By chance Eijkman observed a group of chickens that appeared to have a disease similar to beriberi. Intending to continue his observation of the chickens, he had them moved to another location, but then the disease disappeared. What could be the reason for this? Eijkman observed that in their original location the chickens had been fed polished rice; after they were moved, they received unpolished rice. Eijkman hypothesized that the cause of beriberi was associated with the polished rice. Testing his hypothesis, Eijkman found that chickens fed polished rice developed symptoms like those of beriberi, while chickens fed unpolished rice did not.

Dutch physician Gerrit Grijns continued Eijkman's experiments. Grijns concluded that the rice hull, which was ground away by polishing, contained an essential nutrient. In

based substance—evaporates from the skin, heat is drawn away from the body in the process.

Usually the water lost through your skin and kidneys is easily replaced by drinking water, by consuming moist foods, or by inhaling air, since air contains water. If its water supply is not replenished, the body begins to take water from intercellular spaces to perform vital functions within the cells. Eventually the body has to draw water from the cells themselves. As a cell loses water, the cytoplasm becomes more concentrated until finally the cell can no longer function. This condition is referred to as **dehydration** *(DEE-hie-DRAY-shun)*.

Section Review

1. Define *nutrient.*
2. What are two functions performed by proteins?
3. Name three reasons why a certain amount of body fat is beneficial.
4. Why is water a vital nutrient?
5. What do you think would happen to a vegetarian who consumed only water, unpolished rice, and fruits?

other words, he inferred that beriberi was the result of a nutrient deficiency.

In 1910 a U.S. Army doctor, Captain Edward Vedder, wanted to isolate the curative ingredient for beriberi so that it could then be synthesized. Once a substance can be synthesized, it can usually be produced in large quantities at low cost. Vedder introduced his idea to a young chemist named Robert R. Williams.

During the 1920s and 1930s, Williams worked on this project primarily in his spare time in a garage laboratory. To isolate the nutrient, he chemically separated compounds in a



rice hull extract and then tested the curative power of each compound on animals with beriberi. In 1933 Williams and his associates isolated the single curative nutrient, a vitamin they identified as B_1.

The Williams team spent the next three years trying to synthesize this vitamin. However, to build a molecule of it themselves, they needed to learn a great deal about its composition and structure. First, they identified the elements it contained and the amount of each. Then they split a molecule, studied its fragments, and inferred how each atom was joined. Finally in 1936 the team synthesized the vitamin, and a proud Williams gave it the name by which it is commonly known today, *thiamine*. Thiamine is shown here in crystalline form.

■ Why was it important for Eijkman to test his hypothesis about polished rice after his initial chance observation of the chickens?

Section Objectives

- *Define* alimentary canal, *and name the major organs of the digestive system.*
- *Relate the structure of each digestive organ to its function in mechanical digestion.*
- *Identify the source of each major digestive enzyme, and describe the function of the enzyme.*
- *Summarize the process of absorption in both the small and large intestine.*

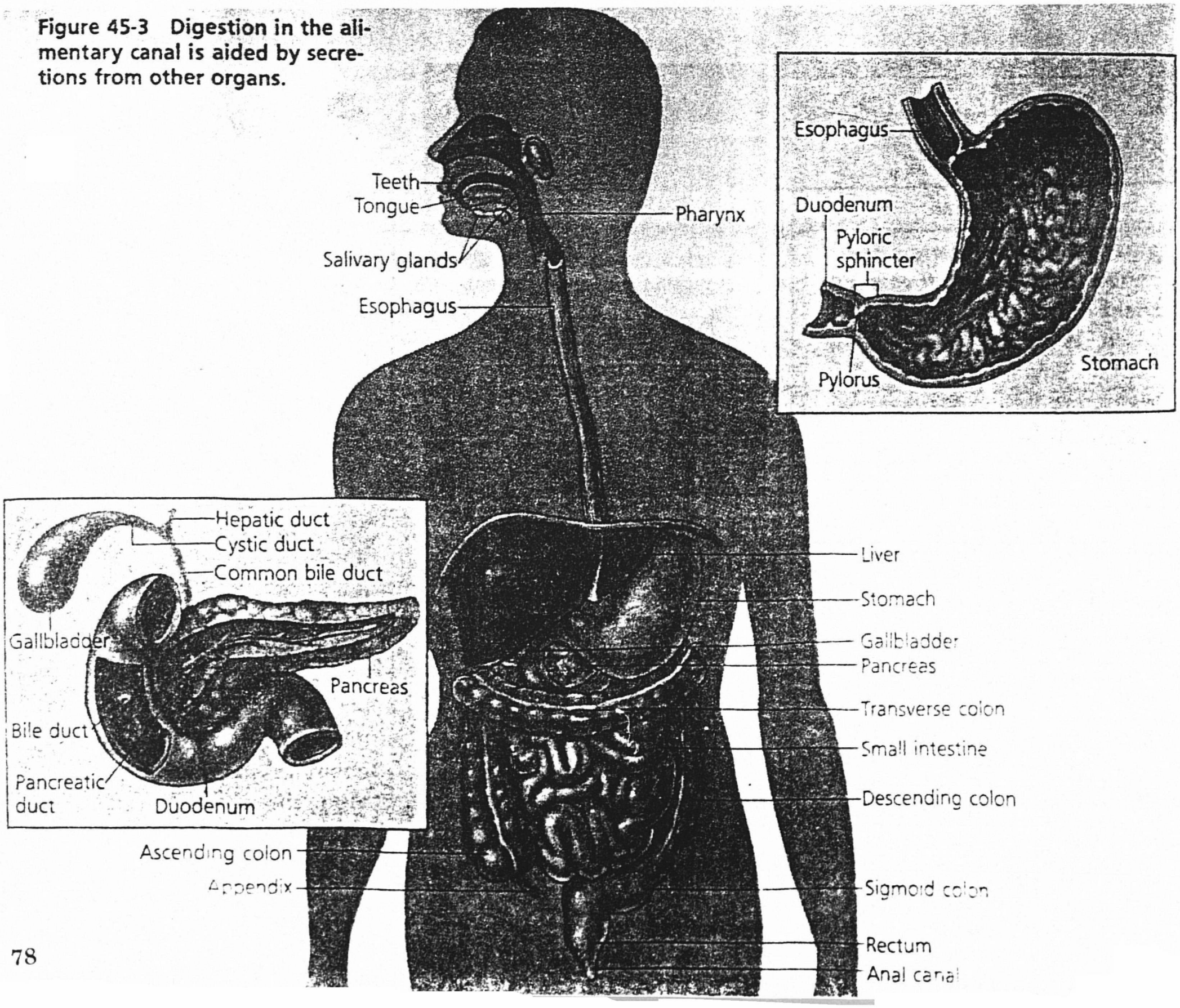
14. Digestive System

Before your body can use the nutrients in the food you consume, the cells must break down the nutrients both physically and chemically. This process of breaking down food into molecules the body can use is called **digestion.** Digestion occurs in the **alimentary canal,** or digestive tract, which begins at the mouth and winds through the body to the anus. Located along the alimentary canal are the stomach and the other organs that aid in digestion. Other digestive organs, such as the liver and pancreas, are not part of the alimentary canal but deliver secretions into the canal through ducts. As you read, locate each of the structures of the digestive system in Figure 45-3.

Mouth

When you take a bite of food, you begin the mechanical phase of digestion. In this phase the body physically breaks down chunks of food into small particles. Mechanical digestion increases the surface area of food on which digestive enzymes can act. Inci-

Figure 45-3 Digestion in the alimentary canal is aided by secretions from other organs.



sors—sharp, flat front teeth—cut the food. Then the broad, flat surfaces of molars, or back teeth, grind it up. The tongue helps keep this food between the chewing surfaces of the upper and lower teeth by manipulating it against the **hard palate**, the bony, membrane-covered roof of the mouth. This is a distinctly different structure from the **soft palate**, the area located just behind the hard palate, made of folded membranes and separating the mouth cavity from the nasal cavity.

While the mechanical phase of digestion is occurring, the chemical phase of digestion is also taking place. Preparations for this phase begin even before the first bite of food is taken. The mouth starts to water—that is, the salivary glands increase their production of **saliva**, a mixture of water, mucus, and a digestive enzyme called salivary amylase. In addition to the many tiny salivary glands located in the lining of the mouth, there are three pairs of larger salivary glands. Locate the three sets of salivary glands in Figure 45-3.

The mucus in the saliva softens and lubricates food and helps hold it together. In addition, the salivary amylase begins the chemical digestion of carbohydrates by breaking down some starch into the disaccharide maltose.

Esophagus

Once food has been thoroughly chewed, moistened, and rolled into a **bolus**, or ball, it is forced by the swallowing action of the tongue into the pharynx. The pharynx *(FER-inks)* is the open area that begins at the back of the mouth and serves as a passageway for both air and food. As Figure 45-4 shows, during swallowing a flap of tissue called the **epiglottis** prevents food from entering the trachea, or windpipe. Instead the bolus passes into the **esophagus**, the approximately 25-cm-long muscular tube that connects the pharynx with the stomach. The esophagus has two muscle layers—a circular layer that wraps around the esophagus and a longitudinal layer that runs the length of the tube. Alternating contractions of these muscle layers push the bolus through the esophagus into the stomach. This series of rhythmic muscular contractions and relaxations is called **peristalsis**.

Stomach

The **stomach**, an organ of both mechanical and chemical digestion, is located in the upper left side of the abdominal cavity, just below the diaphragm. It is an elastic bag that is J-shaped when full and that lies in folds when empty. In addition to circular and longitudinal muscles, the walls of the stomach have a third, diagonal layer of muscles. Figure 45-6, shown on the following page, illustrates the arrangement of these muscle layers. Together these muscles can twist the stomach and churn its contents. This churning helps the stomach perform mechanical digestion.



Figure 45-4 The pharynx is the only passage shared by the digestive and respiratory systems. The soft palate and the epiglottis keep the processes of eating and breathing separate in critical areas.

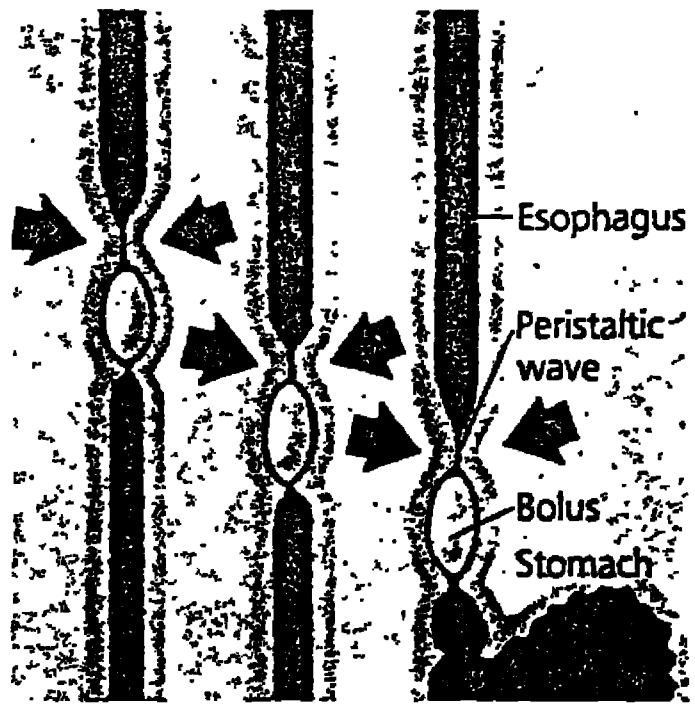


Figure 45-5 A peristaltic wave moves food downward by means of two-way muscular action in the esophagus.

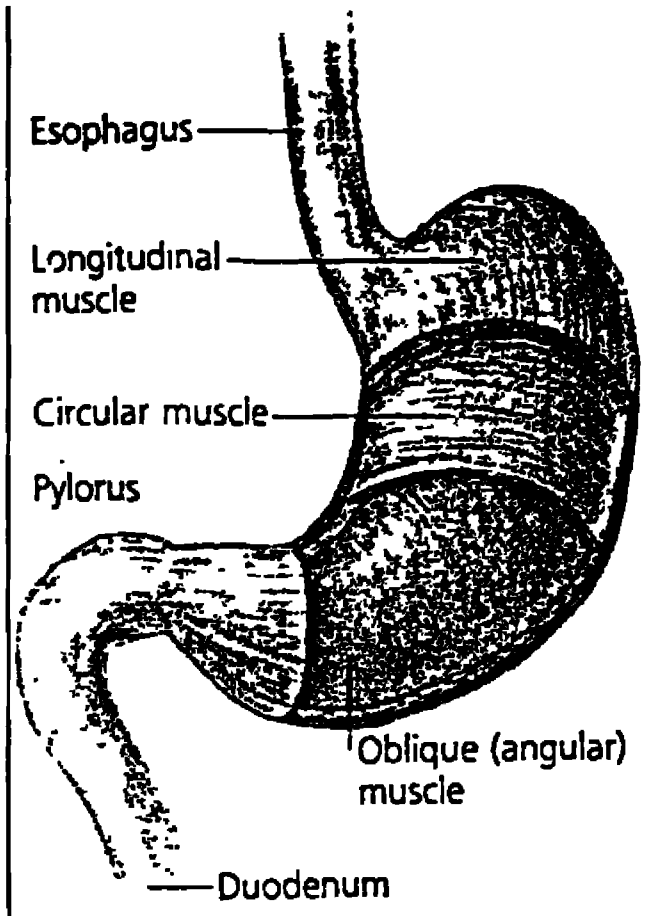


Figure 45-6 Three types of stomach muscles—each oriented in a different direction—permit the stomach to twist and churn, movements that mechanically break up food.

Figure 45-7 This photo shows two of the gastric glands that produce stomach secretions through gastric pits (×400).



The inner lining of the stomach is a thick, wrinkled mucous membrane dotted with small openings called gastric pits. Gastric pits are the open ends of gastric glands that produce the cells that release secretions into the stomach. Some of these glands secrete mucus, others secrete digestive enzymes, and still others secrete hydrochloric acid. The mixture of these secretions forms the acidic gastric fluid.

Chemical Digestion

Gastric fluid carries out chemical digestion in the stomach. The chemical breakdown of carbohydrates that started in the mouth continues in the stomach. The stomach also begins the chemical digestion of proteins. This process starts as the digestive enzyme pepsin splits complex protein molecules into shorter chains of amino acids called peptides. Pepsin is secreted as an inactive fluid called pepsinogen, which is converted into pepsin at a low pH. The presence of hydrochloric acid within the stomach ensures a low pH. In addition to helping to transform pepsinogen into pepsin, hydrochloric acid dissolves minerals and kills bacteria that enter the stomach along with food.

The mucus secreted in the stomach is vital to the survival of this organ. It forms a coating that protects the lining from hydrochloric acid and prevents pepsin from digesting the proteins that make up the stomach tissue. In some people the mucus coating of the stomach tissue breaks down, allowing digestive enzymes to eat through part of the stomach lining. The sore that results is called an ulcer.

Formation of Chyme

Food enters the stomach when the cardiac sphincter opens. The **cardiac sphincter** is a circular muscle located between the esophagus and the stomach. Once the food is in the stomach, the cardiac spincter closes to prevent the food from regurgitating back into the esophagus. Food usually remains in the stomach for two to three hours. During this time muscle contractions in the stomach walls churn its contents, breaking up food particles and mixing them with gastric fluid. This process forms a mixture called **chyme**, a name that comes from the Greek word meaning "juice." Chyme usually contains fats, sugars, maltose, starches, vitamins, minerals, coagulated milk protein, peptides, and proteins that were not changed by pepsin.

Peristalsis forces chyme out of the stomach and into the small intestine. The **pyloric sphincter**, a circular muscle between the stomach and the small intestine, regulates the flow of chyme. Each time the pyloric sphincter opens, about 5 to 15 mL of chyme moves into the small intestine until finally the stomach is empty.

When chyme enters the small intestine, it mixes with secretions from the liver and pancreas. Before you learn about these secretions, you should know something more about the location, structure, and function of the liver and pancreas.

Liver

The liver is a large organ located to the right of the stomach in the upper right area of the abdominal cavity just below the diaphragm. The liver plays a vital role in the digestion of fats by secreting bile. Bile is not a digestive enzyme but an emulsifying agent that breaks fat globules into small droplets, forming a milky emulsion. This process exposes a greater surface area of fats to the action of digestive enzymes and prevents small fat droplets from rejoining into large globules.

The bile secreted by the liver passes from the liver through a Y-shaped duct shown in Figure 45-3. The bile travels down one branch of the Y, the hepatic duct, and then up the other branch, the cystic duct, to the gallbladder, a saclike organ that stores and concentrates bile. When chyme is present in the small intestine, the gallbladder releases bile through the common bile duct into the small intestine.

Pancreas

The pancreas is an organ that lies behind the stomach, against the back wall of the abdominal cavity. It performs two highly different functions. Chapter 47 discusses its function in regulating the level of glucose in the blood. As part of the digestive system the pancreas secretes pancreatic fluid, which contains digestive enzymes that help complete the breakdown of nutrients in the chyme. This pancreatic fluid enters the small intestine through the pancreatic duct, which joins the common bile duct just before it enters the intestine.

Pancreatic fluid contains sodium bicarbonate, which changes the pH of the chyme from acid to base. Once the pH has changed, the many enzymes in the pancreatic fluid are activated. Pancreatic amylase splits into disaccharides the molecules of starch or glycogen that were not acted upon by salivary amylase. Pancreatic lipase breaks fat into fatty acids and glycerol. Trypsin, chymotrypsin, and carboxypeptidase split proteins into peptides.

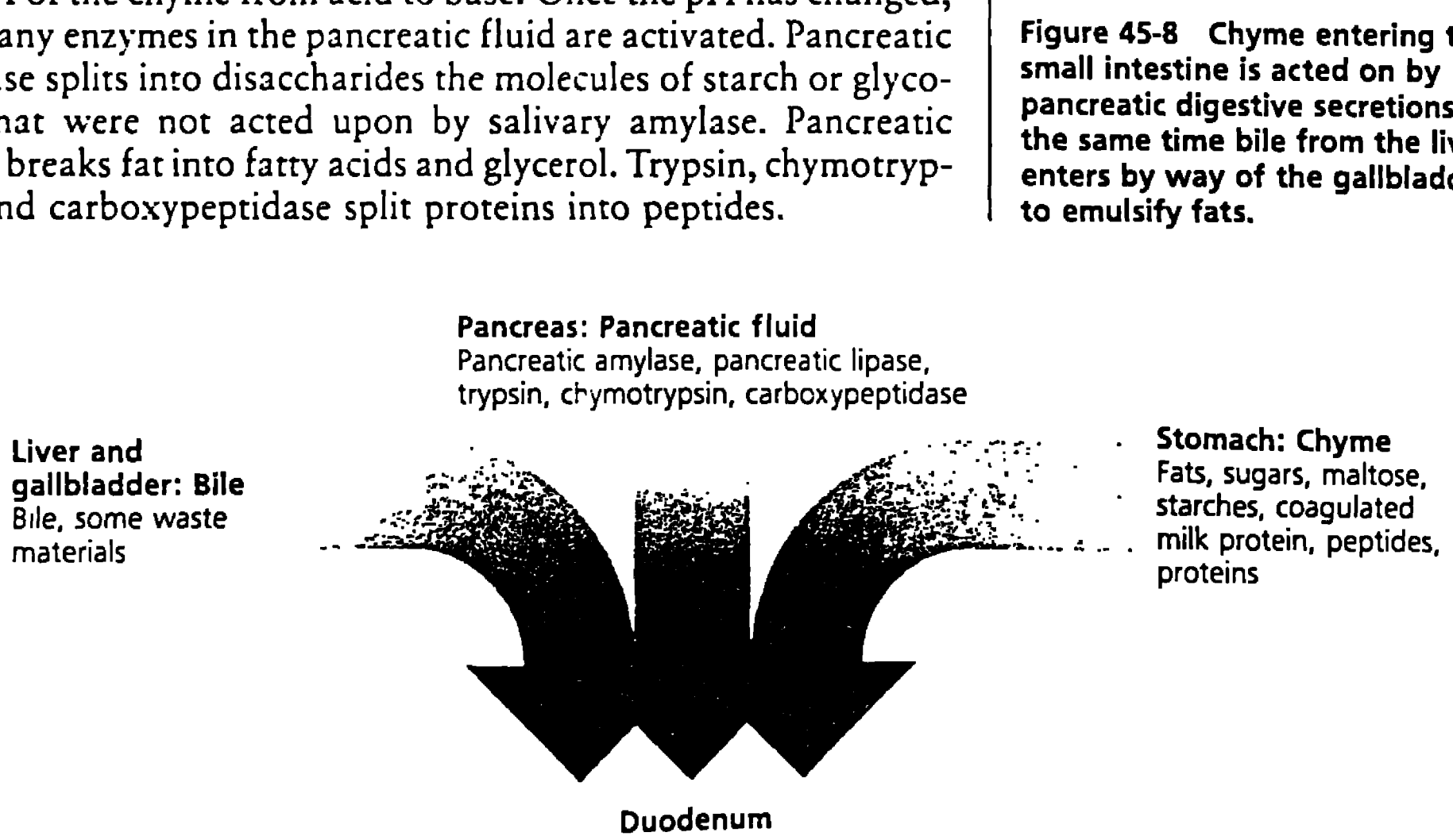


Figure 45-8 Chyme entering the small intestine is acted on by pancreatic digestive secretions. At the same time bile from the liver enters by way of the gallbladder to emulsify fats.

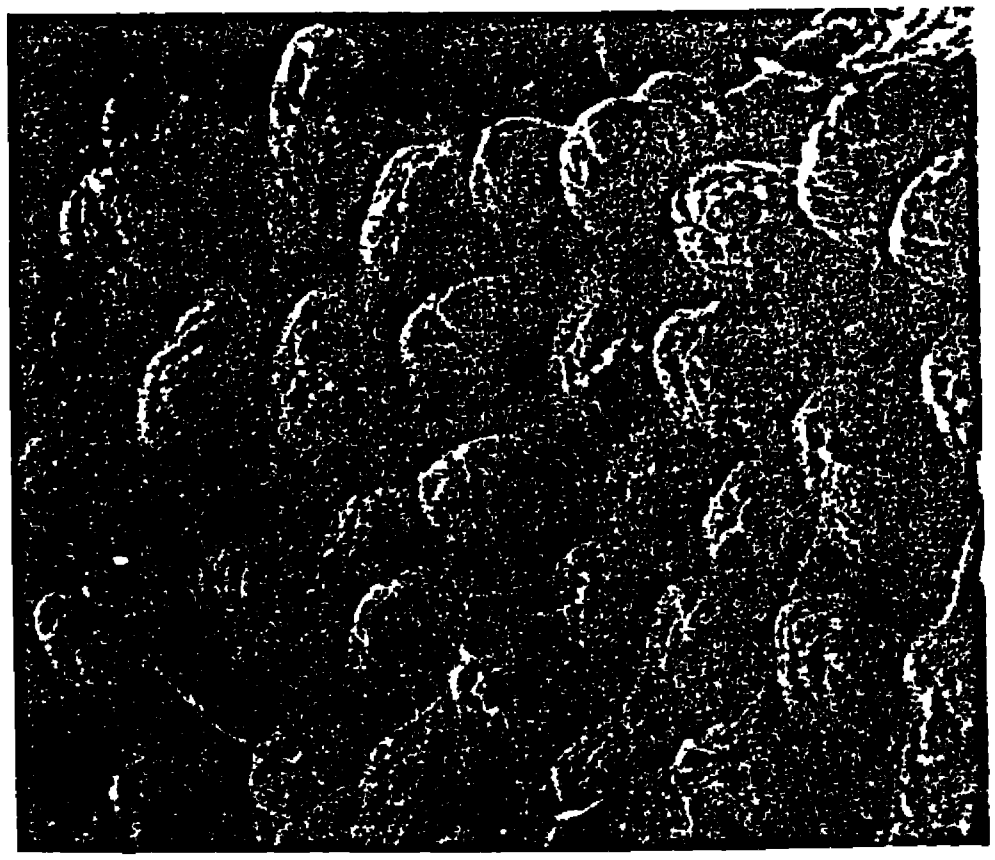
Small Intestine

If you could stretch the small intestine to its full length, you would find it is nearly 7 m long. The **duodenum** *(DYOO-uh-DEE-num)*, the first section of this coiled tube, makes up only the first 25 cm of that length. The **jejunum** *(juh-JOO-num)*, the middle section, is about 2.5 m long. The **ileum** *(ILL-ee-um)*, which makes up the remaining portion of the small intestine, is approximately 4 m in length.

The secretions from the liver and pancreas enter the duodenum, where they continue the chemical digestion of the chyme. When the secretions from the liver and pancreas along with the chyme enter the duodenum, they trigger intestinal mucous glands to release large quantities of mucus. This mucus protects the intestinal wall from protein-digesting enzymes and the acidic chyme. Glands in the mucous lining of the small intestine release the following enzymes:

- Peptidase completes protein digestion by breaking down peptides into amino acids.
- Maltase, lactase, and sucrase split the disaccharides maltose, lactose, and sucrose into monosaccharides.
- Intestinal lipase splits fats into glycerol and fatty acids.

The end products of digestion—amino acids, monosaccharides, glycerol, and fatty acids—are then absorbed into the circulatory system through blood and lymph vessels in the lining of the small intestine. The structure of this lining provides a huge surface area through which absorption takes place. **Absorption** is the process by which the end products of digestion are transferred into the circulatory system. The highly folded lining is covered with millions of fingerlike projections called **villi**. The cells covering the villi, in turn, have extensions on their cell membranes called **microvilli**. The folds, villi, and microvilli give the small intestine a



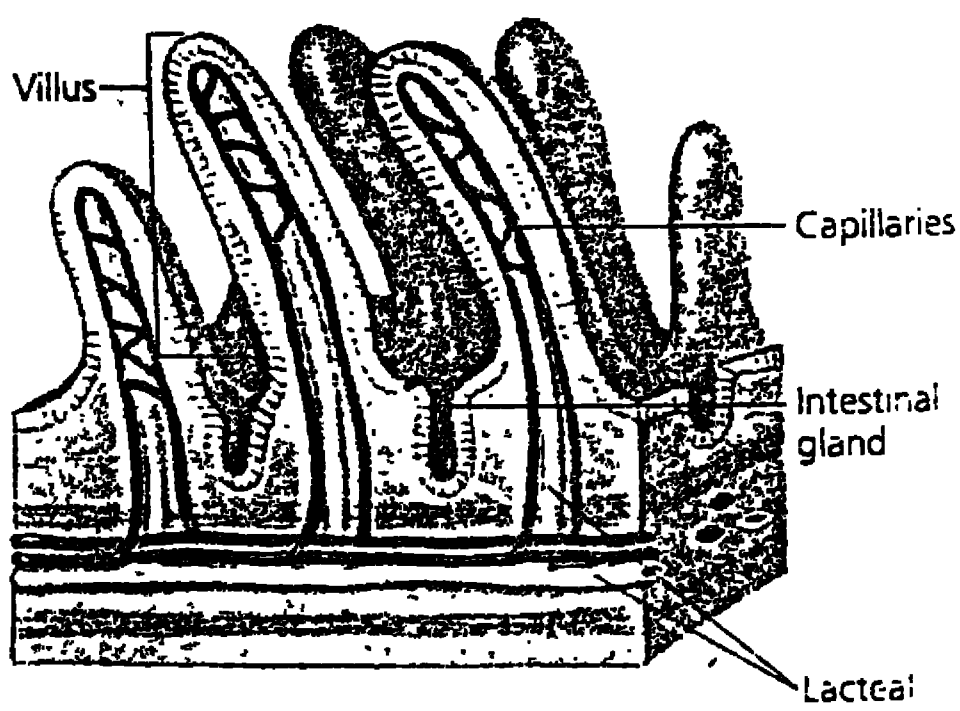


Figure 45-9 Villi, as shown in the SEM (left, ×1,000) and the diagram (right), expand the absorption area of the small intestine. What other processes could be added to the diagram to complete the picture?

surface area of about 250 m^2, roughly the size of a tennis court. Nutrients are absorbed through this surface by means of diffusion and active transport.

Inside each villus are capillaries and tiny lymph vessels called lacteals. Glycerol and fatty acids enter the lacteals, are carried through the lymph vessels, and eventually reach the bloodstream through lymphatic ducts near the heart. Amino acids and monosaccharides enter the capillaries and are carried to the liver. The liver detoxifies the blood and removes any excess glucose, converting it to glycogen for storage. The filtered blood then carries the nutrients to all parts of the body.

Large Intestine

Once absorption in the small intestine is complete, peristalsis moves the remaining material on to the large intestine. The large intestine, or colon, is the final organ of digestion. Study Figure 45-3 to identify the four major parts of the colon: ascending colon, transverse colon, descending colon, and sigmoid colon. The rectum and the anal canal that it leads into are the names given to the very short final portions of the large intestine. Find these portions of the large intestine in Figure 45-3.

Most of the absorption of nutrients and water has been completed in the small intestine. About 9 L of water enters the small intestine, but only about 0.5 L of water is present in the material that enters the large intestine. In the large intestine, only minerals and vitamins produced by bacteria that live in the colon, as well as most of the remainder of the water, are absorbed. Slow contractions that occur only three or four times a day move the material in the large intestine toward the rectum and eventually out of the body. As this matter moves through the intestine, the absorption of water solidifies the mass. The solidified material is called feces.

As the fecal matter solidifies, mucous secretions of the intestinal wall lubricate the wall to make the passing of the feces less abrasive. Mucus also binds the fecal matter together and neutralizes any acids that are released when bacteria act upon the feces. Such bacteria also aid in the manufacture of vitamin K. The feces are eliminated through the anus.



Figure 45-10 This X ray shows the large intestine, or colon. Try to identify the four major parts of the colon in this X ray.

Section Review

1. What is the *alimentary canal?*
2. Name one structure involved in the mechanical phase of digestion and explain its function in mechanical digestion.
3. What is the function of bile?
4. How is the structure of the small intestine related to the function of absorption?
5. Describe how cellulose aids in digestion. What do you imagine would be the consequence of not eating enough cellulose?

15. Endocrine System

The endocrine system consists of glands that transmit chemical messages throughout the body. These chemical messages are called **hormones.** Hormones are substances that are produced in one part of the body and specifically influence the activity of cells in another part of the body. The glands secrete tiny amounts of these hormones into the blood. The blood then carries them to every part of the body. However, each hormone affects only specific cells, called **target cells,** that are supplied with receptors for that hormone.

Feedback Mechanisms

Most endocrine glands have a self-regulating system of checks and balances. This system depends on a **feedback mechanism.** This is a mechanism in which the end product of a series of steps controls the first step in the series. If the end product promotes the first step, the mechanism is called **positive feedback.** If the end product inhibits the first step, the mechanism is called **negative feedback.**

Most endocrine glands have negative feedback mechanisms. To understand how negative feedback works, think of the thermostat that controls the temperature in your home. When the temperature drops below a set level, the thermostat turns on the furnace. The furnace then produces heat, which warms the air. The end product—higher air temperature—is detected by the thermostat, which then turns off the furnace.

The first step in an endocrine feedback mechanism is the secretion of a hormone by a gland. The end product is a change in the concentration in the blood of the products controlled by that hormone. Follow the example of a negative feedback mechanism in Figure 47-1. When the blood glucose level in the body goes up, cells in the pancreas are stimulated and produce insulin. This insulin causes muscles and the liver to absorb glucose and store it in the form of glycogen. The reduced glucose level in the blood causes the cells to stop secreting insulin. As you read about the various endocrine glands, look for examples of how a negative feedback mechanism helps maintain homeostasis in the body.

Section Objectives

- *Describe a negative feedback mechanism.*
- *Explain the difference between an exocrine gland and an endocrine gland.*
- *List the major endocrine glands, and describe the function of each.*
- *Describe the chemical action of two types of hormones.*

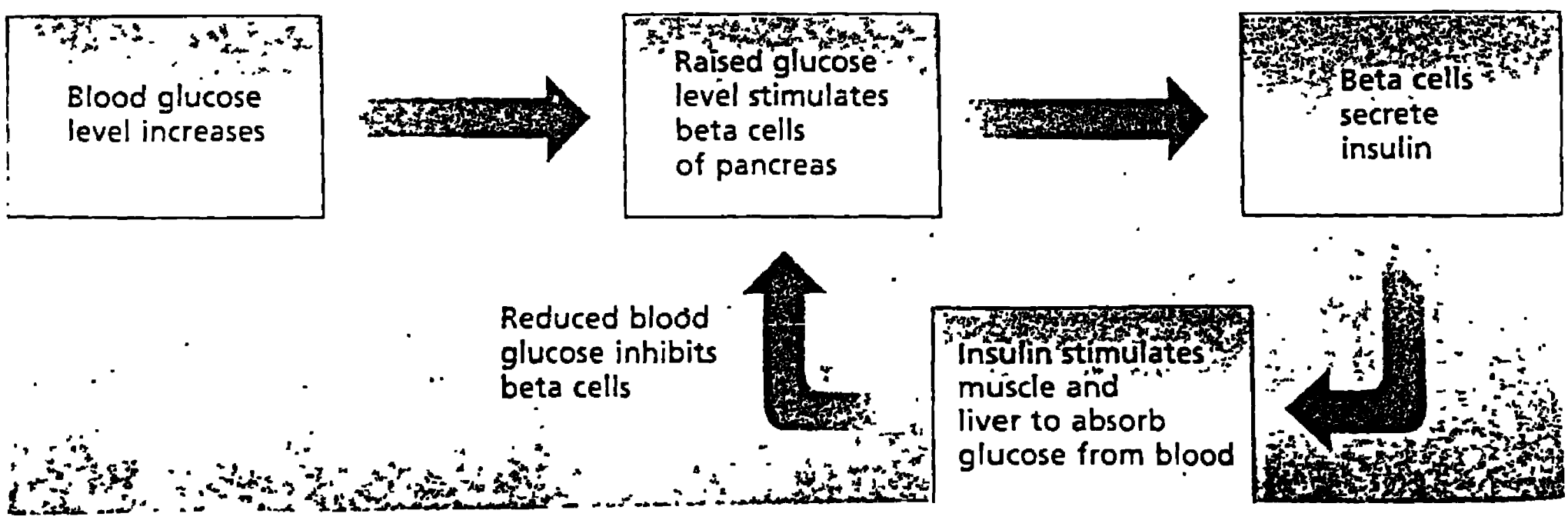


Figure 47-1 Cells in the pancreas are stimulated to secrete insulin as part of a negative feedback mechanism.

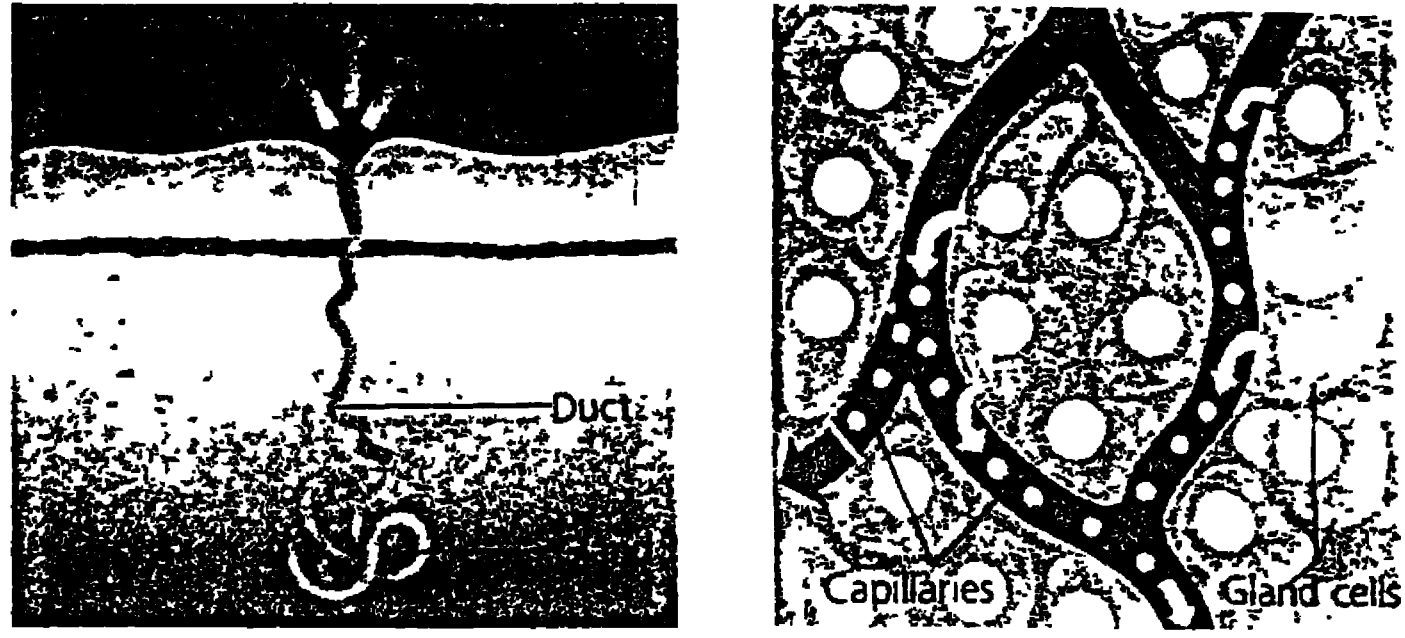


Figure 47-2 Exocrine glands (left) release their secretions through ducts while endocrine glands (right) secrete directly into the blood.

Endocrine Glands

The body has two types of glands. **Exocrine** *(ECK-suh-KRIN)* glands, such as sweat glands, are glands with ducts. Endocrine *(EN-duh-KRIN)* glands have no ducts and secrete directly into the blood. Figure 47-2 shows a comparison of these glands.

Endocrine glands are located throughout the body and include the thyroid, the parathyroids, the adrenals, the pineal, the gonads, and the thymus. In addition, specialized cells also function as endocrine glands. These include the hypothalamus in the brain, the islets of Langerhans in the pancreas, and the digestive glands of the stomach and small intestine. Look for these glands in Figure 47-3 as you read about the hormones they produce.

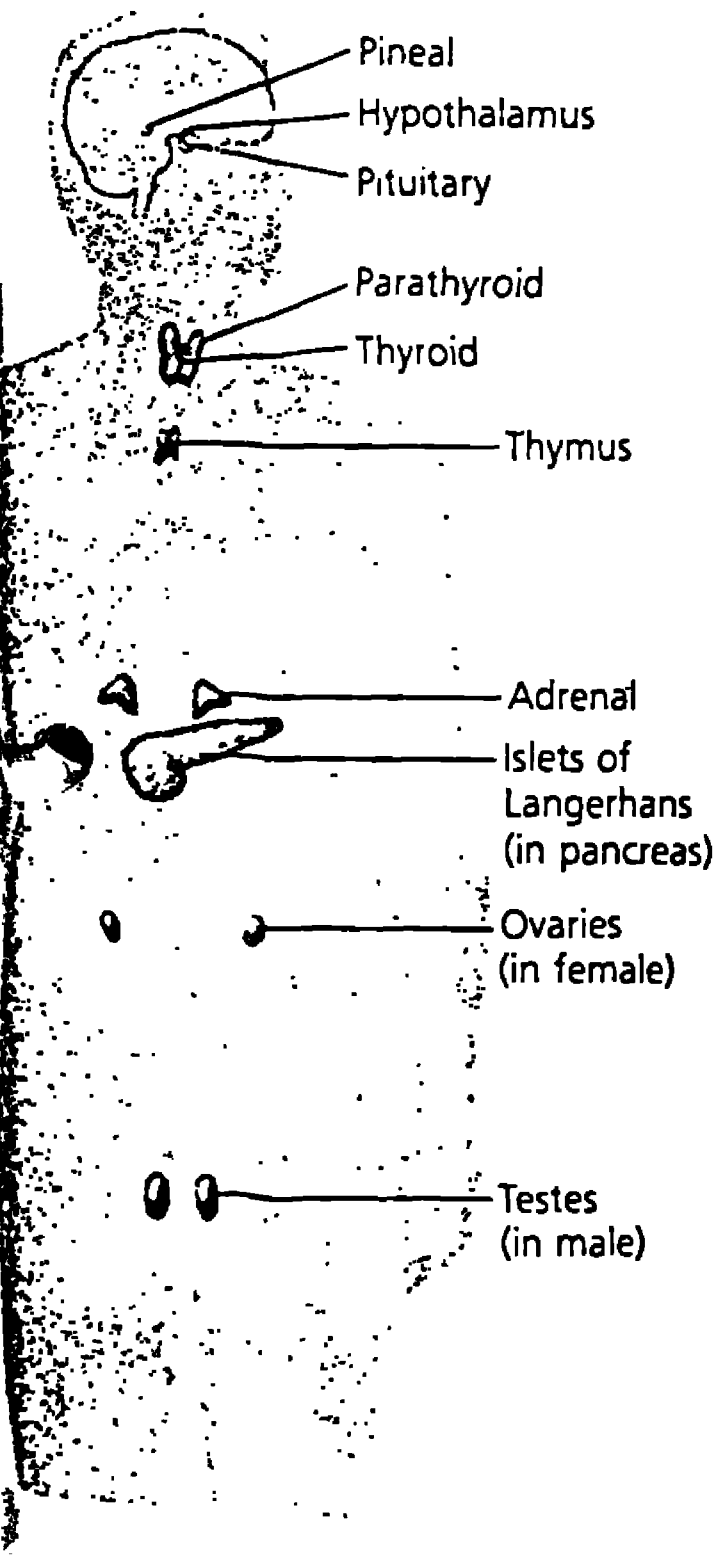


Figure 47-3 Endocrine glands are located throughout the human body.

Thyroid Gland

Notice in Figure 47-4 that the two-lobed **thyroid gland** lies in the neck near the lower part of the larynx. The thyroid gland secretes the hormone thyroxine. Thyroxine plays a vital role in regulating such activities as protein synthesis and ATP production.

If the thyroid gland becomes overactive and produces too much thyroxine, a condition called **hyperthyroidism** can result. People with this condition are physically overactive, their blood pressures are high, their hearts beat faster than normal, and their body temperatures are higher than normal. The secretion of too little thyroxine results in **hypothyroidism**, a condition in which the heart rate and other bodily functions are slower than normal. Victims of hypothyroidism tend to be overweight and often tire easily. Hypothyroidism and hyperthyroidism can be detected by measuring either basal metabolic rate (BMR) or blood thyroxine level. An underactive thyroid can be treated with supplementary thyroxine. An overactive thyroid can be treated with medication or by surgical removal of a section of the thyroid.

In infants, thyroxine helps growing tissues develop properly. If an infant suffers from an underactive thyroid, a condition called cretinism can occur. This condition results in stunted growth, mental retardation, and altered physical appearance. Early diagnosis and treatment of a thyroid condition can help prevent permanent damage.

Thyroxine contains iodine. Insufficient amounts of iodine can cause a goiter, or swelling of the thyroid gland. In the past,

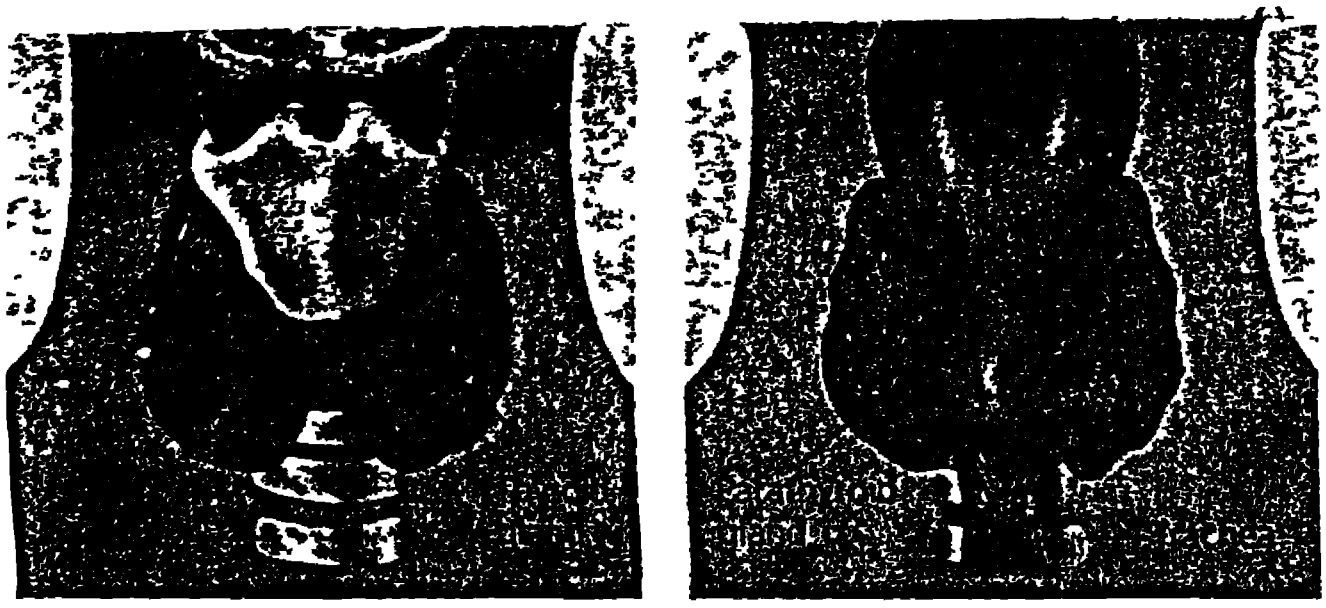


Figure 47-4 The thyroid gland (left) is located in the neck. A dorsal view of the same gland (right) reveals that four parathyroid glands are embedded in the back of the thyroid.

goiters frequently occurred in people living in areas where the soil contained low levels of iodine. Today, the occurrence of goiter is lower as a result of the addition of iodine to water supplies and table salt.

Parathyroid Glands

Four **parathyroid glands** are embedded in the back of the thyroid gland, two in each lobe. These glands secrete parathyroid hormone, which regulates the levels of calcium and phosphate ions in the blood. A proper balance of these two ions is essential for normal bone growth, muscle tone, and nerve activity.

The parathyroid glands regulate calcium and phosphate ion levels through a negative feedback mechanism. Refer back to the diagram of this kind of mechanism in Figure 47-1. When the calcium level in the blood drops, the parathyroids increase their production of parathyroid hormone. This hormone stimulates target cells in the bones to release calcium and phosphate ions into the blood. As the blood level of calcium and phosphate ions rises, the parathyroid glands decrease their hormone production. In this way, the levels of these important ions are kept in balance.

Adrenal Glands

Two **adrenal glands** are located one on top of each kidney. Each adrenal gland has an inner part, or medulla *(muh-DULL-uh)*, and an outer layer, or cortex. The medulla and cortex function as separate endocrine glands.

The medulla of the adrenal gland produces two hormones, adrenaline and noradrenaline, which play an active role in the body's reaction to stress. When a person is in a physically or emotionally stressful situation, the medulla secretes adrenaline and noradrenaline into the bloodstream. These hormones cause the heart to beat faster, the bronchial tubes to enlarge, and the pupils of the eyes to dilate. In turn, blood pressure rises, and surface blood vessels constrict. At the same time, more blood is pumped to the muscles, brain, and heart. Intestinal processes slow down, and the liver releases stored sugar, which is oxidized for extra energy. These reactions help provide the additional energy needed during a stressful situation.

The cortex of the adrenal gland produces the hormone hydrocortisone, which regulates certain phases of carbohydrate,

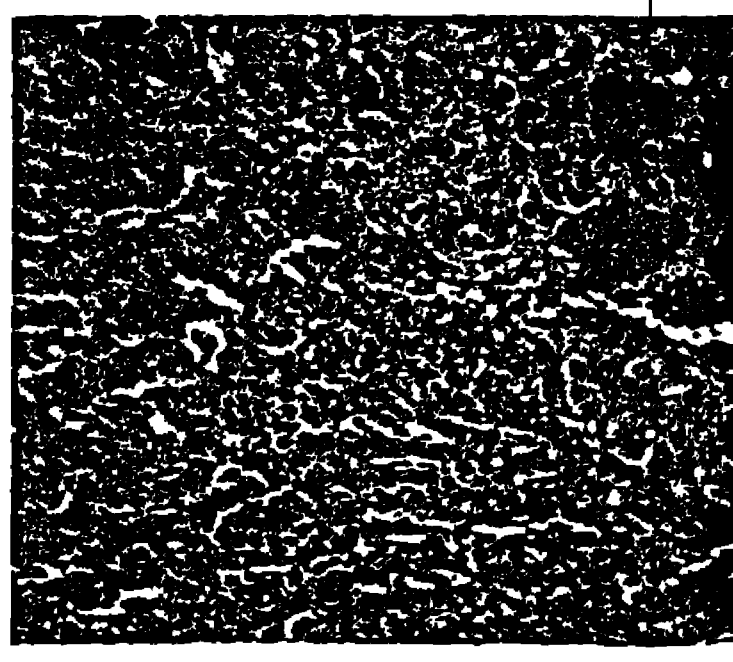


Figure 47-5 This light micrograph (×43) shows that the cells of the cortex and the cells of the medulla are morphologically distinct.

fat, and protein metabolism. Another hormone, aldosterone, helps maintain the water and salt balance in the body by stimulating the reabsorption of sodium ions by the kidneys.

Gonads

Gonads are gamete-producing organs. The ovaries of the female, which produce eggs, and the testes of the male, which produce sperm, are gonads. Gonads also produce sex hormones. The ovaries secrete hormones called estrogens *(ESS-truh-jenz)* and progesterone *(proe-JESS-tuh-RONE)*. The testes secrete a group of hormones called androgens, the main one being testosterone. Sex hormones are responsible for changes during puberty that result in secondary sex characteristics. In males the voice deepens, the chest broadens, and more hair grows on the body and face. In females the breasts grow and the hips widen. Menstruation also begins. In Section 47.2 you will learn about the hormones and feedback mechanisms that regulate menstruation.

Pituitary Gland and Hypothalamus

The pituitary gland is located at the base of the brain. It secretes hormones that control body growth and regulate the activity of the other endocrine glands. The pituitary has an anterior lobe and a posterior lobe. As you can see in Figure 47-6, both lobes are adjacent to the hypothalamus, a part of the brain. Nerve cells in the hypothalamus extend into the posterior lobe of the pituitary. The anterior lobe is connected with the hypothalamus by blood vessels. The pituitary and hypothalamus form the main link between the endocrine system and the nervous system.

The hypothalamus secretes hormones called releasing factors into the anterior lobe via the blood vessels. There are six releasing

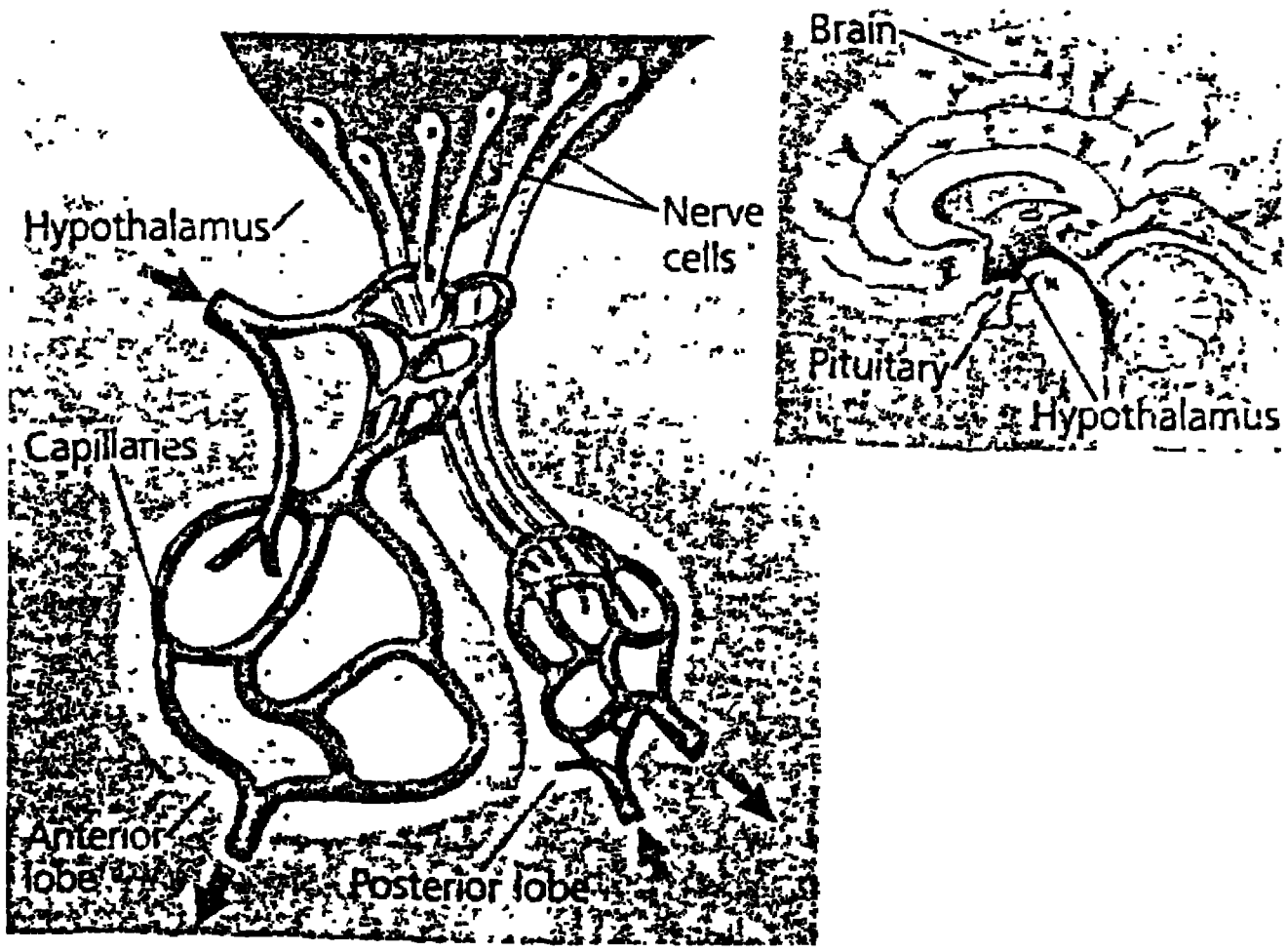


Figure 47-6 The hypothalamus communicates with the pituitary gland by means of both nerve cells and capillaries. The inset shows the location of the pituitary in relation to the brain.

factors. Each factor controls the release and therefore the level of one hormone produced in the anterior lobe of the pituitary gland.

One of these hormones is growth hormone, which controls the growth of the body's skeletal and muscular systems. Another is prolactin, which stimulates milk production following the birth of a child. The other four hormones regulate the secretions of other endocrine glands. Refer to Table 47-1 to learn the functions of these hormones.

Table 47-1
Hormones Released by Glands of the Endocrine System

Gland	Hormone	Function of Hormone
Thyroid	Thyroxine	Alter basal metabolic rate
Parathyroids	Parathyroid hormone	Maintain Ca and P levels
Adrenal:		
▪ **Cortex**	Corticoids	Maintain salt-water balance
▪ **Medulla**	Adrenaline, noradrenaline	Initiate responses to stress
Pituitary:		
▪ **Anterior lobe**	Growth hormone	Regulate growth
	LH	Regulate development of sex organs and hormones, control ovulation
	LTH	Control growth of mammary glands, control milk production, maintain corpus luteum
	FSH	Control gamete production
	ACTH	Stimulate adrenal cortex
	TSH	Stimulate production of thyroxine
▪ **Posterior lobe**	Oxytocin	Regulate blood pressure, stimulate smooth muscle contraction, initiate uterine contractions during childbirth, regulate milk production
	Vasopressin	Control reabsorption by kidneys
Islets of Langerhans	Glucagon, insulin	Maintain blood glucose levels
Ovaries	Estrogens	Produce female secondary sex characteristics, affect mature female body functions
	Progesterone	Maintain growth of uterine lining
Testes	Androgens (testosterone)	Produce male secondary sex characteristics
Thymus	Thymosins	Bolster children's immune systems
Digestive glands	Gastrin	Stimulate acid production
	Secretin	Influences digestive activity
Pineal gland	Melatonin	Influences biorhythms

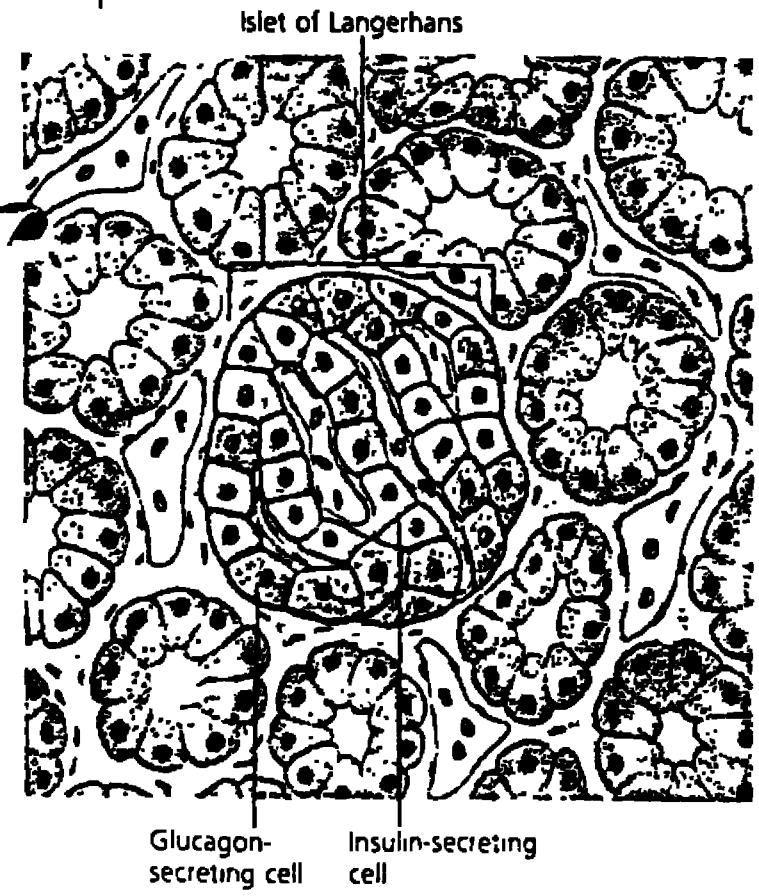


Figure 47-7 The islets of Langerhans play a crucial role in the regulation of blood glucose. The mechanism also involves other hormonal systems.

The posterior lobe of the pituitary gland secretes two hormones—oxytocin and vasopressin. These secretions are also under the control of the hypothalamus. For example, when nerve cells in the hypothalamus detect that the concentration of water in the blood is low, they send nerve signals to the posterior lobe to secrete more of the hormone vasopressin. The increased concentration of vasopressin causes the blood vessels in the kidney to reabsorb more water. As a result the concentration of water in the blood rises. The hypothalamus detects this change and signals the posterior lobe to stop producing vasopressin. Oxytocin causes the muscles of the uterus to contract during childbirth.

Thymus

The thymus is located under the breastbone, between the lungs. In children the thymus is large, but it diminishes in size as a child grows older. The thymus produces hormones called thymosins that stimulate the development of infection-fighting antibodies and bolster the child's immune system.

Islets of Langerhans

The pancreas primarily is an exocrine gland that produces enzymes and secretes them into the small intestine via ducts. However, special cells in the pancreas called the islets of Langerhans function as endocrine glands. These cells, pictured in Figure 47-7, secrete two hormones, insulin and glucagon.

Insulin is a hormone that lowers the blood sugar level by stimulating cells to absorb glucose and by causing the liver and muscles to convert glucose to glycogen. In contrast, glucagon raises the blood sugar level by stimulating the breakdown of glycogen into glucose. In a healthy person the balance between insulin and glucagon maintains normal carbohydrate metabolism.

Without sufficient insulin too much glucose remains in the blood. This condition is called **diabetes mellitus** *(MELL-uh-tuss)*. In the United States more than one million people have one of the two forms of diabetes. Type 1, juvenile-onset diabetes, occurs when cells in the islets of Langerhans secrete little or no insulin. Regular injections of insulin help regulate the imbalance of glucose in the blood. Type 2, maturity-onset diabetes, is milder than Type 1. Persons with Type 2 diabetes may have normal levels of insulin in the blood but cannot use it, probably because their cells have a low number of receptors for insulin molecules. Case studies have revealed that heredity and obesity are contributing factors to occurrence of Type 2 diabetes, which can be treated by a carefully controlled diet. If diabetes is not treated, the victim will starve since his or her cells will not be able to absorb glucose.

Another disorder, called **hypoglycemia**, is the presence of too little glucose in the blood. Excess insulin causes the liver to store sugar that should be delivered to cells and results in an imbalance of blood glucose levels. This imbalance can cause a person to feel tired and dizzy at one time and then nervous and active at another.

16. ENZIMAS: PROPIEDADES GENERALES

VICTOR W. RODWELL, PhD

I. INTRODUCCION

Los catalizadores son substancias que aceleran las reacciones químicas, participan en una reacción y experimentan cambio físicos durante ella, pero revierten a su estado original cuando la reacción termina. Las enzimas son catalizadores proteínicos para las reacciones bioquímicas, la mayor parte de las cuales ocurrirían muy lentamente si no fuera por la catálisis enzimática. A diferencia de los catalizadores no proteínicos como el H^+, OH^- o los iones metálicos, cada enzima cataliza un pequeño número de reacciones y frecuentemente sólo una. Las enzimas son así catalizadores altamente específicos de las reacciones. Esencialmente todas las reacciones bioquímicas son catalizadas por enzimas.

II. IMPORTANCIA BIOMEDICA

Las enzimas hacen posible la vida en la Tierra. No es una sorpresa que intervengan en muchos campos de las ciencias biomédicas. Muchas enfermedades (los errores congénitos del metabolismo) se deben a anormalidades en la síntesis de enzimas, determinadas por los genes. Cuando las células son lesionadas (por ejemplo, por trastornos de la circulación sanguínea o inflamación), ciertas enzimas pasan al plasma. La medición de su actividad es parte integral del diagnóstico de cierto número de trastornos médicos importantes (infarto del miocardio). La enzimología diagnóstica es el área de la medicina que emplea enzimas como auxiliares del diagnóstico y el tratamiento.

III. CLASIFICACION Y NOMENCLATURA DE LAS ENZIMAS

En un principio se designó a las enzimas añadiendo del sufijo -asa al nombre del substrato sobre el que se actuaban. Por tanto, las enzimas que hidrolizan al almidón (del latín, amilum) se denominaron amilasas; las que hidrolizan las grasas (lípidos), lipasas y las que hidrolizan proteínas, proteinasas. Más tarde, las enzimas que catalizan reacciones semejantes recibieron nombres que indican el tipo de reacción química catalizada. Estas son las deshidrogenasas, oxidasas, descarboxilasas, acilasas, etc. Muchos de estos nombres son de uso corriente.

IV. COENZIMAS

Diversas enzimas sólo catalizan las reacciones de sus substratos en presencia de una molécula orgánica específica, pequeña y termoestable, de bajo peso molecular, una coenzima. En un sistema en el cual se requieren coenzimas, la entidad catalítica u holoenzima consiste, por lo tanto, de una parte proteínica o apoenzima más una coenzima. Una coenzima particular se puede unir en forma covalente o no covalente a la apoenzima.

reacciones que requieren coenzimas están las oxidorreducciones, las reacciones de transferencia de grupo e isomerización y las reacciones que forman enlases covalentes (clases 1, 2, 5 y 6; UIB). Las reacciones líticas que comprenden reacciones hidrolíticas como las catalizadas por enzimas digestivas no requieren de coenzimas (clases 3 y 4 UIB).

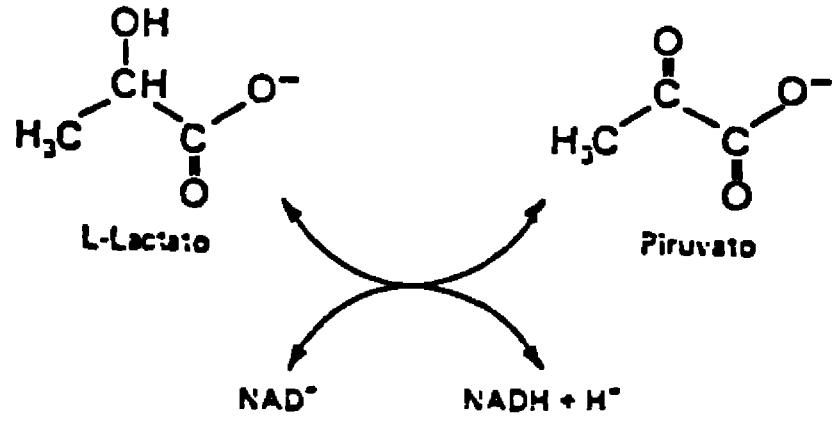
A. Coenzimas como segundo substrato

La coenzima puede considerarse como un segundo substrato o cosubstrato. Esto es así por dos razones. En primer lugar, los cambios químicos en la coenzima compensan exactamente a los que se realizan en el substrato. Por ejemplo, en las reacciones de oxidorreducción (deshidrogenasa), una molécula de substrato es oxidada (deshidrogenada) y una molécula de coenzima es reducida (hidrogenada).

De modo semejante, en las reacciones de transaminación, el fosfato de pirodoxal actúa como un segundo substrato en 2 reacciones combinadas y como portador para la transferencia de un grupo amino entre diferentes α-cetoácidos.

Una segunda razón para dar igual énfasis a las reacciones de la coenzima es que, en realidad, este aspecto de la reacción es el que puede ser significado fisiológico fundamental. Por ejemplo, la importancia de la capacidad del músculo que trabaja en medio anaerobio para convertir el piruvato en lactato no reside en el piruvato ni en el lactato mismos, sino en la conversión resultante del NADH en NAD^+. Sin NAD^+ la glucólisis no puede continuar y la síntesis anaerobia de ATP (y, por lo tanto, el trabajo) tiene que cesar. En condiciones anaerobias, la reducción del piruvato en lactato reoxida al NADH y permite la síntesis de ATP. Otras reacciones pueden servir igualmente bien a función idéntica. Este punto puede apreciarse mejor considerando formas de vida distintas a las de los animales. En las bacterias o levaduras que crecen en medio anaerobio, algunas substancias derivadas del piruvato son utilizadas como oxidante para el NADH y ellas son reducidas en el proceso.

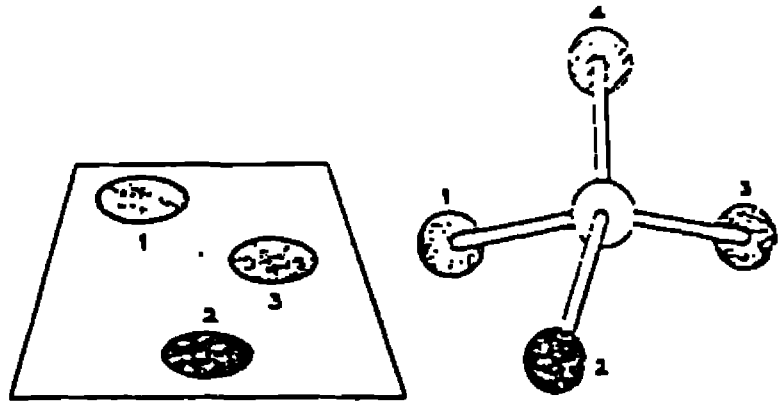
D–G + A = A–G + D



El NAD^+ actuando como cosubstrato en una reacción de oxidorreducción.

V. ESPECIFICIDAD ENZIMATICA

La capacidad de una enzima para catalizar una reacción específica y esencialmente ninguna otra, es quizá su propiedad más significativa. De este modo las velocidades de procesos metabólicos específicos pueden ser reguladas por cambios en la eficiencia catalítica de enzimas específicas. Sin embargo, la mayoría de las enzimas catalizan el mismo tipo de reacción (transferencia de fosfato, oxidación-reducción, etc) con un pequeño número de substratos emparentados estructuralmente. Las reacciones con otros substratos alternativos tienden a realizarse si ellos se encuentran en altas concentraciones. Que todas las reacciones posibles ocurran en el microorganismo viviente depende de la concentración relativa de substratos alternativos en las células y de la afinidad relativa de la enzima para esos substratos. Algunos aspectos generales de la especificidad enzimática incluyen los que se dan en seguida:



Representación de la inserción en 3 puntos de un substrato a un sitio activo plano de una enzima.

17. PANORAMA DEL METABOLISMO INTERMEDIO

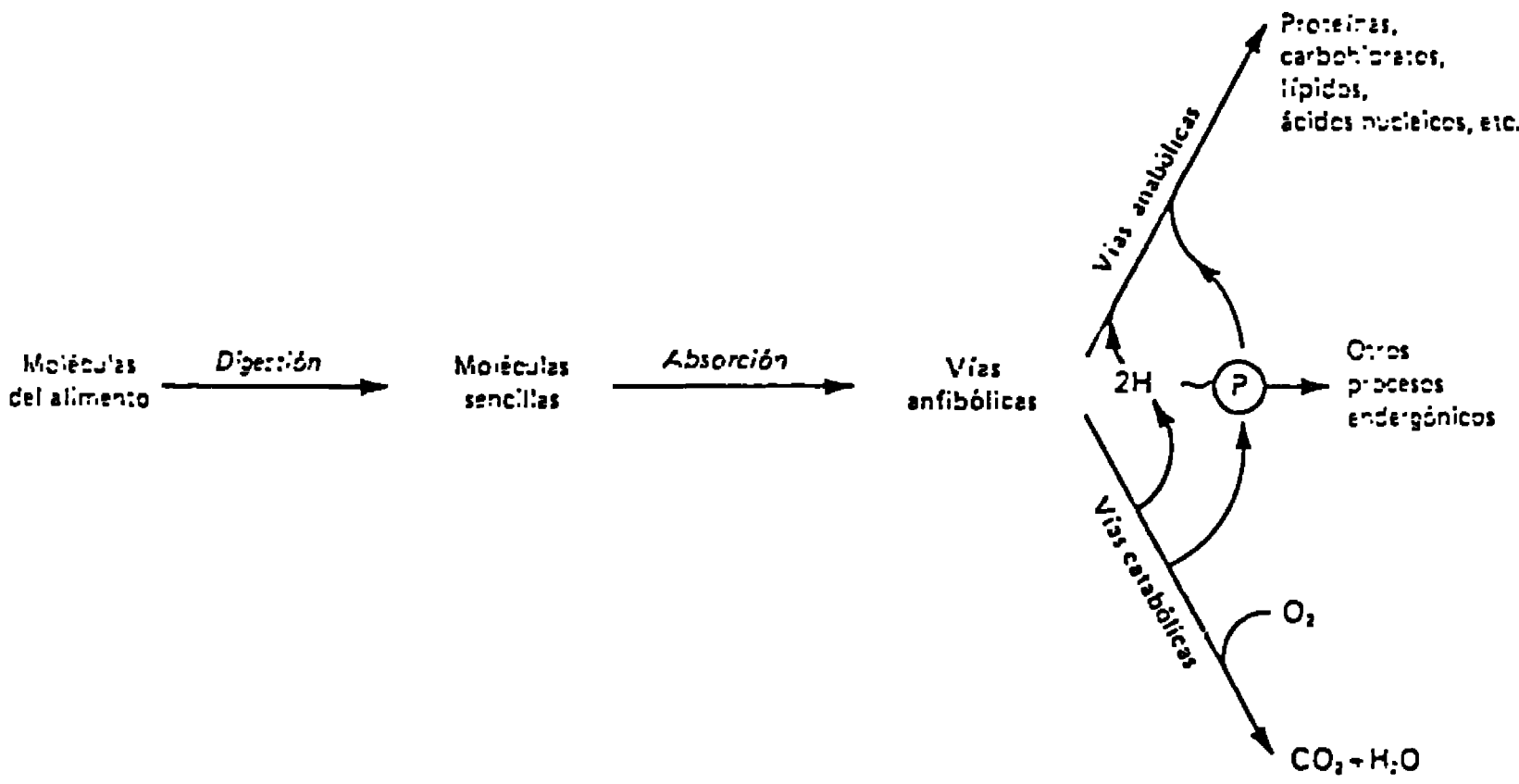
PETER A. MAYES, PhD, DSc

I. INTRODUCCION

El destino de los componentes de la dieta después de la digestión y la absorción, constituye el metabolismo intermedio. Por tanto, abarca un campo extenso que no sólo describe las vías metabólicas seguidas por moléculas individuales, sino que intenta comprender sus interrelaciones los mecanismos que regulan el flujo de los metabolitos a través de ellas. Las vías metabólicas pueden clasificarse en tres categorías: Vías anabólicas son las que se ocupan de la síntesis de los compuestos que constituyen la estructura y la maquinaria corporal. Una de ellas es la síntesis de proteínas. La energía libre requerida por estos procesos proviene de la categoría siguiente (2) Vías catabólicas son las que realizan procesos oxidativos que producen energía libre, por lo general, en forma de fosfatos de alta energía o de equivalentes reductores, por ejemplo, la cadena respiratoria y la fosforilación oxidativa. (3) Vías anfibólicas que tienen más de una función y ocurren en las "encrucijadas" del metabolismo, actuando como enlace entre las vías anabólicas y catabólicas, por ejemplo, el ciclo del ácido cítrico.

II. IMPORTANCIA BIOMEDICA

El conocimiento del metabolismo en el animal normal es un prerrequisito para la comprensión profunda de muchas enfermedades. En el metabolismo normal se incluyen las variaciones y adaptaciones necesarias en períodos de inanición, ejercicio, embarazo y lactancia. Los desequilibrios del metabolismo son consecuencia de, por ejemplo, deficiencia nutricional, deficiencia de enzimas o secreción alterada de hormonas. Un ejemplo importante de una enfermedad causada por metabolismo alterado ("enfermedad metabólica") es la diabetes mellitus.*



* Las tres categorías principales de las vías metabólicas. Las vías catabólicas producen energía libre en forma de equivalentes reductores (2H) o fosfato de alta energía (~P) para suministrarla a las vías anabólicas. Las anfibólicas actúan como enlace entre las dos categorías anteriores.

III. VIAS METABOLICAS BASICAS

La naturaleza de la alimentación define el patrón básico del metabolismo en los tejidos. Los mamíferos como el hombre necesitan procesar los productos absorbidos de la digestión de carbohidratos, lípidos y proteínas de la dieta. Los principales son respectivamente, glucosa, triacilglicerol y aminoácidos. En los rumiantes (y en menor extensión en otros herbívoros), la celulosa proveniente de los alimentos la digieren microorganismos simbiontes a ácidos grasos pequeños (acético, propiónico, butírico) y en estos animales el metabolismo tisular se ha adaptado a utilizar ácidos grados de cadena corta como sus substratos principales.

18.

Photosynthesis and Respiration

Introduction

In Chapter 3 you learned that many life processes involve endothermic reactions—that is, reactions that require the addition of energy. Where does this energy come from? For most living things the answer is ultimately the sun. In this chapter we will look closely at the processes through which cells trap energy, transfer it, and release it to power cellular activities.

Chapter Outline

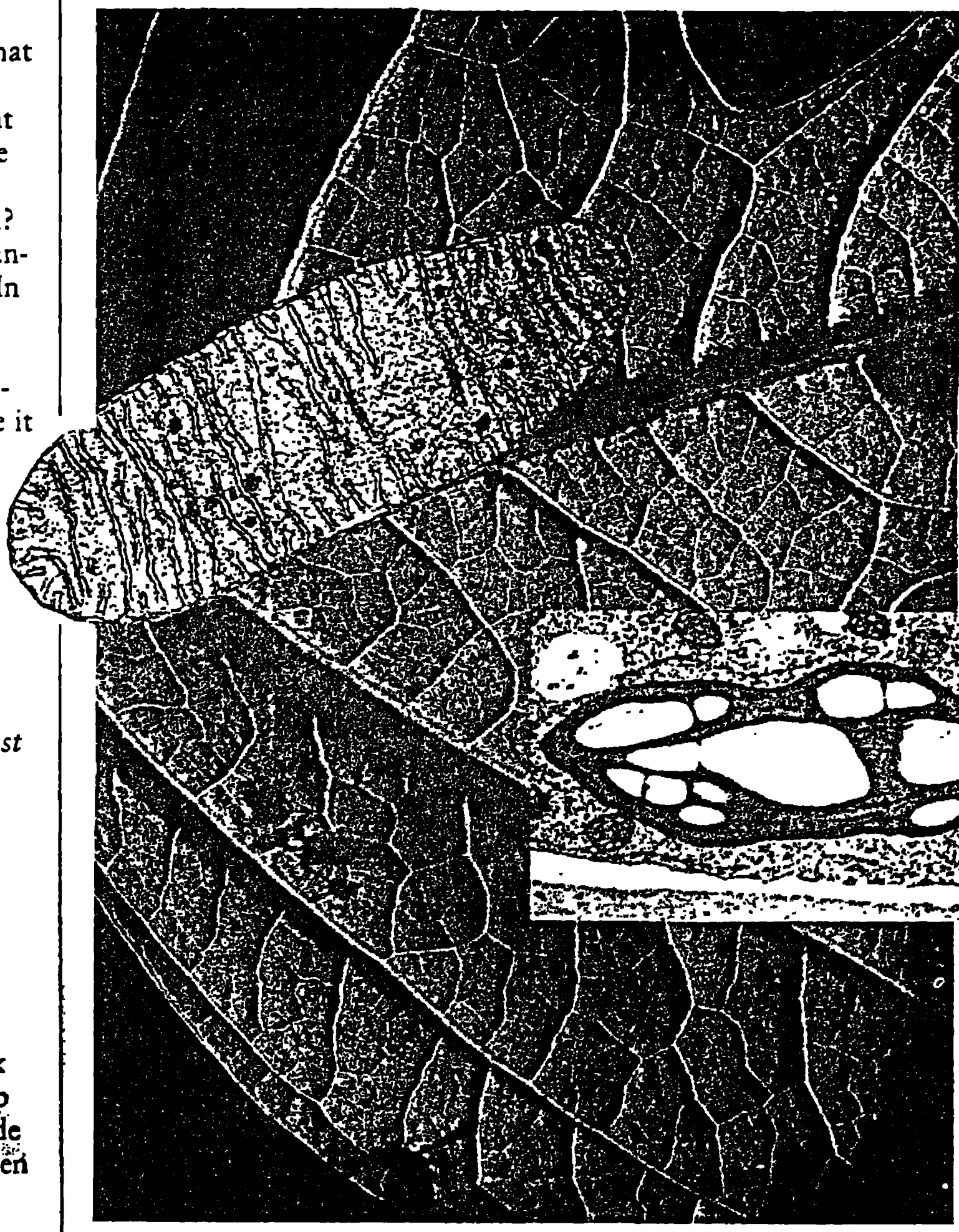
7.1 The Need for Energy
- *Energy for Life*
- *Adenosine Triphosphate*
- *ATP–ADP Cycle*

7.2 Photosynthesis
- *Structure of a Chloroplast*
- *Light Reactions*
- *Dark Reactions*

7.3 Respiration
- *Glycolysis*
- *Fermentation*
- *Aerobic Respiration*

Chapter Concept

As you read about complex biochemical pathways, keep in mind that glucose is made in photosynthesis and broken down in respiration.



Leaf of a tulip tree, *Liriodendron tulipifera*. Inset (left): TEM of mitochondrion in a bat pancreas (×6,000). Inset (right): Color-enhanced TEM of a chloroplast in the moss *Physcomitrella potens* (×5,700).

The Need for Energy

All living things require energy to survive. Whether they are unicellular or multicellular, all organisms need energy to power the many endothermic reactions that are essential to cell function. Cells are constantly active—building, repairing, growing, and reproducing. Where do organisms get the energy to support these activities? The simplest answer is from their food. However, this chapter will answer the question much more fully by introducing you to two fundamental biological processes—photosynthesis and respiration. **Photosynthesis** is the process that converts the radiant energy of sunlight into chemical energy. **Respiration** is the process that releases chemical energy for use by the cell. Figure 7-1 provides an overview of these processes.

Energy for Life

Scientists divide living things into two groups according to the way in which they get their food. Plants and other organisms that meet their energy needs by building organic molecules from inorganic substances are called **autotrophs** *(AWT-uh-TROFES)*. Organisms that do not make their own food but depend directly or indirectly on autotrophs for food are **heterotrophs** *(HET-uh-ruh-TROFES)*. A cow, for example, is a heterotroph; it depends directly on autotrophic plants for food. A human who eats the meat of the cow is also a heterotroph. Because the energy in the meat was originally derived from plants, the human is indirectly dependent on plants for food. Ultimately all life on earth depends on autotrophs.

Photosynthesis is the major way that autotrophs produce chemical energy. Photosynthesis is carried out in plants and many microorganisms. In photosynthesis the radiant energy from sunlight is used to produce glucose ($C_6H_{12}O_6$) from carbon dioxide (CO_2) and water (H_2O). During the process oxygen (O_2) is released into the atmosphere.

Respiration is the process by which glucose molecules are broken down and their stored energy released. Like photosynthesis, respiration occurs in a controlled series of reactions. All organisms use some form of respiration to obtain energy.

In any biological system materials are constantly recycled. During photosynthesis plants take in CO_2 and release O_2. When

Section Objectives

- *Compare and contrast the functions of photosynthesis and respiration.*
- *Distinguish between autotrophs and heterotrophs.*
- *Name the parts of and describe the structure of ATP.*
- *Summarize the process of phosphorylation.*

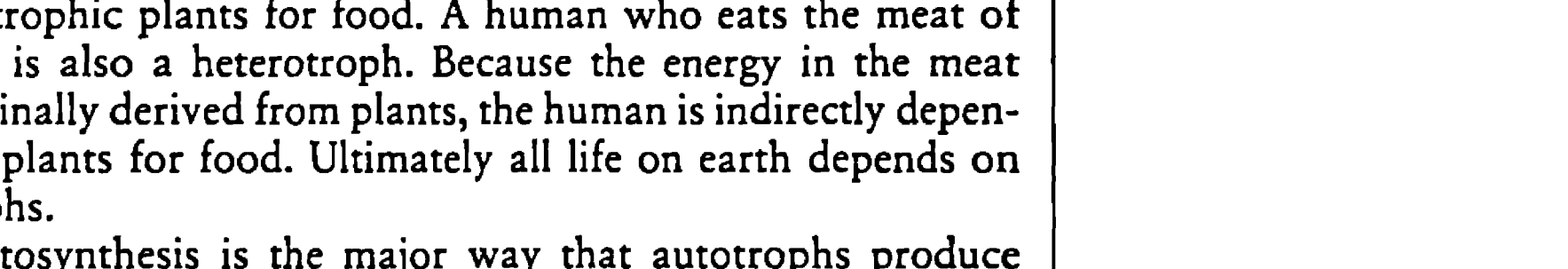


Figure 7-1 Energy for most living organisms comes from the sun and is converted to usable form through photosynthesis and respiration.

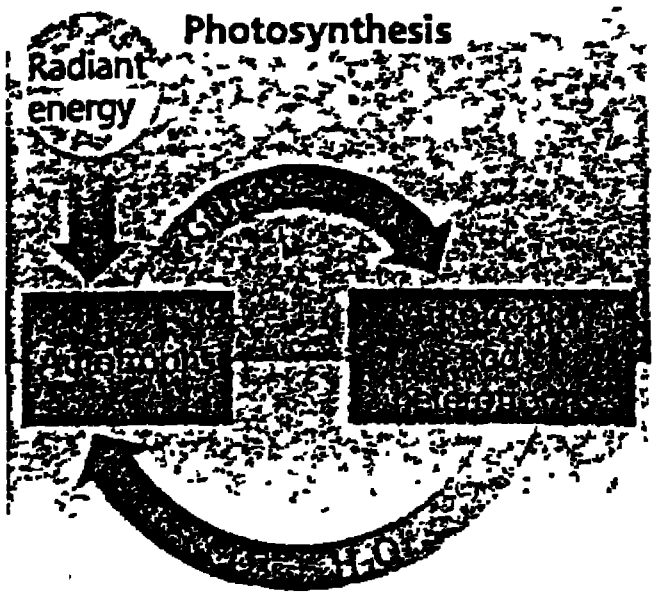




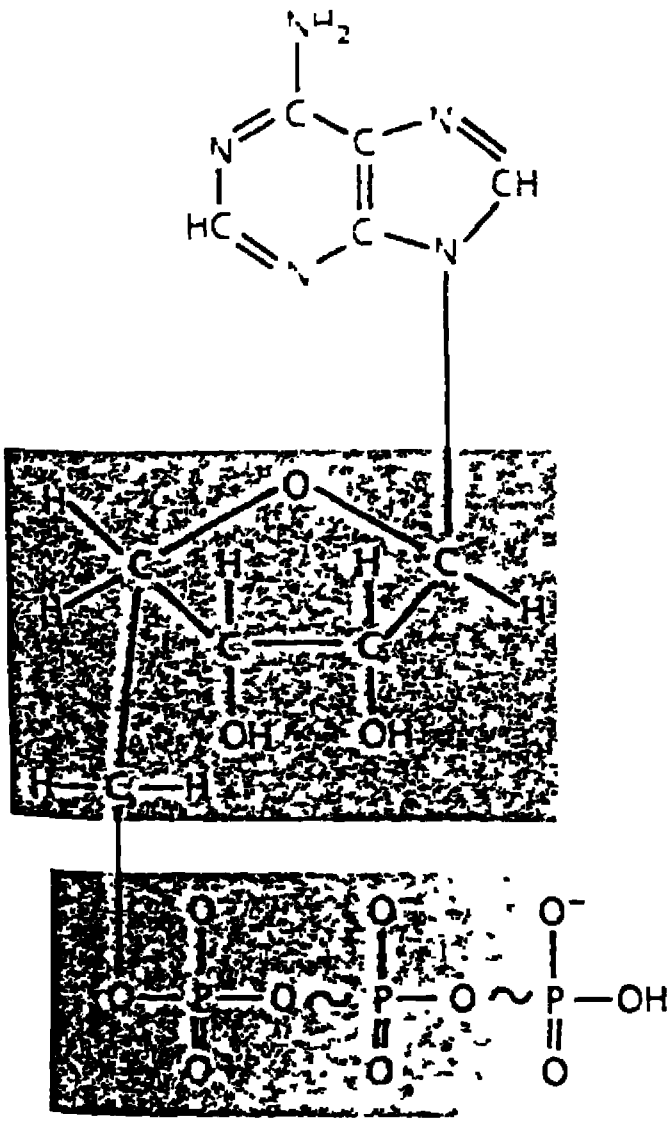
Figure 7-2 Autotrophs produce glucose and oxygen by photosynthesis. Both autotrophs and heterotrophs produce carbon dioxide and water by cellular respiration.

animals eat plants, for example, they convert glucose to energy through respiration. This energy-releasing process requires O_2 and releases CO_2. Thus the alternation of photosynthesis and respiration results in the continual recycling of CO_2 and O_2 in the environment. However, a constant input of energy is needed to keep the cycle going. For almost all living things the ultimate source of this energy is sunlight.

Adenosine Triphosphate

Both photosynthesis and respiration are processes that involve a series of biochemical reactions. Such a series of reactions is called a **biochemical pathway.** You will encounter several biochemical pathways in this chapter. Usable energy produced by one reaction may be stored and used in a later reaction. In most cases this usable energy is stored in a molecule called adenosine triphosphate *(uh-DEN-uh-SEEN trie-FAHS-FATE)*, or ATP.

Figure 7-3 The energy in ATP is stored in the bonds linking the phosphate groups. The energy is released when the bonds are broken.



The ATP molecule, shown in Figure 7-3, has three parts: adenine, a nitrogen-containing molecule; ribose, a five-carbon sugar; and three phosphate groups. The adenine bonds to ribose, forming the compound adenosine. The phosphate groups attach in sequence to the adenosine. **Adenosine monophosphate,** or AMP, has one attached phosphate group; **adenosine diphosphate,** or ADP, has two; and adenosine triphosphate, or ATP, has three.

ATP stores energy in the bonds between the phosphate groups. A molecule of ATP is often written as A–P~P~P, with *A* representing adenosine, and each *P* representing a phosphate group. Each wavy line (~) represents a bond that, when broken, releases energy.

ATP–ADP Cycle

The phosphate bonds of ATP must be broken before cells can use the energy stored in them. When a cell needs energy, an enzyme called ATPase breaks the bond between the second and third

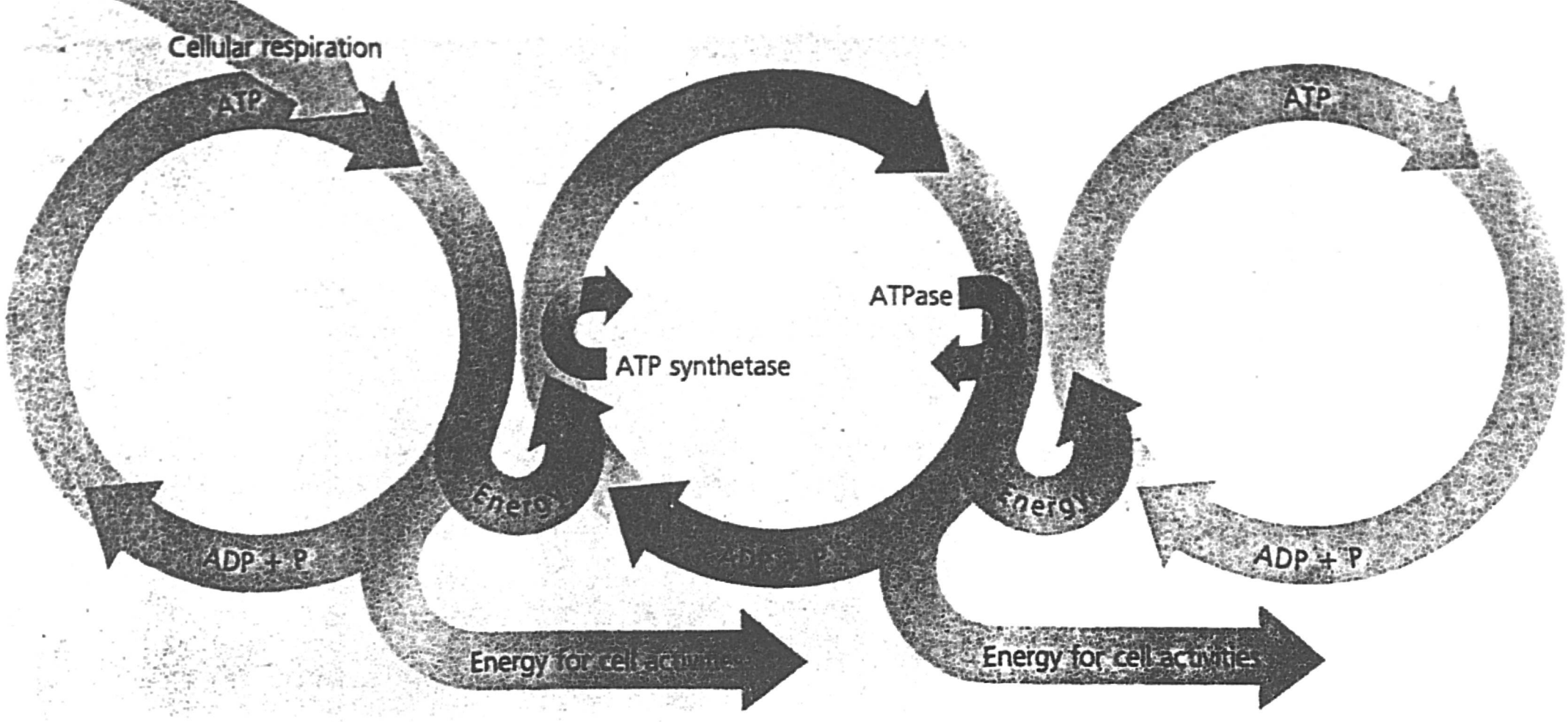


Figure 7-4 When phosphate bonds break, ATP becomes ADP and energy is released. ATP is reformed when ADP and P bond.

phosphate groups. The terminal phosphate group is then removed, ADP is formed, and energy is released:

$$A\text{–}P\sim P\sim P \longrightarrow A\text{–}P\sim P + P + \text{energy}$$

Sometimes a similar reaction breaks the bond between the first and second phosphate groups:

$$A\text{–}P\sim P \longrightarrow A\text{–}P + P + \text{energy}$$

This reaction releases energy and converts ADP to AMP. Thus cells obtain energy by splitting phosphate groups from ATP.

The breakdown of ATP to ADP may result in free phosphate ions. Usually, however, the breakdown of ATP is accompanied by the transfer of a phosphate group to another molecule, a process called **phosphorylation** *(FAHS-FOR-uh-LAY-shun)*. The phosphorylated molecule gains both the phosphate and the energy.

The formation of ATP is the reverse of its breakdown. ADP is phosphorylated to form ATP. An enzyme called **ATP synthetase** *(AY-TEE-PEE SIN-thuh-TAZE)* catalyzes the synthesis of ATP. Adding a phosphate group to ADP requires energy:

$$A\text{–}P\sim P + P + \text{energy} \longrightarrow A\text{–}P\sim P\sim P$$

Photosynthesis, respiration, the formation of ATP, and the breakdown of ATP form a fundamental biological cycle. Photosynthesis stores energy in glucose molecules; respiration releases that energy. The energy freed forms ATP as another storage molecule. Energy from the breakdown of ATP fuels cell activity.

Section Review

1. What is *ATP synthetase?*
2. What is the importance of ATP to cells?
3. What is an autotroph, and what is a heterotroph? How does each obtain its energy?
4. Name the component parts of a molecule of ATP.
5. Why are plants called producers and animals consumers?

Section Objectives

- *State the reactants in and the products of photosynthesis.*
- *Explain how the structure of the chloroplast facilitates photosynthesis.*
- *Distinguish between the main events of the light reactions and those of the dark reactions.*
- *Name three carbon-fixing methods used by plants.*
- *Summarize Calvin's investigations of the events of dark reactions.*

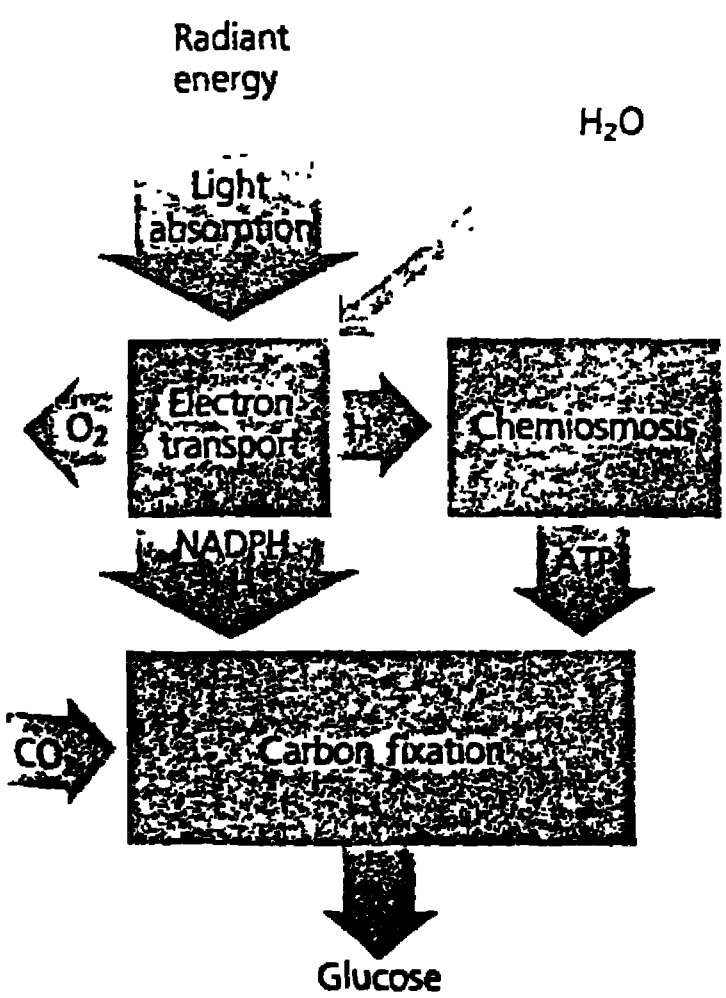


Figure 7-5 Photosynthesis includes light reactions, during which ATP and NADPH + H^+ are formed. During the dark reactions, glucose is formed.

Photosynthesis

As you have read, photosynthesis is a process that converts solar energy into energy that is stored in chemical bonds. Just how does this transformation of radiant energy occur during photosynthesis? Here is a general equation for photosynthesis:

$$6\,CO_2 + 6\,H_2O + \text{light energy} \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2$$

While the general equation summarizes the process, photosynthesis is actually a complex biochemical pathway. Photosynthesis consists of two interdependent pathways called the light reactions and the dark reactions. Look at Figure 7-5, which summarizes these reactions. During the light reactions the energy in sunlight is trapped, O_2 is released, and both ATP and the hydrogen-carrier molecule, which is written as NADPH + H^+, are formed. During the dark reactions the ATP, NADPH + H^+ act with CO_2 from the atmosphere and form glucose. The process results in the transformation of light energy from the sun into energy stored in the bonds of the glucose molecule.

As we study these complex reactions, it will be helpful to keep certain points in mind. We will be tracing the path of electrons as they pass from molecule to molecule. The function of these molecules is to shuttle electrons and hydrogen ions as they move from one reaction to another.

Structure of a Chloroplast

Both the light reactions and the dark reactions take place in chloroplasts. As you learned in Chapter 5, chloroplasts are membrane-bound organelles that contain both the pigment chlorophyll and the enzymes necessary for photosynthesis. All photosynthetic cells contain at least one chloroplast, but many contain more than 50.

To understand the structure of the chloroplast, study Figure 7-6. Note that the chloroplast has a double membrane. The interior membrane is organized into flattened sacs of photosynthetic membranes called **thylakoids** *(THIE-luh-KOIDZ)*. The thylakoid membrane has an internal reservoir called a **lumen.** Stacks of thylakoids are called **grana.** Each granum may contain up to several dozen thylakoids. The thylakoids are embedded in a protein-rich solution that is called the **stroma.** The light reactions of photosynthesis take place in the thylakoid membranes; the dark reactions take place in the stroma.

Chlorophyll

Photosynthesis requires the presence of pigments that are acted upon by sunlight. Sunlight consists of particles of energy that move in waves of different wavelengths. A wavelength is the distance between the crests of successive waves. The shorter the wavelength, the more energy the light has. For example, violet

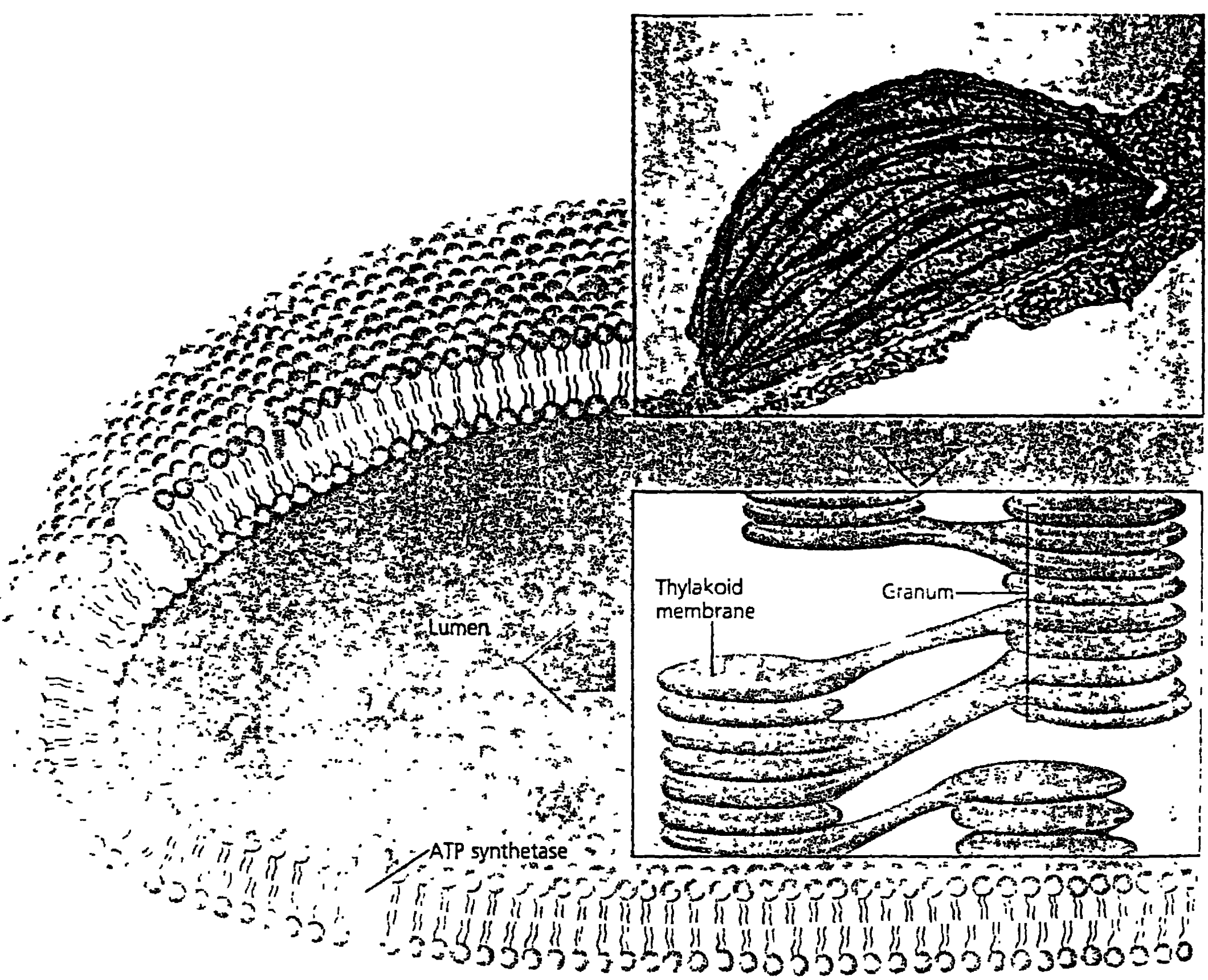


Figure 7-6 Chloroplasts are the site of light and dark reactions. Light reactions occur in the thylakoid membrane; dark reactions, in the stroma (beige).

light, which has a short wavelength, has more energy than red light, in which the wavelength is long. Pigments are light-absorbing compounds. Pigments appear colored because they absorb light of certain wavelengths and reflect that of others. Chlorophyll is a pigment that absorbs red and blue light and reflects green light. Plants containing chlorophyll appear green.

Photosynthetic pigments in plants absorb energy from sunlight. Although plants contain several kinds of pigments, the primary pigment in all plants is chlorophyll. There are five types of chlorophyll: a, b, c, d, and bacteriochlorophyll. These occur in different organisms and absorb different wavelengths of light.

Chlorophylls a and b are the most common of the photosynthetic pigments. Chlorophyll a is found in all plants and algae. Chlorophyll b occurs in plants, green algae, and euglenoids.

Carotenoids and Phycobilins

Chloroplasts contain other pigments called accessory pigments. Accessory pigments trap wavelengths of light that cannot be absorbed by chlorophyll and then transfer the energy to chlorophyll molecules for use in photosynthesis. Accessory pigments are

important because they enable plants to use a greater amount of the sun's energy than is available to chlorophyll alone.

Carotenoids are yellow, orange, and brown pigments that are present in most plants. The most common carotenoids are carotenes and xanthophylls *(ZAN-thuh-FILLZ)*. Phycobilins *(FIE-koe-BIE-lunz)* are accessory pigments found in red algae and blue-green bacteria. Phycobilins enable red algae to live far below the ocean surface because phycobilins absorb the green, violet, and blue light waves that penetrate deep into the water. Review the absorption spectra of some of the pigments, graphed in Figure 7-7.

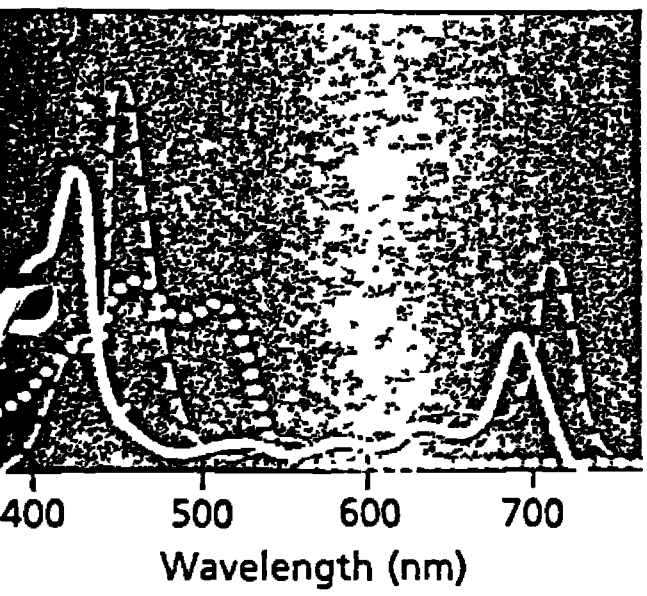


Figure 7-7 How do these pigments differ in their capacity for light absorption?

Light Reactions

The pigments that are in the chloroplasts intercept light and begin the light reactions of photosynthesis. The light reactions involve many kinds of molecules. As you will learn, an electron freed from chlorophyll is passed from molecule to molecule in a sequence of reactions called the electron transport chain.

Reactions

The light reactions occur in two photosystems, photosystem I and photosystem II. A photosystem is a unit of several hundred chlorophyll molecules and associated acceptor molecules. The two photosystems have different forms of chlorophyll a. Photosynthesis begins when pigments trap light energy. The light energy boosts the energy level of the electrons in the chlorophyll molecules to such a high level that the electrons can escape the chlorophyll. Electrons with a high level of energy are called "excited."

Follow the path of the electrons shown in Figure 7-8. In photosystem I the excited electrons pass through a series of molecules until they reach a molecule called $NADP^+$. Two electrons and two hydrogen ions then attach to the $NADP^+$ and form NADPH + H^+. NADPH + H^+ is one product of the light reactions.

Notice that the chlorophyll molecule in photosystem I has now lost electrons. How are they replaced? Electrons from photosystem II take the place of the electrons lost in photosystem I. In photosystem II electrons are excited by light and are passed from acceptor molecule to acceptor molecule. The final acceptor molecule is the chlorophyll molecule of photosystem I.

Now notice that the chlorophyll in photosystem II has lost electrons. Where do the electrons come from that are needed to reestablish the chlorophyll in photosystem II? They come from water. When light interacts with chlorophyll in photosystem II, a water molecule is split into two hydrogen ions and one atom of oxygen. The hydrogen ions move through the thylakoid membrane and into the lumen. The oxygen atom unites with another oxygen atom, and O_2 is released into the atmosphere.

The photosystems and their acceptor molecules are embedded in the thylakoid membrane. As electrons move along the electron transport chain, hydrogen ions are transported across the

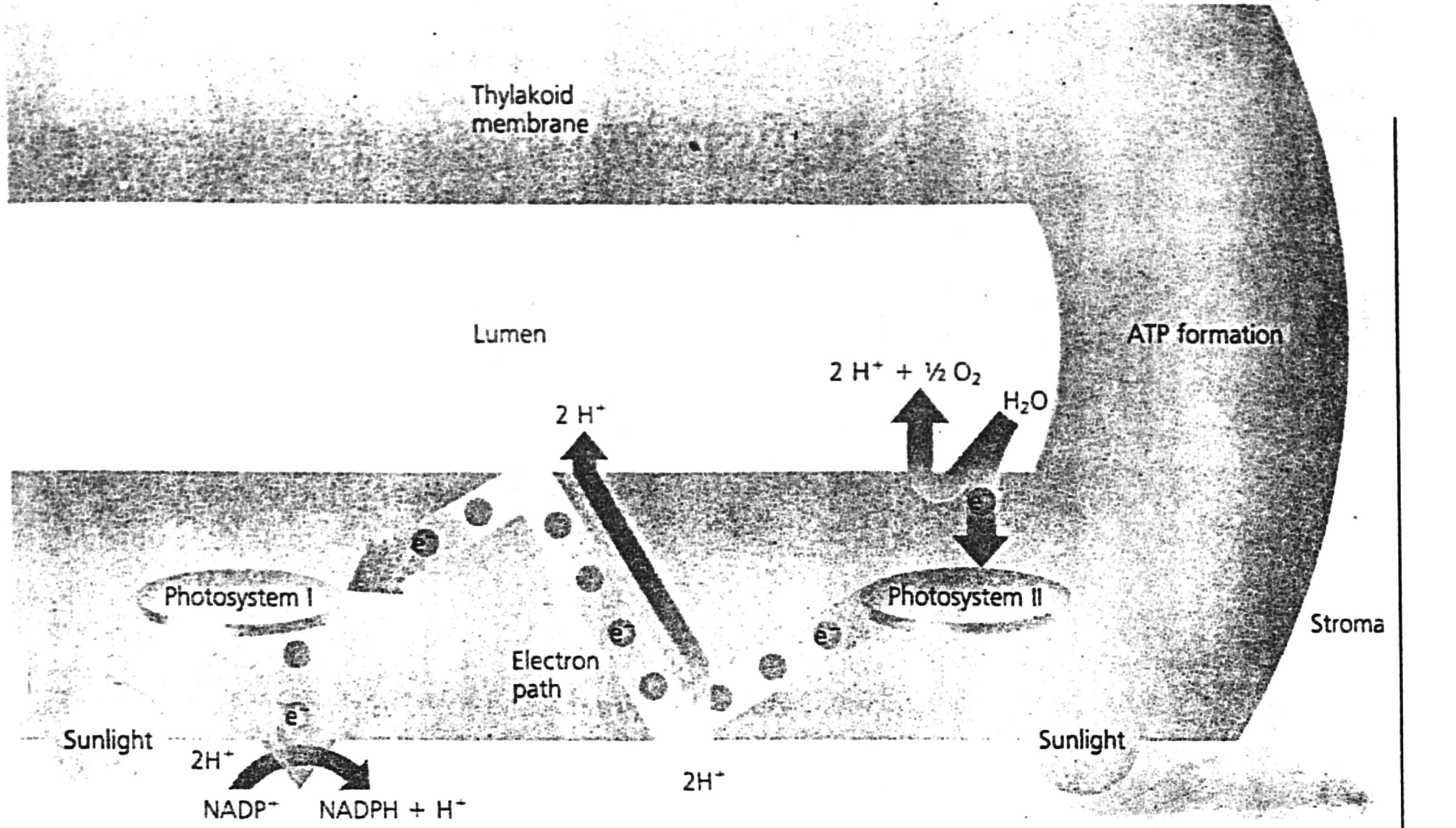


Figure 7-8 Electrons lost by photosystem I are replaced by electrons from photosystem II, which in turn are replaced by electrons released from the breakdown of H_2O.

thylakoid membrane. These ions are added to the H^+ already in the lumen from the splitting of water.

As you will recall from Chapter 6, the concentration of ions inside the membrane creates an electrochemical gradient. This gradiant sets the stage for **chemiosmosis** *(KEM-ee-oz-MOE-suss)*, or the passage of chemicals through a membrane. This movement of molecules generates the energy for the synthesis of ATP. As the trapped hydrogen ions move out of the lumen through the membrane channels, stored electrochemical energy is released. This energy is used by ATP synthetase to make ATP molecules. Thus ATP, NADPH + H^+, and O_2 are products of the light reactions.

Products

Let's review the light reactions of photosynthesis.

1. Electrons are excited when light energy strikes chlorophyll.
2. Electrons are passed along the electron transport chain. Electrons, $NADP^+$, and H^+ unite to form NADPH + H^+.
3. Light hits a second chlorophyll molecule. Electrons replace those lost in photosystem II. Water is split, and O_2 is released into the atmosphere. Electrons from H_2O replace those lost in photosystem I. Hydrogen ions are added to the lumen.
4. The electron transport chain carries more hydrogen ions across the thylakoid membrane into the lumen.
5. The hydrogen ions move back across the thylakoid membrane and generate the energy for the formation of ATP.

The end products of the light reactions, then, are NADPH + H^+, O_2, and ATP. O_2 is released into the atmosphere; NADPH + H^+ and ATP are released into the stroma of chloroplasts and are used to drive the dark reactions of photosynthesis.

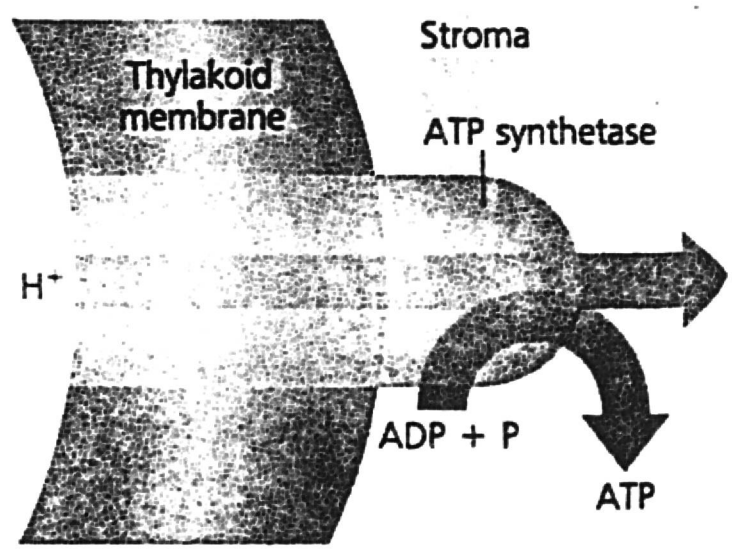


Figure 7-9 Energy for the manufacture of ATP is generated during chemiosmosis as hydrogen ions move through the thylakoid membrane.

Dark Reactions

The dark reactions make up the second phase of photosynthesis. The term *dark reactions* is misleading. Although these reactions are light-independent, meaning they can occur in the dark, they also occur in the light. They result in the formation of glucose. First CO_2 is incorporated, or "fixed," into organic molecules.

The dark reactions are often called the Calvin cycle, after Melvin Calvin (1911–), the American scientist who figured out the pathway. They are also called the C_3 cycle, because their first stable products are molecules that contain three carbon atoms.

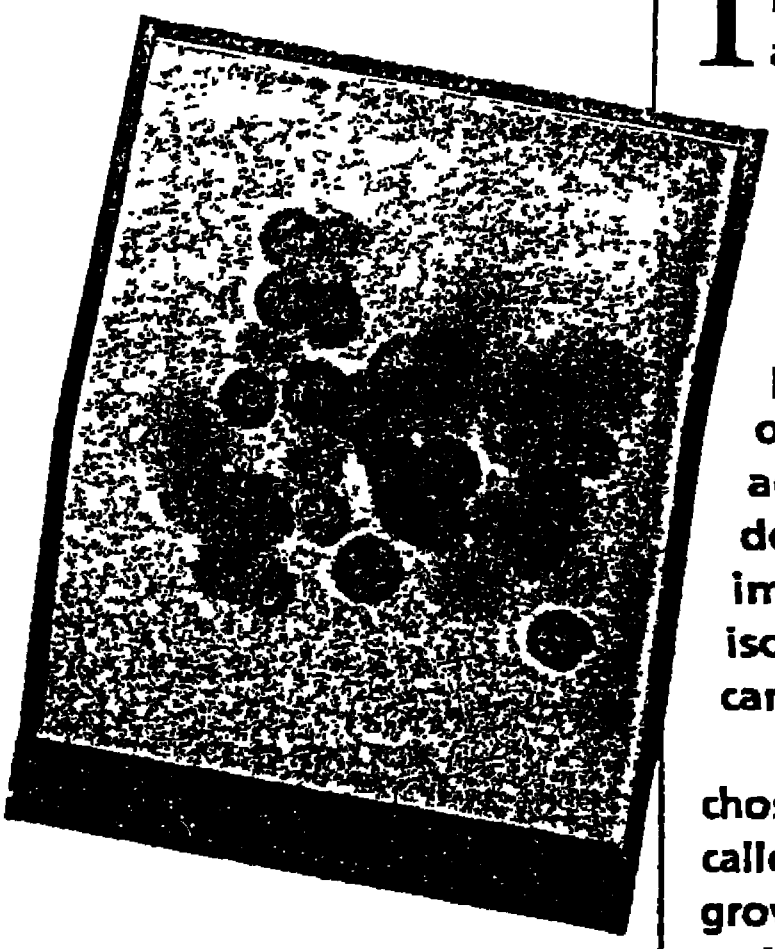
Reactions

The Calvin cycle occurs in the stroma. The cycle consists of four major steps: CO_2 is fixed by ribulose bisphosphate *(RIE-byuh-LOSE BIS-FAHS-FATE)*, RuBP; phosphoglyceraldehyde (PGAL) is formed; glucose is formed; and RuBP is regenerated. Look at Figure 7-10 as you read.

1. CO_2 enters the plant from the atmosphere. RuBP, a five-carbon sugar molecule, binds to CO_2. This binding process is

Biology in Process

Calvin: The Dark Reactions



In 1945 a group of botanists at the University of California at Berkeley began investigating the photosynthetic pathways. Melvin Calvin and his coworkers designed an experiment to trace the path of CO_2 during the dark reactions. This experimental design utilized a new and important tool—a radioactive isotope of carbon designated carbon-14 (^{14}C).

For this experiment Calvin chose a unicellular green alga called *Chlorella* (left, ×400). By growing *Chlorella* under controlled conditions Calvin established a steady rate of photosynthesis. Calvin then exposed algal cells to light in the presence of radioactive CO_2 ($^{14}CO_2$). The photosynthesizing cells absorbed the $^{14}CO_2$. As the $^{14}CO_2$ was used in the dark reactions, it became incorporated into the molecules of the reactants. Such radioactive compounds are said to be labeled.

In order to determine the sequence of the chemical steps occurring in the dark reactions, Calvin had to isolate the products at different points in the photosynthetic pathway. To do this, he built a device that enabled him to expose *Chlorella* to $^{14}CO_2$ for a set period of time and then kill the cells by

called CO_2 fixation. An enzyme in the stroma called RuBP carboxylase catalyzes this fixation reaction. RuBP carboxylase makes up about 25 percent of the total protein in the chloroplast and is the most abundant protein on earth. The addition of CO_2 to RuBP forms an unstable six-carbon sugar molecule that immediately splits into two molecules of phosphoglyceric acid, or PGA, a three-carbon molecule. Thus the fixation of one molecule of CO_2 by RuBP results in the production of two molecules of PGA.

2. PGAL is formed through the following two-step process: First, a PGA molecule binds with a phosphate group supplied by ATP:

$$PGA + A\text{–}P\sim P\sim P \longrightarrow PGA\sim P + A\text{–}P\sim P$$

Then the molecule reacts with hydrogen from NADPH + H^+, breaking the phosphate bond and forming the three-carbon molecule PGAL:

$$PGA\sim P + NADPH + H^+ \longrightarrow PGAL + NADP^+ + P$$

3. Some of the PGAL is used to make glucose. Two PGAL molecules combine to form a molecule of glucose ($C_6H_{12}O_6$).

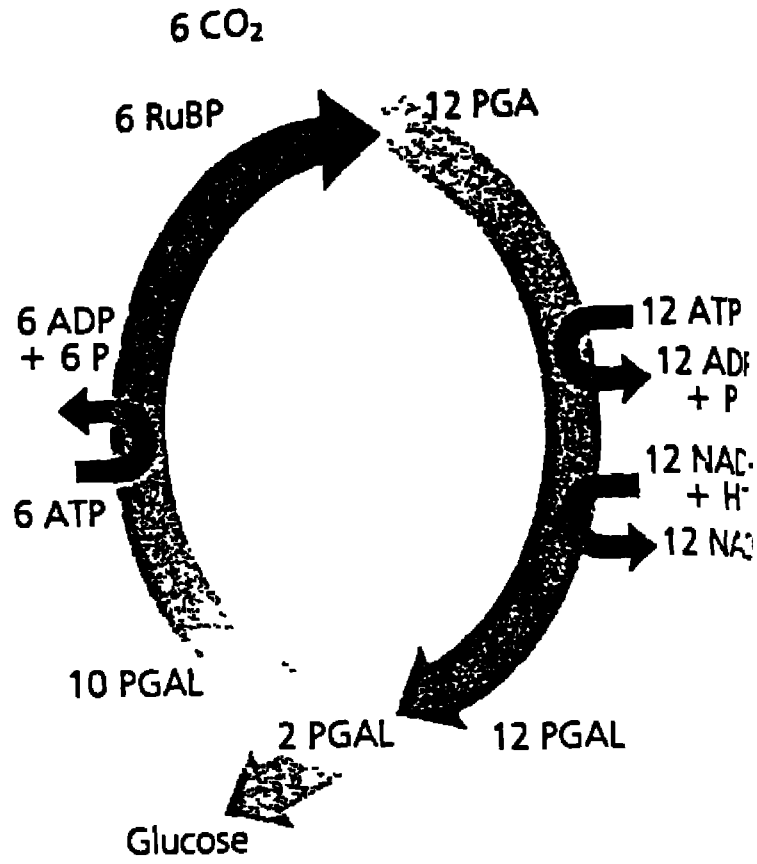


Figure 7-10 Glucose is formed in most autotrophs through a process called the Calvin cycle.



dropping them into boiling methanol The alcohol also inactivated the enzymes that catalyze parts of the photosynthetic reactions

By varying the time between exposure and killing of the cells Calvin obtained photosynthetic products from different points in the sequence. After a short time only a few compounds were labeled. After a longer time many compounds were labeled.

Calvin then isolated the photosynthetic compounds by using paper chromatography. Once the products were isolated, the sequence in which they occurred could be determined. Calvin reasoned that the compounds that were labeled in the shortest time period were the first compounds in the cycle to have incorporated $^{14}CO_2$. Compounds that appeared after a longer time were formed later in the sequence. In this way Calvin recreated the steps of the dark reactions.

The cycle discovered by this technique was renamed the Calvin cycle. In 1961 Calvin was awarded a Nobel Prize for his research.

■ Why did Calvin plunge the algal cells into methanol immediately after exposing the cells to radioactive CO_2?

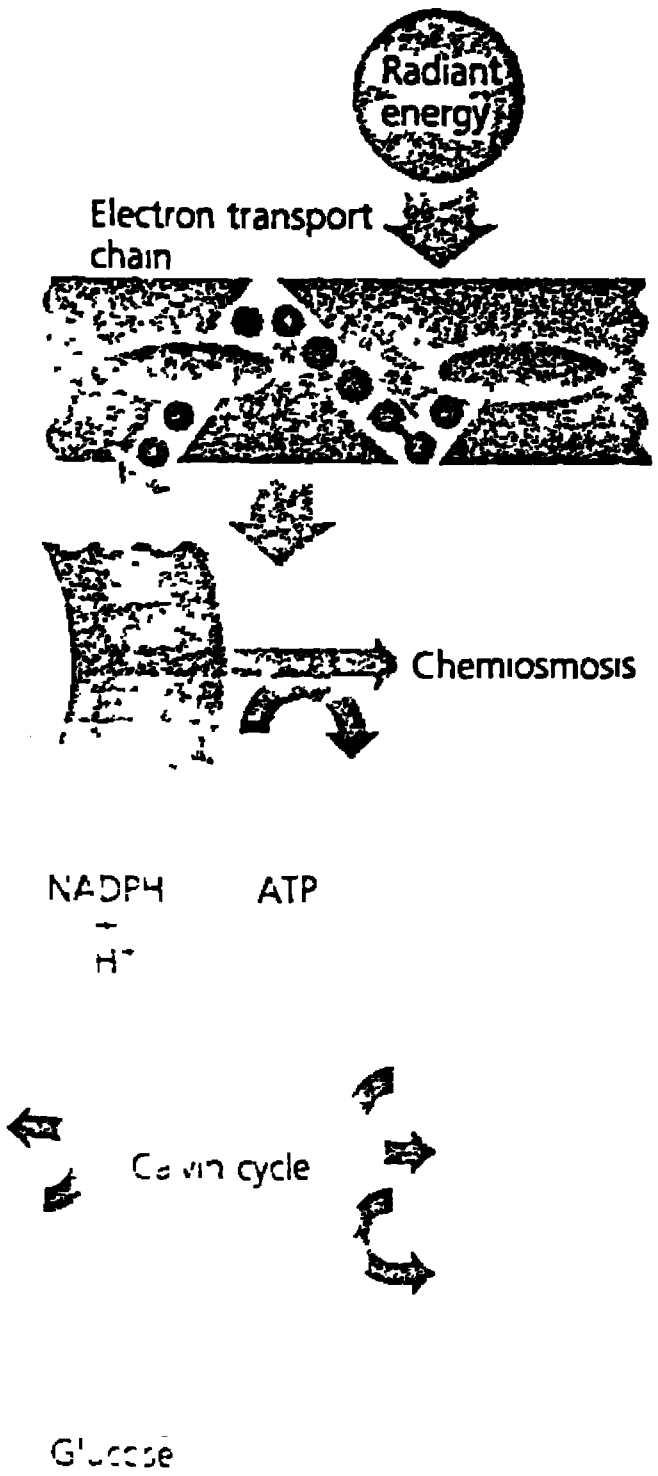


Figure 7-11 This illustration summarizes the process of photosynthesis: from light energy to glucose formation.

4. Most of the PGAL is used to regenerate more RuBP, using energy supplied by ATP. The RuBP is needed to continue the cycle. Therefore, six turns of the cycle are required to produce one molecule of glucose.

Products

Glucose is the product of the dark reactions of photosynthesis. It is an energy-storage molecule and is either used quickly by plants for doing work or stored as starch. Look at Figure 7-11, which summarizes photosynthesis.

C_4 and CAM Pathways

The Calvin cycle is the most common method of fixing carbon. Two other pathways are C_4 and CAM photosynthesis. These pathways have adaptive value to the plants that use them

Plants such as corn and crabgrass that are adapted to hot, dry climates use the C_4 pathway. In C_4 photosynthesis, a molecule of CO_2 binds, in a special leaf cell, to a three-carbon compound rather than to the five-carbon RuBP. This fixation results in a four-carbon compound. The compound is then transported to an adjacent cell. When released inside the cell, the CO_2 is trapped Here it is fixed by RuBP and travels through the Calvin cycle.

The advantage of C_4 photosynthesis is that C_4 plants make efficient use of CO_2 by fixing carbon up to four times as fast as C_3 plants do. This allows them to grow in higher temperatures and at much faster rates than C_3 plants can. Although C_4 photosynthesis requires more energy than C_3 photosynthesis, C_4 plants grow in abundant light where the extra energy is readily available.

Cactuses and other plants adapted to dry habitats have crassulacean acid metabolism, or CAM. In CAM photosynthesis the plant absorbs CO_2 at night and fixes it in the form of a four-carbon compound. During the day CO_2 is released and refixed by RuBP. It then enters the Calvin cycle. Whereas in C_4 plants carbon fixation and the Calvin cycle occur in different parts of the leaves, in CAM plants these processes occur at different times of the day.

How does CAM photosynthesis help plants survive? Plant pores called **stomata** *(STOE-muh-tuh)* regulate the movement of CO_2 and water vapor in and out of leaves. For carbon fixation to occur the stomata must be open. However, plants lose water when their stomata are open. Since heat and sunlight increase water loss, plants lose less water by opening their stomata only at night.

Section Review

1. What is *CAM?*
2. What are the reactants in and products of photosynthesis?
3. What two types of chlorophyll are most common?
4. Must the dark reactions take place in the dark? Explain.
5. What is the adaptive significance of the shape and arrangement of thylakoid membranes?

Respiration

Autotrophs produce their own food, and heterotrophs eat plants or other heterotrophs. Before food can be used to perform work, however, its energy must be released. We'll now examine the energy-releasing process called respiration.

Two main types of respiration exist in living things. Both begin with **glycolysis** *(glie-KAHL-uh-suss)*, a process by which one glucose molecule is broken down into two pyruvic acid molecules. In one kind of respiration, pyruvic acid is then broken down without the use of oxygen by a process called **fermentation.** The second kind of respiration, called **aerobic** *(AR-OE-bick)* **respiration,** occurs when pyruvic acid is metabolized using oxygen.

Figure 7-12 shows a simplified version of the biochemical pathways involved in respiration. As you read further, compare these pathways with those of photosynthesis.

Section Objectives

- *Distinguish between fermentation and aerobic respiration.*
- *Name the end products of glycolysis.*
- *Describe the process of fermentation.*
- *List the major events of aerobic respiration.*

Glycolysis

Glycolysis occurs in the cytoplasm. It does not require oxygen. Each of its four stages is catalyzed by a specific enzyme.

1. Glucose is a stable energy-storage molecule. For its energy to be released, the glucose must be converted into a reactive compound. This conversion occurs through the phosphorylation of a molecule of glucose by two molecules of ATP.
2. The six-carbon product of glucose phosphorylation, called glucose-6-phosphate, ultimately breaks into two three-carbon molecules of PGAL.

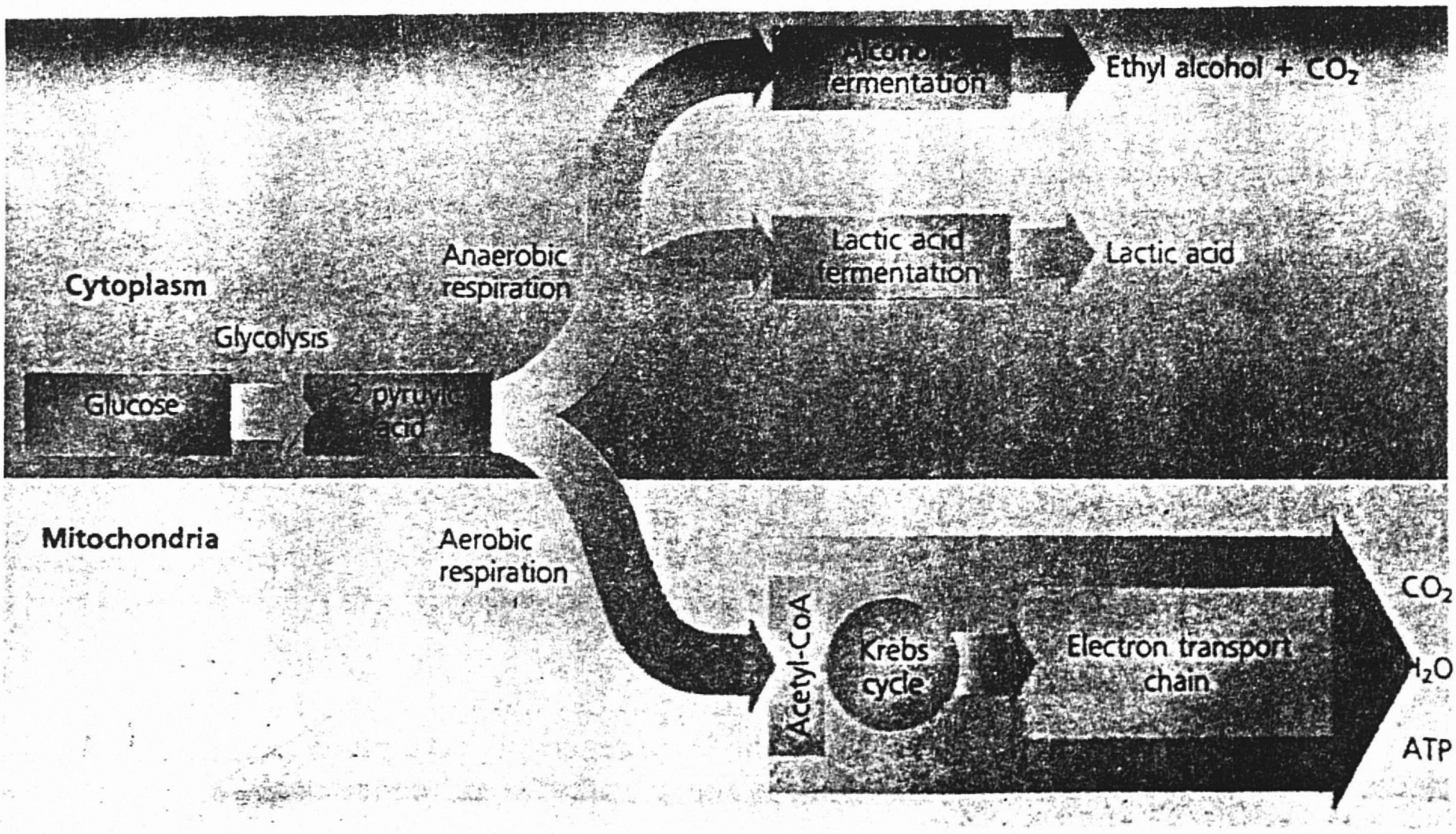


Figure 7-12 The glucose formed during photosynthesis is broken down within heterotrophs and autotrophs through the process of respiration.

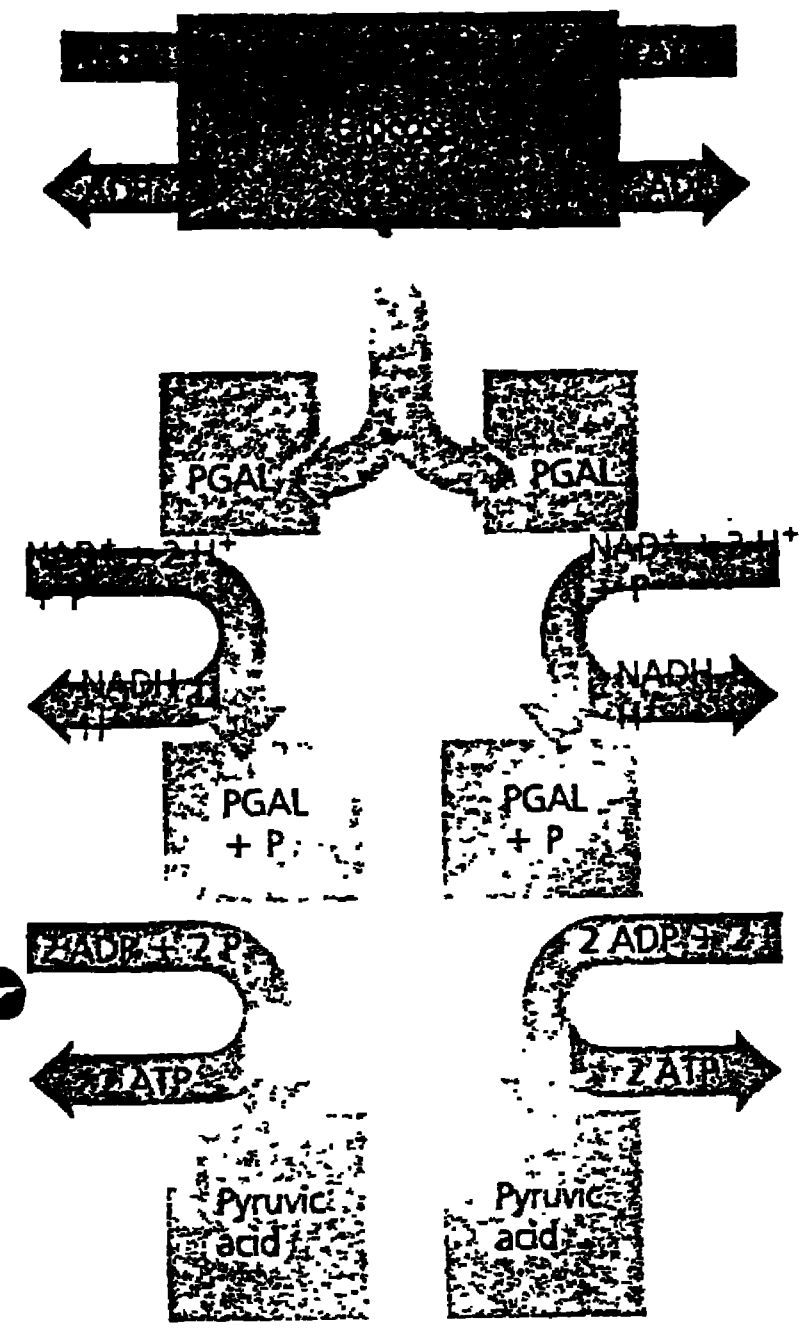


Figure 7-13 During glycolysis, the first phase in anaerobic and aerobic respiration, one glucose molecule produces four ATP molecules.

3. A phosphate group is added to each PGAL molecule and hydrogen atoms are removed. The hydrogen is picked up by a molecule called NAD^+. Since there are two PGAL molecules, two molecules of NADH + H^+ are formed.
4. As the phosphate bonds formed in stage 3 are broken, ATP is generated. Two ATP molecules are generated as each of the original PGAL molecules is converted to pyruvic acid. Therefore, a total of four ATP molecules are produced in the fourth stage of glycolysis.

Briefly review the results of glycolysis, illustrated in Figure 7-13. One glucose molecule is broken down into two pyruvic acid molecules. The reaction series produces two molecules of NADH + H^+ and four molecules of ATP. Since two of the ATP molecules are used to initiate glycolysis, there is a net gain of two molecules of ATP. These two molecules represent only 2 percent of the total energy contained in a molecule of glucose.

Fermentation

Fermentation is the breakdown of pyruvic acid without the use of oxygen. Some scientists refer to the combined processes of glycolysis and fermentation as **anaerobic** *(AN-uh-ROE-bick)* **respiration.** The metabolism of pyruvic acid during fermentation does not produce any ATP. What, then, is the function of fermentation? Recall that NAD^+ is needed for glycolysis to proceed. However, when pyruvic acid is formed, NAD^+ is used to form NADH + H^+. The function of fermentation is to break down pyruvic acid and regenerate NAD^+ for reuse in glycolysis, where ATP is formed. Fermentation occurs in two forms: lactic acid fermentation and alcoholic fermentation.

Lactic Acid Fermentation

Lactic acid fermentation occurs in animal cells and in some unicellular organisms when O_2 is in short supply. Lactic acid forms when pyruvic acid accepts hydrogen from NADH + H^+:

$$\text{Pyruvic acid} + \text{NADH} + H^+ \longrightarrow \text{lactic acid} + NAD^+$$

As O_2 is consumed in aerobic respiration, oxygen becomes scarce. When no oxygen is available, NAD^+ + H^+ donates its hydrogen atoms to pyruvic acid, and lactic acid soon accumulates in tissues.

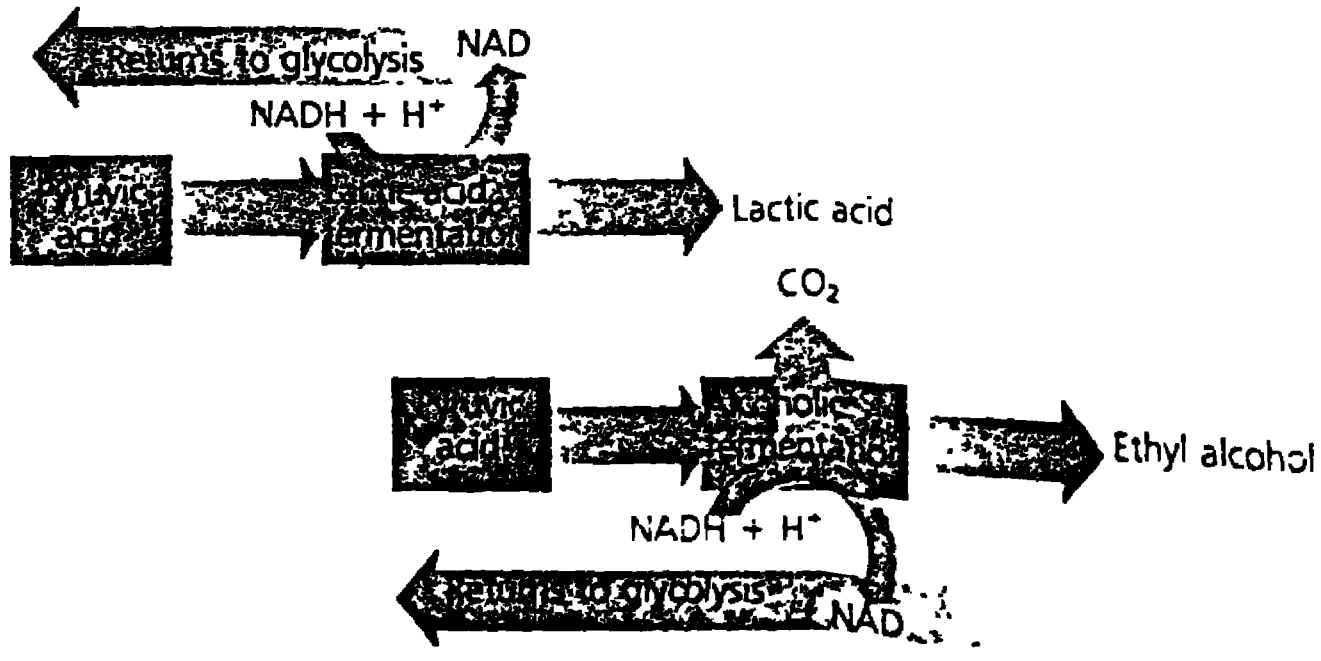


Figure 7-14 Fermentation frees NAD^+ molecules so that glycolysis can continue within a cell.

Lactic acid makes muscles feel tired and sore—you've probably experienced muscle fatigue after strenuous exercise. Lactic acid is transported to the liver where it is converted to glucose.

Alcoholic Fermentation

Alcoholic fermentation is a process that occurs in some plant cells and some unicellular organisms, such as yeasts. In alcoholic fermentation pyruvic acid is converted to ethyl alcohol:

$$\text{Pyruvic acid} + NADH + H^+ \longrightarrow \text{ethyl alcohol} + CO_2 + NAD^+$$

Just as lactic acid accumulates during lactic acid fermentation, ethyl alcohol accumulates during alcoholic fermentation. The alcohol in wine and beer is produced by fermentation carried out by some microorganisms.

Lactic acid and alcoholic fermentation do not supply cells with any additional ATP molecules. Most of the energy remains in the fermentation products, lactic acid or ethyl alcohol.

Aerobic Respiration

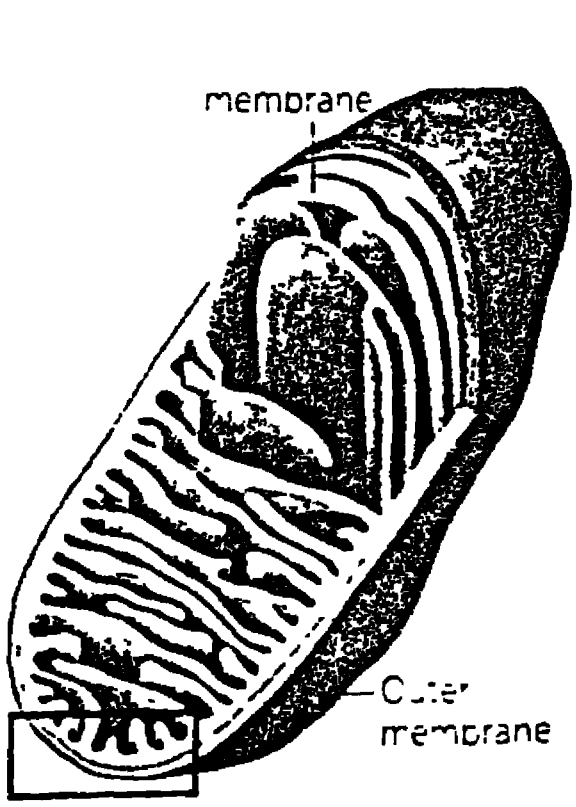
The result of glycolysis and aerobic respiration is shown by the reaction:

$$C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 \longrightarrow 6\,H_2O + 6\,CO_2 + 38\ ATP$$

Most organisms carry on aerobic respiration, which releases a great deal more energy from a glucose molecule than anaerobic respiration does. Glycolysis occurs in the cytoplasm, but aerobic respiration occurs in mitochondria. As you will recall from Chapter 5, the mitochondrion has an outer and an inner membrane. Look at Figure 7-15. The enzymes associated with the series of reactions known as the Krebs cycle occur on the inner membrane and in the matrix, the dense solution enclosed by the inner membrane. The inner membrane, like the thylakoid membrane in a chloroplast, also contains the molecules of an electron transport chain and the ATP synthetase enzymes.

Think

Bread rises as a result of yeast fermentation. How might fermentation cause the bread to rise? Why is sugar often added to the bread dough?



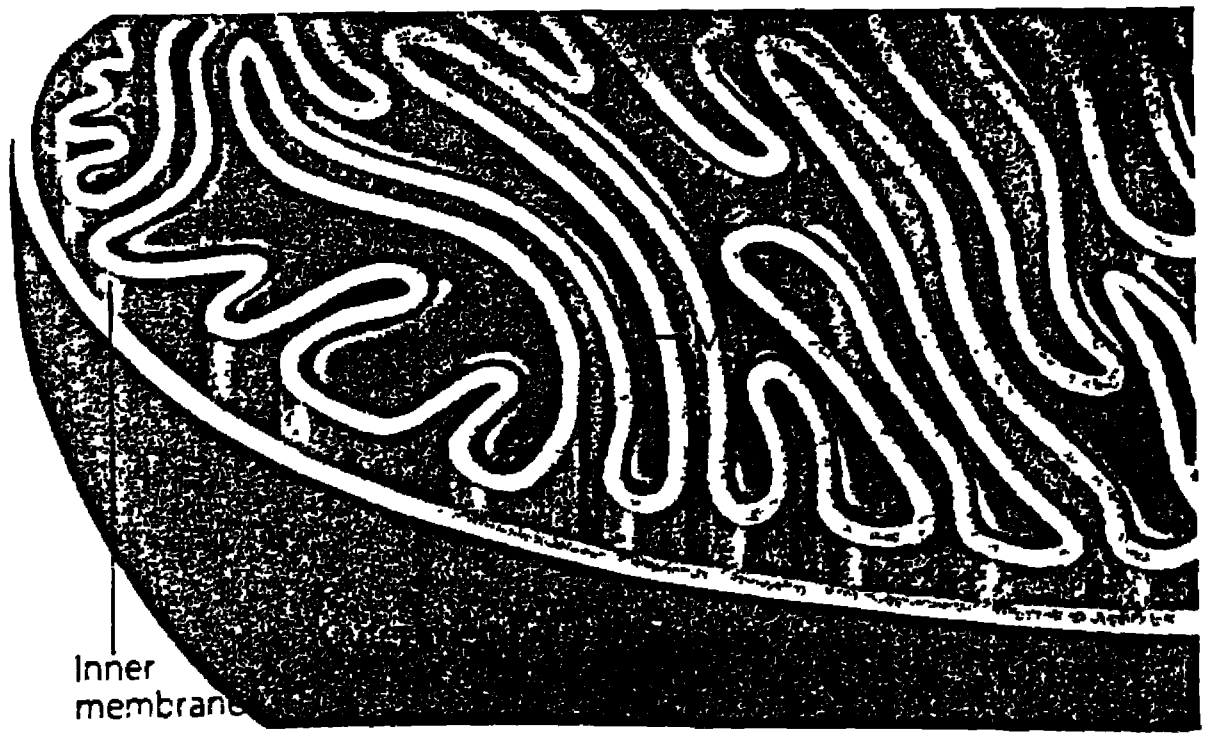


Figure 7-15 Mitochondria, such as the one shown at the left, are the site of aerobic respiration. The Krebs cycle occurs in the inner membrane.

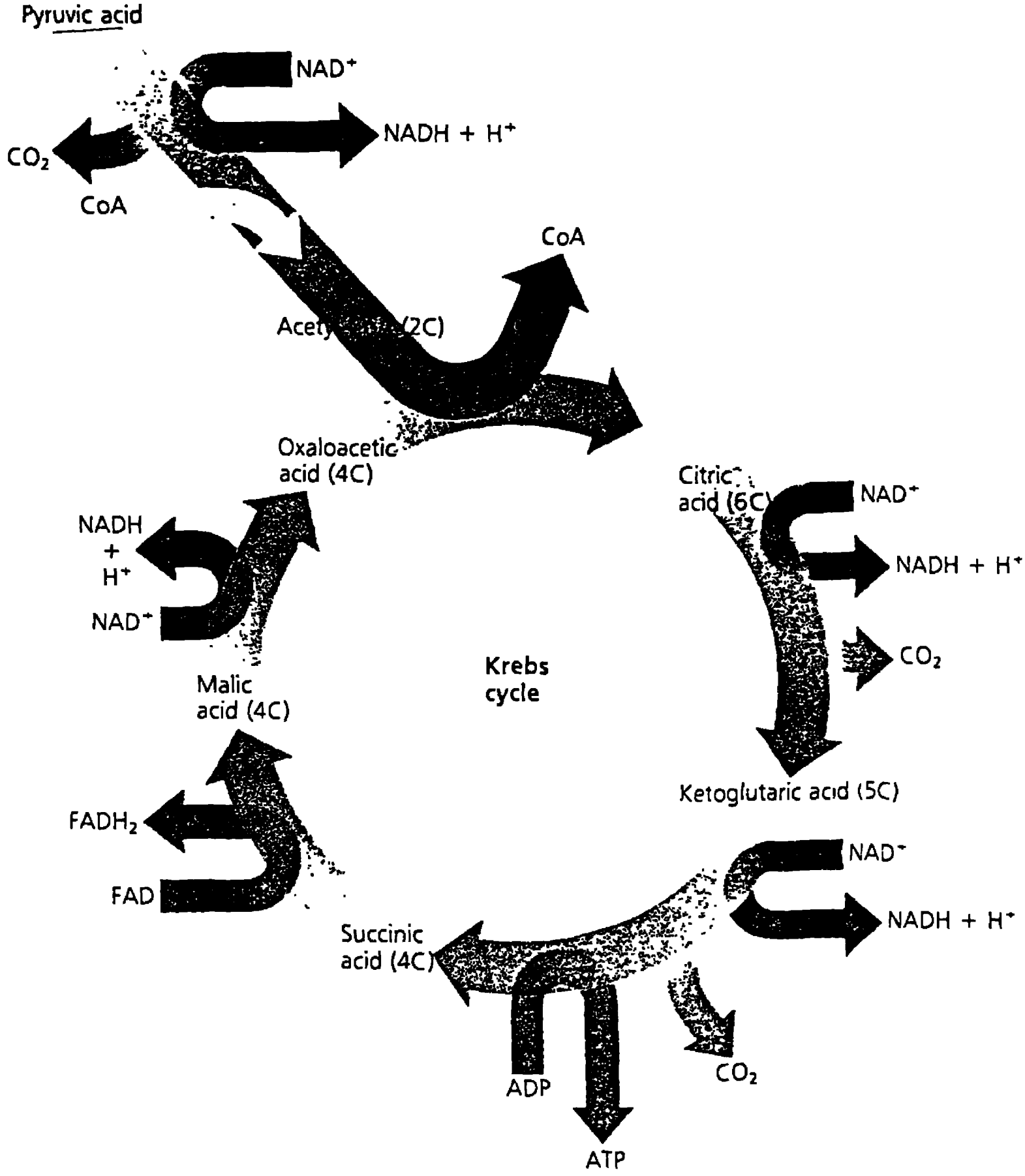


Figure 7-16 Study this illustration of the Krebs cycle to understand how the chemical energy in pyruvic acid is converted to the chemical energy in ATP.

In the first step of aerobic respiration pyruvic acid is converted to a molecule called acetyl-CoA. In a series of reactions a three-carbon pyruvic acid molecule first loses CO_2 and becomes a two-carbon acetyl group. Study Figure 7-16, which illustrates the reactions. This acetyl group combines with coenzyme A, abbreviated CoA, forming acetyl-CoA. During this transformation pyruvic acid loses hydrogen. This happens when NAD^+ accepts the hydrogen, and a molecule of $NADH + H^+$ forms:

$$\text{Pyruvic acid} + \text{CoA} + NAD^+ \longrightarrow \text{acetyl-CoA} + CO_2 + NADH + H^+$$

Acetyl-CoA now enters a biochemical pathway called the Krebs cycle. Remember that each molecule of glucose produces two molecules of pyruvic acid. Therefore, for each molecule of glucose, two molecules of acetyl-CoA enter the Krebs cycle.

The Krebs Cycle

The Krebs cycle is the central biochemical pathway of aerobic respiration. It is named after its discoverer, Sir Hans Krebs (1900–1981). Because citric acid is formed in the process, it is also known as the citric acid cycle. It begins when the two-carbon molecule acetyl-CoA combines with a four-carbon molecule to form the six-carbon molecule citric acid. Two carbon atoms are removed and form two CO_2 molecules, which are released from the cell. A four-carbon compound then combines with another acetyl-CoA molecule to start the cycle again.

The citric acid is immediately oxidized by enzymes in the mitochondria. Two carbon atoms are removed in the form of CO_2, and eight hydrogen atoms are released. These hydrogen atoms are picked up by two molecules—NAD^+ and a related molecule called FAD. Thus for each molecule of acetyl-CoA the cycle produces three molecules of $NADH + H^+$, one molecule of $FADH_2$, and one molecule of ATP. Since one molecule of glucose produces two molecules of pyruvic acid, each of which in turn becomes a molecule of acetyl-CoA, the breakdown of one molecule of glucose via the Krebs cycle produces six $NADH + H^+$, two $FADH_2$, and two ATP molecules.

Electron Transport Chain

Glycolysis, the conversion of pyruvic acid to acetyl-CoA, and the Krebs cycle complete the breakdown of glucose. Up to this point, 4 new ATP molecules have been made. As you can see in Figures 7-13 and 7-16, 12 carrier molecules—10 $NADH + H^+$ and 2 $FADH_2$—have been produced. These molecules carry electrons to an electron transport chain, where additional ATP is produced.

You already know how an electron transport chain works. Here the series of electron transport molecules is located in the inner membrane of the mitochondria. Figure 7-17 shows how electrons move down an electron transport chain, with oxygen as the final acceptor. Water is formed in the process.

As in the light reactions, ATP is generated by chemiosmosis. As electrons move down the energy gradient in the inner membrane of the mitochondrion, hydrogen ions are pumped across the membrane into the mitochondrial matrix. An electrochemical gradient forms, and hydrogen ions diffuse through channels that contain ATP synthetase. The energy generated by the movement of hydrogen ions is used by ATP synthetase to make ATP.

Let us review how many molecules of ATP are produced. Ten $NADH + H^+$ and 2 $FADH_2$ molecules are produced by aerobic respiration. Each molecule of $NADH + H^+$ yields 3 molecules of ATP. $FADH_2$ yields 2 molecules of ATP. Thus, the electron transport chain yields a maximum of 34 molecules of ATP:

$$10\ NADH + H^+ = 30\ ATP$$
$$2\ FADH_2 = 4\ ATP$$

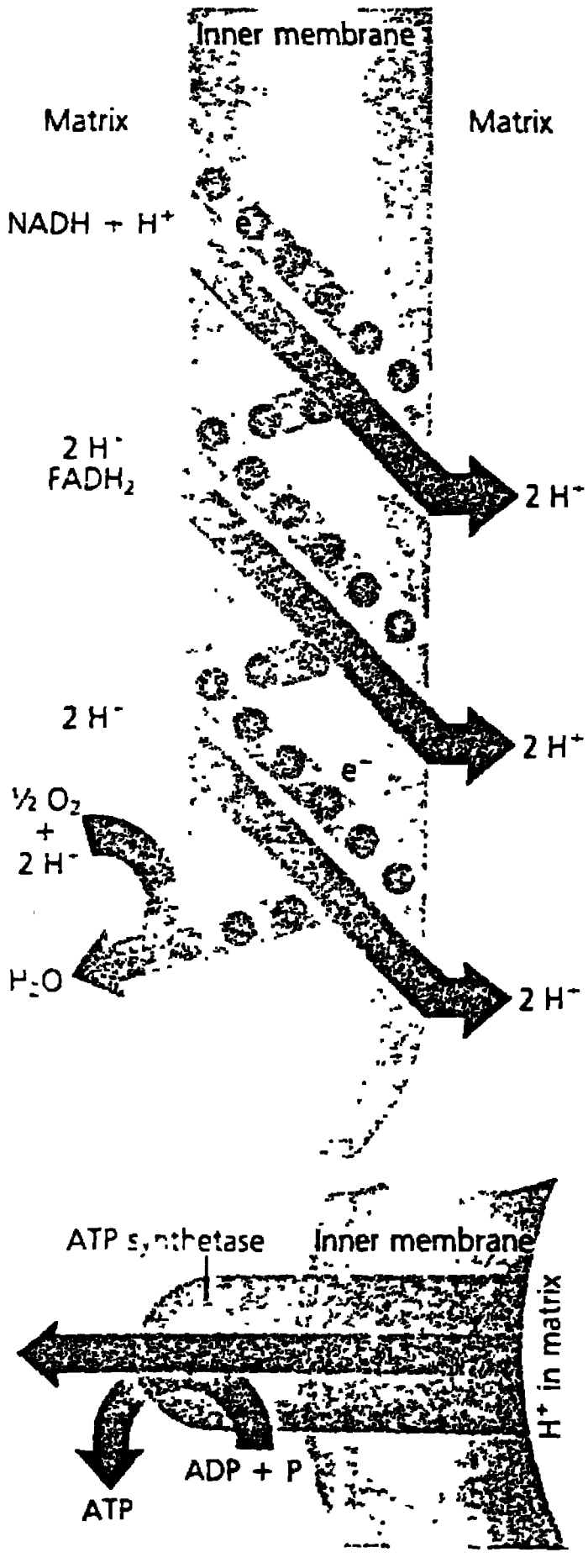


Figure 7-17 The electron transport chain during aerobic respiration operates along the inner membrane of mitochondria.

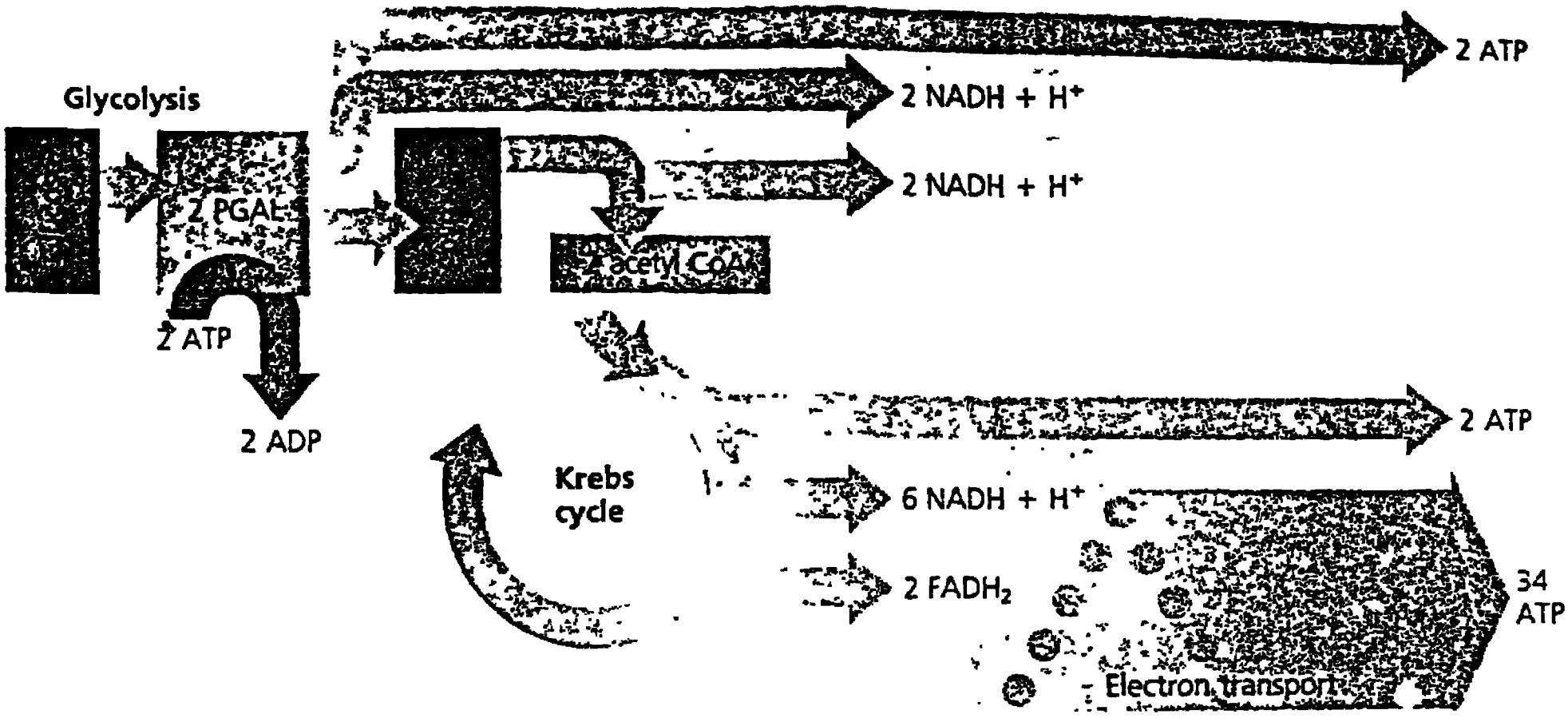


Figure 7-18 A single molecule of glucose can yield up to 38 ATP molecules, 34 generated by the electron transport chain and 2 each by glycolysis and the Krebs cycle.

Table 7-1 Summary of ATP Yield from Aerobic Respiration

Glycolysis	2 ATP
Krebs cycle	2 ATP
Electron transport	34 ATP
	38 ATP

Why is O_2 so important in aerobic respiration? At the end of the electron transport chain, O_2 is the final hydrogen acceptor. Water forms in the process:

$$\frac{1}{2}\,O_2 + 2\,H^+ \longrightarrow H_2O$$

Energy Yield

What is the maximum number of ATP molecules produced in the aerobic breakdown of glucose? Remember that the Krebs cycle and glycolysis yield two ATP molecules each, and the electron transport chain generates up to 34 ATP molecules. Thus, aerobic respiration produces a maximum of 38 ATP molecules.

The actual number of ATP molecules produced may vary for several reasons. For example, in brain tissue the electron transport chain yields 32 ATP molecules, for a maximum of 36 ATP molecules. In addition, some H^+ in chemiosmosis may leak through the membrane, or be used for other purposes, thus lowering the ATP yield.

Aerobic respiration is generally 19 times more efficient than anaerobic respiration. Nevertheless, the ATP produced represents only about one-half the total energy stored in a molecule of glucose. The remaining energy is unavailable for use by organisms. However, the conversion of glucose to ATP provides the cell with enough energy for cellular activities.

Section Review

1. What do the terms *anaerobic respiration* and *aerobic respiration* mean?
2. Why is NAD^+ called a hydrogen acceptor?
3. What is the relation between the sore muscles that result from strenuous exercise and lactic acid fermentation?
4. With what product does the Krebs cycle begin and end?
5. In ancient times the earth's atmosphere contained no oxygen gas. What form of respiration, do you think, was used by the earliest forms of life? Explain your answer.

Plant Structure and Function

Introduction

Plants have adapted to a vast range of environments over the course of their evolution. Most plants begin life by sending down roots and sending up shoots. As plants grow, their cells become specialized for various functions. The tissues made up of these specialized cells are arranged differently in different groups of plants. Such variations directly reflect the forces of natural selection that still operate where the plants live.

Chapter Outline

26.1 Plant Tissues
- *Tissue Systems*
- *Meristems*

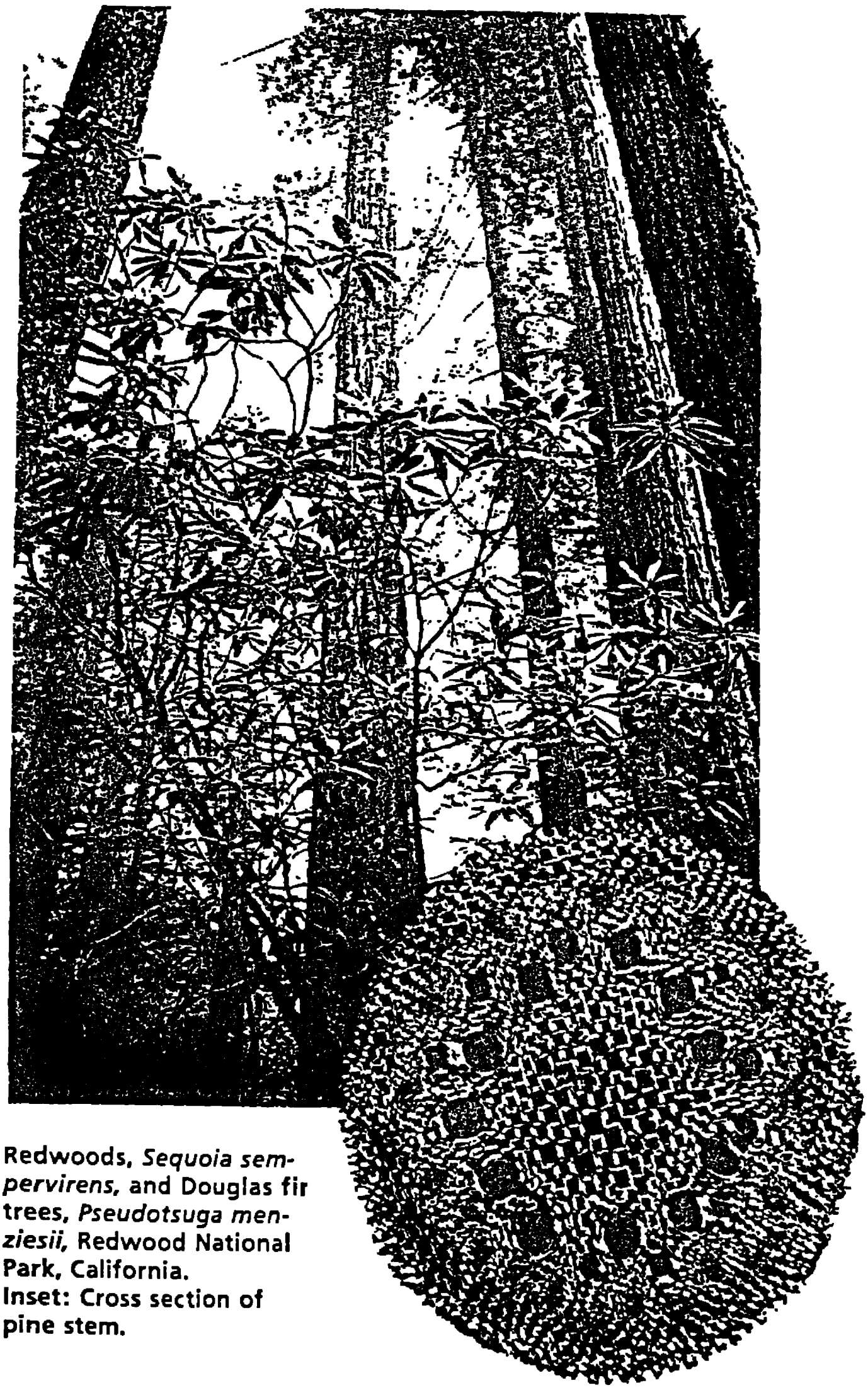
26.2 Roots
- *Root Structure*
- *The Function of Roots*

26.3 Stems
- *Stem Structure*
- *The Function of Stems*

26.4 Leaves
- *Leaf Structure*
- *The Function of Leaves*

Chapter Concept

As you read, look for ways in which plant tissue arrangements reflect adaptations to various environmental conditions.



Redwoods, *Sequoia sempervirens*, and Douglas fir trees, *Pseudotsuga menziesii*, Redwood National Park, California.
Inset: Cross section of pine stem.

Plant Tissues

Like all organisms plants are composed of cells. Groups of cells that perform a common function make up a **tissue.** Tissues are arranged into tissue systems. Three types of tissue systems are found in plants: ground system, dermal system, and vascular system. These systems are then organized into one of the three plant organs: **roots, stems,** and **leaves.** All of these levels of organization reflect adaptations to the environment.

Tissue Systems

The **ground system** is made up of three kinds of tissue. **Parenchyma** *(puh-REN-kuh-muh)* is living tissue that consists of large, loosely packed, roughly cube-shaped cells with thin cell walls. Parenchyma cells are involved in many functions, including photosynthesis, food storage, and wound healing. In plants that are not woody, they make up over 80 percent of the cells. **Collenchyma** *(koe-LEN-kuh-muh)* is living tissue made up of elongated cells with unevenly thickened, flexible walls. Collenchyma cells are specialized for supporting growing regions of the plant. **Sclerenchyma** *(skluh-REN-kuh-muh)* tissue, which at maturity is made up of the walls of dead cells, supports and strengthens the plant. Sclerenchyma will not stretch and thus is found primarily in regions that have ceased growing. Some sclerenchyma cells are long and thin and are called **fibers.**

Ground tissues are modified for adaptive advantage. Cactuses, for example, have large amounts of parenchyma tissue, which store water in dry environments. Herbs that must be flexible to withstand wind possess a lot of collenchyma tissue. Sclerenchyma tissue is found in plant parts in which hardness is an advantage, such as the shells of nuts or the spines of cactuses.

The **vascular system** includes xylem and phloem tissues. Xylem conducts water and minerals. Phloem conducts food. In angiosperms xylem tissue is made up of the walls of dead cells. In angiosperms xylem has two components—tracheids and vessel elements. Look at Figure 26-1. A **tracheid** *(TRAY-kee-id)* is a long, thick wall with tapering ends. Water moves from tracheid to tracheid through pits, which are thin, porous areas of the wall. A **vessel element** is a wall that has slanting ends with holes through which water can pass. Vessel elements are arranged end to end, thus forming long, hollow tubes called vessels. Gymnosperm xylem contains only tracheids.

Unlike xylem, phloem tissue is alive at maturity. The conducting cell of angiosperm phloem is called a **sieve tube member.** Sieve tube members are stacked end to end in a long tube called a sieve tube. Compounds move from cell to cell through regions at the ends of the sieve tube members called **sieve plates.** Each sieve tube member lies next to a specialized neighboring **companion**

Section Objectives

- *Describe the three plant tissue systems and the kinds of cells that occur in each.*
- *Describe the two main types of meristem tissue.*
- *Differentiate between primary and secondary growth.*

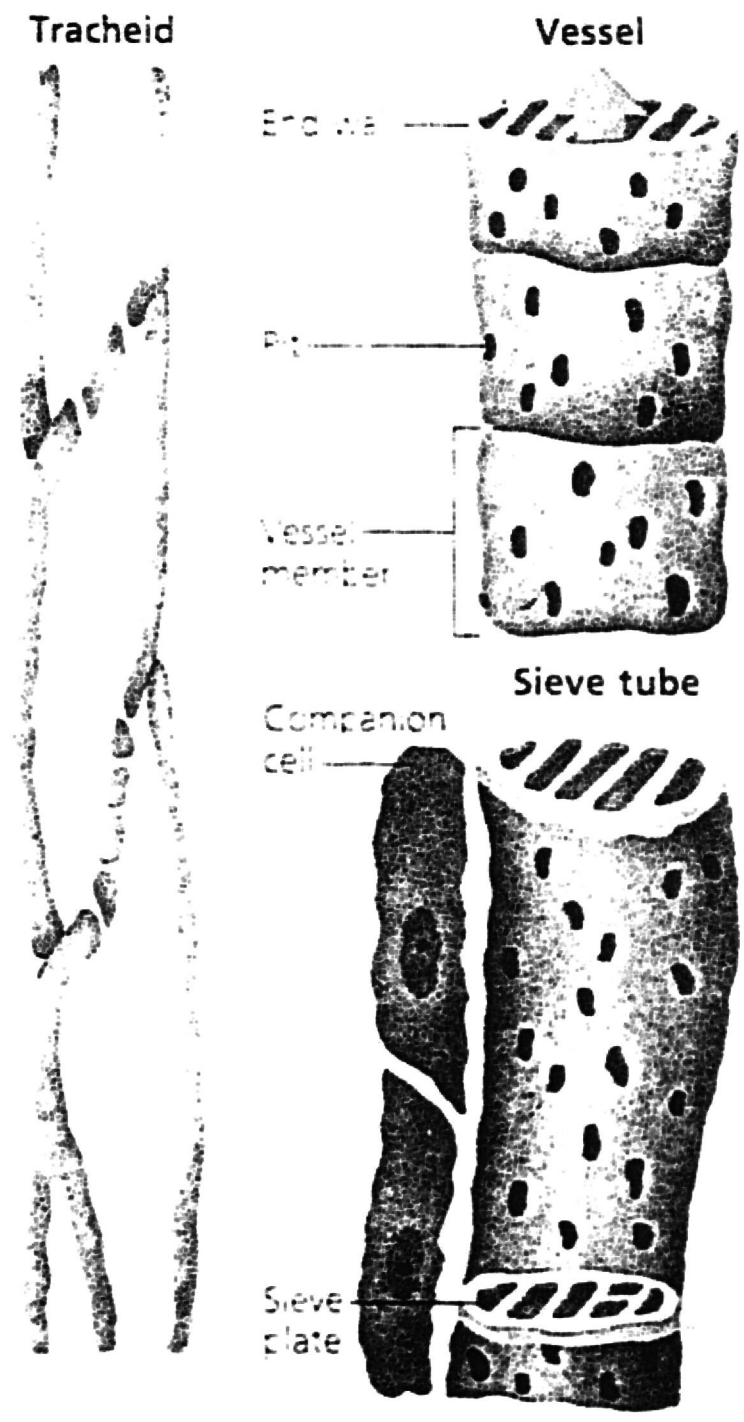


Figure 26-1 Water is conducted in angiosperms through tracheids and vessels. Food is conducted through sieve tubes, which are accompanied by companion cells.

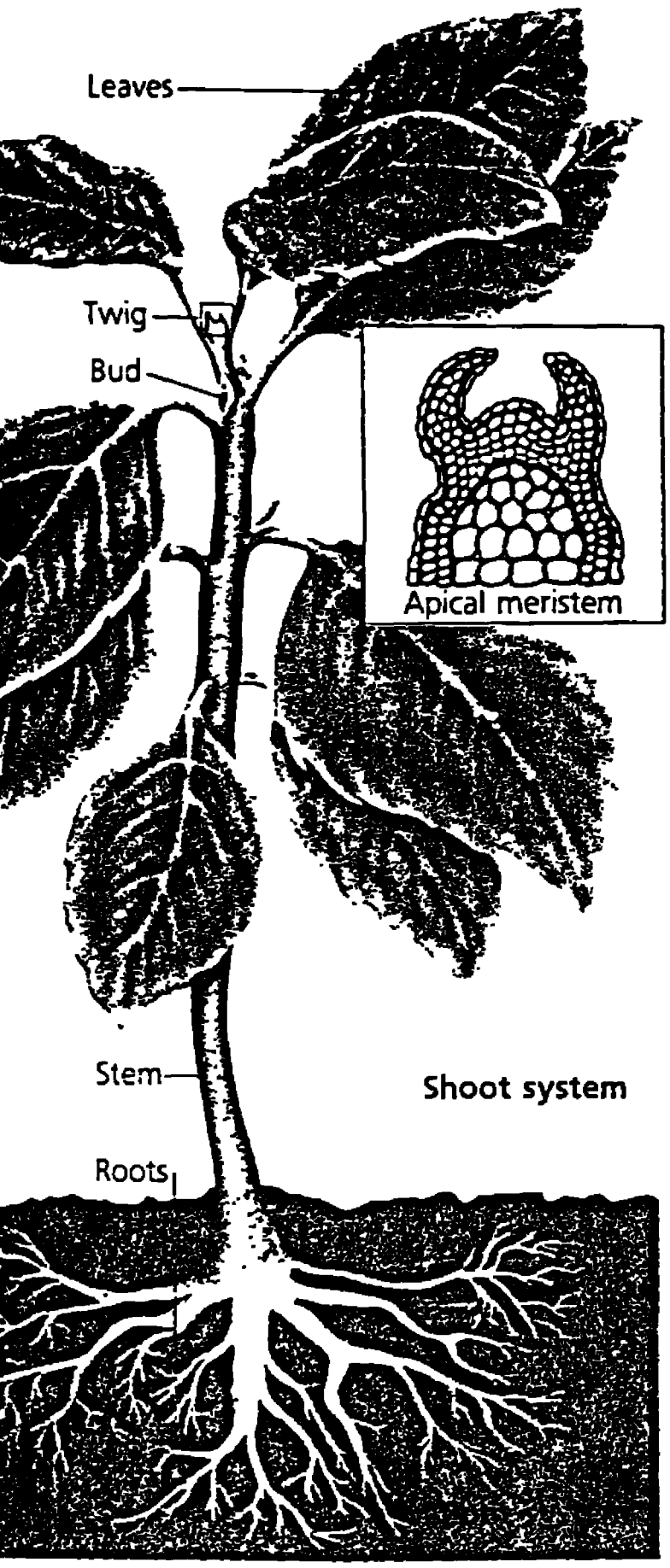


Figure 26-2 Apical meristems, the growing points of plants, occur at the tips of stems and roots. Nodes are the points at which leaves are attached. Internodes are areas between nodes.

cell. Botanists suggest that companion cells help control the movement of sugars through sieve tubes.

Like ground tissue vascular tissue is modified for adaptive advantage. For example, xylem forms the wood of trees, providing strength while conducting water. In aquatic plants such as duckweeds xylem is not used for either support or water conduction and may be nearly absent from the mature plant.

The **dermal tissue system** forms the outside covering of plants. The dermal tissue is composed of the **epidermis** *(EP-uh-DER-muss)*, the outer layer of cells, which is covered with a waxy cuticle. The epidermis functions to protect the plant, reduce water loss, and aid in gas exchange. Openings in the epidermis are called **stomata** *(STOE-muh-tuh)*. Stomata are structures that regulate the passage of gases into and out of the plant. In mature stems and roots the protective epidermis is eventually replaced by cork, another dermal tissue. Cork cells are packed closely together and their walls contain a protective fatty substance called suberin.

Dermal tissue is also modified in various plants. For example, plants in dry environments have stomata that are sunk deep in the epidermis, preventing water loss. Stomata, usually found on the lower sides of leaves, are found on the upper side in water lilies, allowing free passages of gases to and from the air.

Meristems

Plants possess **meristems** *(MER-ih-stemz)*, growing regions where cells divide. Plants grow in length by **apical** *(AY-pih-kul)* **meristems** at the tips of stems and roots. Look at Figure 26-2.

Plants also have **lateral meristems**, which grow and increase their circumference. One is the **vascular cambium**, which produces additional vascular tissues. Another is the **cork cambium**, which produces cork. The tissues produced by apical meristems are called **primary growth** tissues. Those produced by the lateral meristems are called **secondary growth** tissues.

Adaptations occur in meristems and their growth patterns. Annual plants are adapted for rapid growth and reproduction. They do not have a vascular cambium, so their tissues remain nonwoody. They are called **herbaceous plants**. Trees are perennial plants, which are adapted for growth year after year. They develop much secondary xylem. They are called **woody plants**.

Section Review

1. Look up the word *dermal* in a dictionary. Why is this an appropriate term for epidermis and cork?
2. Do monocots have cork? Explain your answer.
3. How do tracheids and vessel elements differ?
4. What kind of meristem do monocots and dicots share?
5. Would you expect to find sclerenchyma cells near meristems? Why or why not?

Roots

The tissue systems you read about previously are arranged into organs: roots, stems, and leaves. In this section you will study roots. During growth most plants develop a **primary root,** the first root to grow out of a seed. If, as the root system develops, the primary root grows downward and remains the largest root, the organ is called a **taproot.** Many plants, such as carrots, have taproots that are adapted to store food. Taproots of large trees are adapted for growing hundreds of feet down, supporting the plant while reaching water deep in the ground.

In some plants the primary root does not grow large, and numerous small roots develop and remain near the top of the soil. The resulting organ is called a **fibrous root system.** Fibrous roots spread out and anchor the plant. Many monocots, such as grasses and orchids, have fibrous root systems, which are adapted for gathering water close to the surface of the soil.

Other root systems are modified for specialized functions. The prop roots of the corn plant support the stem. Another variation of the root system occurs in mangroves, which are adapted for growing in the shifting soils of tidal areas. When the area is covered with water, no oxygen is available to the roots. Some mangrove root branches are modified for growing up into the air and absorbing oxygen when the tide recedes.

Section Objectives

- *Explain the difference between a taproot system and a fibrous root system.*
- *Distinguish between primary growth and secondary growth in roots.*
- *Describe primary root tissues.*
- *List the three principal functions of roots.*









Figure 26-3 Four plants exhibiting four types of roots are (clockwise from top left) the carrot, *Daucus carota,* (taproot), the orchid (fibrous root), corn, *Zea mays,* (prop root), and the mangrove, *Avicennia* sp., (air root).

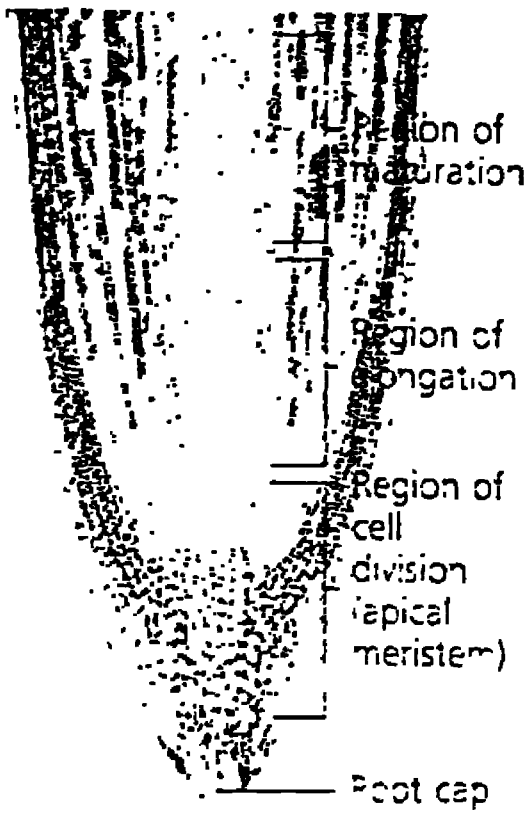


Figure 26-4 The three parts of a root tip, such as the one from a willow tree shown here, are the regions of division, elongation, and maturation (×150).

Figure 26-5 A germinating kernel of field corn, *Zea mays*, has already established primary and secondary roots complete with root hairs.



Root Structure

The root apical meristem produces cells that differentiate into ground tissue, vascular tissue, and dermal tissue. These then differentiate into cells that form the mature root.

The Root Tip

Study Figure 26-4. Notice that the root tip is organized into three parts. The apical meristem is the region of cell division. Cells formed here later grow longer in the region of elongation. Here a root increases in length. Behind this region is the region of maturation, where cells mature and differentiate.

The cells of the meristem also produce parenchyma cells that come to lie in front of the tip. These cells make up the root cap, a shield covering the apical meristem. The root cap produces a slimy substance that functions like a lubricating oil, allowing the root tip to move more easily through the soil. Cells lost from the root cap are constantly replaced by the apical meristem.

Primary Growth

Growth, elongation, and maturation in the root tip establish the three tissue systems in the root. Dermal tissue matures to form an epidermis, the outermost cylinder of the root. In young roots epidermal cells often form extensions called root hairs, which are specialized for absorbing water and minerals. The root hairs increase the surface area of the root and thus increase its ability to absorb water and nutrients.

Ground tissue matures into the cortex and the endodermis. The cortex is located just inside the epidermis, as you can see from Figure 26-6. The largest region of the young root, it is made up of loosely packed parenchyma cells. The innermost cylinder of the cortex is the endodermis, a specialized layer of cells that regulates substances entering the center of the root. Each cell of the endodermis is belted by a narrow band of suberin called the Casparian *(kass-PAR-ee-un)* strip. Substances absorbed by root hairs move freely around the walls of the loosely packed cortex cells and toward the root center. When these substances reach the endodermis, the Casparian strip blocks their passage through the intercellular spaces. Substances must therefore pass through the semipermeable cell membranes of the endodermal cells. The cell membrane of the endodermal cells thus regulates the transport of substances into the interior vascular tissues.

Vascular tissue matures to form the vascular cylinder, the innermost part of the root, which contains xylem and phloem. In most plants xylem makes up the central core of the vascular cylinder. Xylem usually has a fluted structure, as shown in Figure 26-6. Phloem lies between the xylem lobes. The outermost rings of cells in the central vascular area are called the pericycle. All lateral roots are formed from divisions of these cells. The lateral root forces its way through the cortex and emerges.

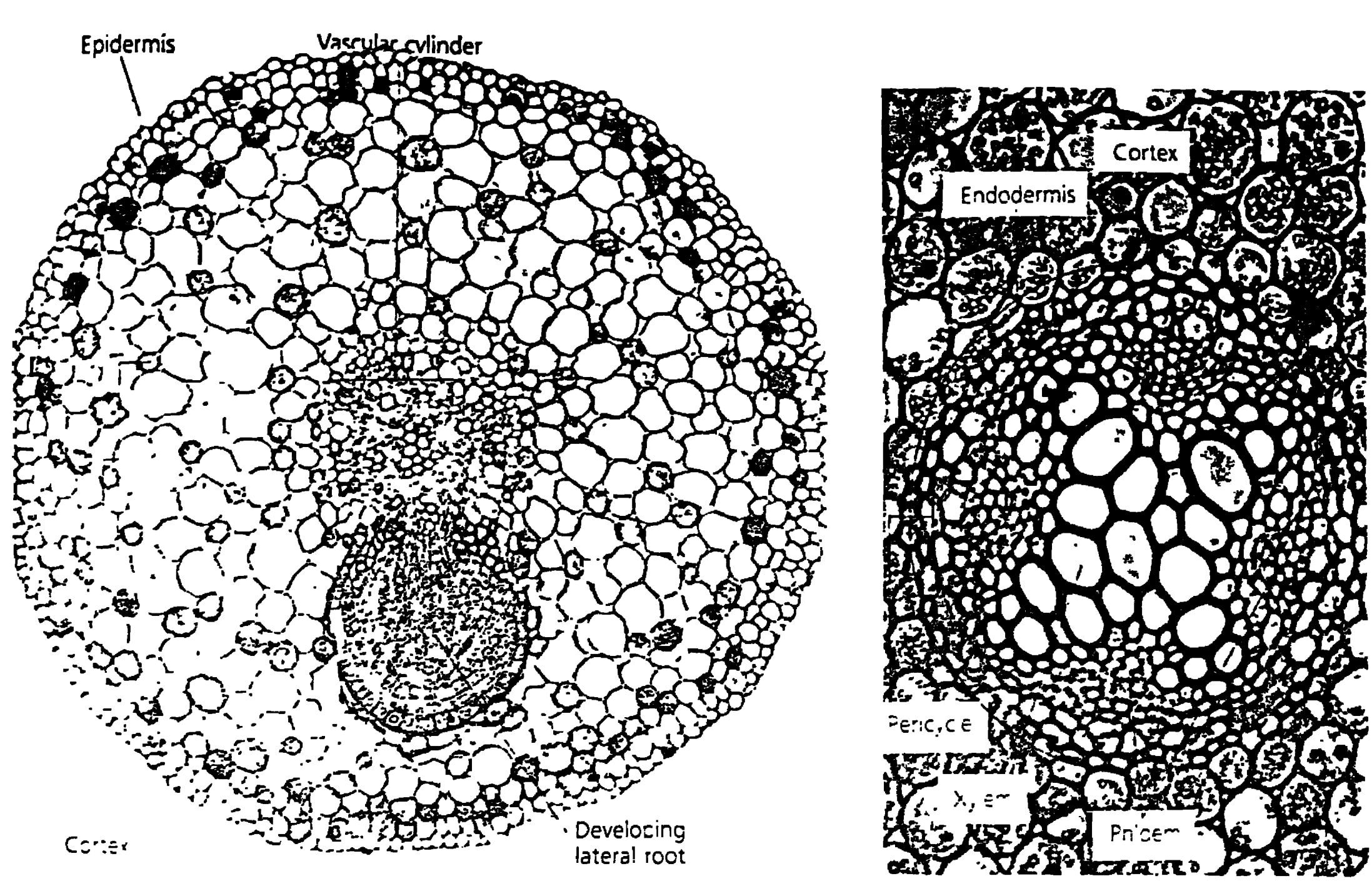


Figure 26-6 Cross section of a buttercup root, *Ranunculus* sp., (above) shows the primary vascular tissue. Lateral roots (left) develop from the pericycle.

The structure of roots is an adaptation for the function of absorbing materials from the soil. The vascular tissues are located in the center of the root, protected by cylinders of both epidermis and cortex. Lateral roots are initiated inside the root and are thus protected during their earliest growth stages. In addition the Casparian strip regulates the flow of material to the interior tissues.

Secondary Growth

Some roots have secondary growth. Secondary growth begins when a vascular cambium forms between primary xylem and primary phloem. As shown in Figure 26-7, vascular cambium produces secondary xylem toward the inside of the root and secondary phloem toward the outside. The secondary root tissues gradually crush the endodermis, cortex, and epidermis, all of which are eventually replaced by cork. Secondary growth in roots is an adaptation for strength and support of the plant stem.

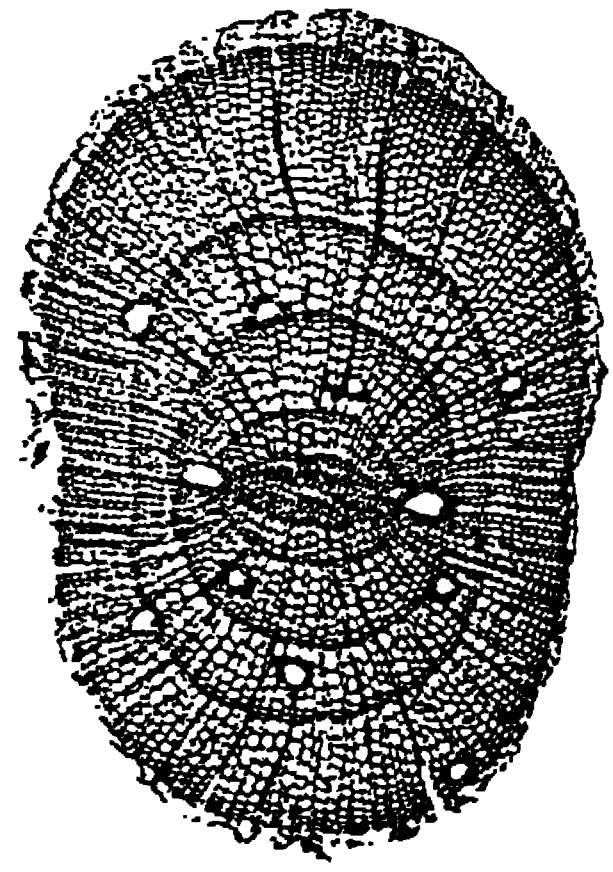


Figure 26-7 Secondary growth in a fir tree root causes the formation of woody tissue (×50).

The Function of Roots

In addition to anchoring a plant in the soil, roots serve two other primary functions. Roots absorb water and minerals, and they store food made during photosynthesis.

Absorption of Water and Inorganic Nutrients

Root hairs contain many dissolved substances such as minerals, sugars, and amino acids. Water in the soil, on the other hand, contains fewer dissolved substances. As a result of the concentra-

Table 26-1 Some Essential Plant Nutrients and Their Role in Plant Growth

Element	Role in Plant
Macronutrients	
Nitrogen	Synthesis of proteins, nucleic acids, chlorophyll, coenzymes
Potassium	Synthesis of amino acids; helps open and close stomata in leaves
Calcium	Part of cell walls and membranes; influences cell permeability
Phosphorus	Found in nucleic acids, coenzymes, ATP
Sulfur	Found in proteins, coenzymes
Magnesium	Found in chlorophyll, enzymes
Micronutrients	
Iron	Found in enzymes, chlorophyll
Manganese	Found in enzymes
Zinc	Found in enzymes
Copper	Found in enzymes
Chlorine	Acts in photosynthesis
Boron	Exact role unknown

tion gradient between root hairs and soil water, water moves into the root hairs by osmosis. See Chapter 6 for a review of the process of osmosis. The rate of water absorption is influenced by the amount of water lost through **transpiration**, the evaporation of water from stems and leaves.

Roots absorb a variety of inorganic nutrients, usually by active transport. Plant cells use some nutrients, such as nitrogen and potassium, in large amounts. These elements are called **macronutrients.** They use other nutrients, such as manganese, in smaller amounts. These are called **micronutrients.** Too much or too little of any macronutrient or micronutrient will harm or kill a plant. Nutrient requirements vary among species.

Storage of Food

Roots are also adapted for food storage. Phloem carries the sugars made in leaves to roots and stems for storage. In roots these sugars are converted to starch and stored in areas containing parenchyma cells. You may be familiar with storage roots such as those of beets, carrots, turnips, and sweet potatoes.

Section Review

1. Name the three regions of the root tip.
2. How does a primary root become a taproot?
3. Explain how root hairs increase the ability of a plant to absorb water from the ground.
4. Name two areas of the root where you would probably find parenchyma cells.
5. Compare and contrast endodermal cells and epidermal cells.

Stems

Look at Figure 26-8. Like roots, stems are adapted to different environments. Stems of some plants grow only along the surface of the soil, as you can see by examining the strawberry stolon. Cactuses have green, fleshy stems that both store water and carry on photosynthesis. Stems such as the fleshy underground tuber of a white potato are modified for storing food. Gladiolus and crocus plants have underground stems called corms that are specialized for food storage. All of these differences in stem shape and growth represent adaptations to the environment.

Stem Structure

Did you know that a sign nailed 2 m high on a tree will remain 2 m high, even though the tree may grow much taller? That is because stems grow in length only at their tips, where apical meristem produces new primary tissues. Stems grow in circumference through growth of lateral meristems.

Primary and secondary growth also take place in woody twigs tipped with buds. Buds are lateral branches that include the apical meristem and modified leaves called bud scales. In spring the bud opens and the bud scales fall off the twig. The scales leave scars on the surface of the twig.

Section Objectives

- *Describe differences between monocot and dicot stems.*
- *List the secondary tissues in the dicot stem.*
- *Explain the formation of an annual ring.*
- *Explain the pressure–flow hypothesis, and tell what substances are transported in phloem.*
- *Describe the transpiration–cohesion theory.*

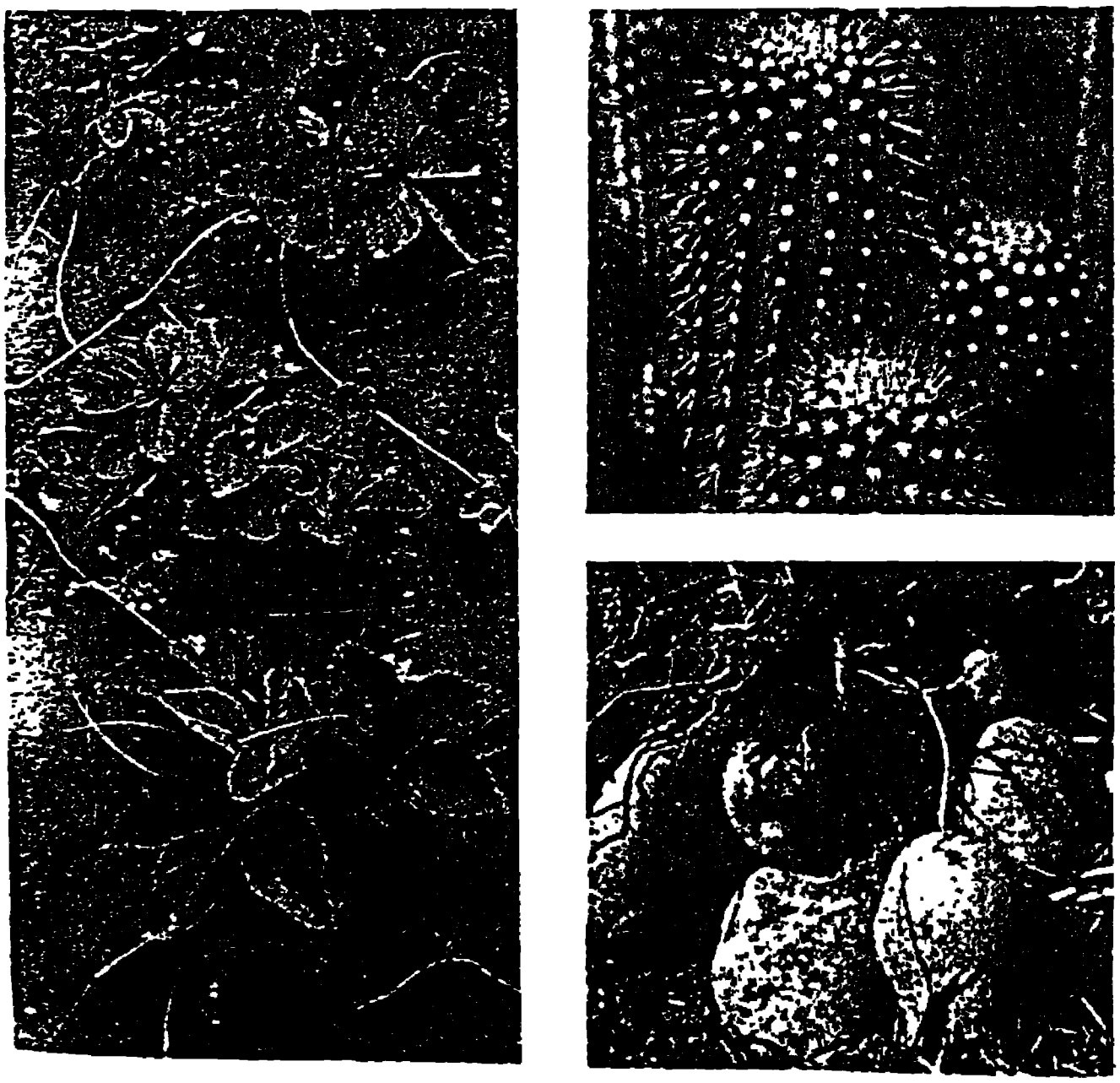


Figure 26-8 Various stem adaptations are illustrated by (clockwise from left) the strawberry, *Fragaria* sp., plant (stolon), the cactus, *Cereus* sp., (green, fleshy stem), a plant with a typical woody stem, and a potato, *Solanum tuberosum*, plant (tuber).

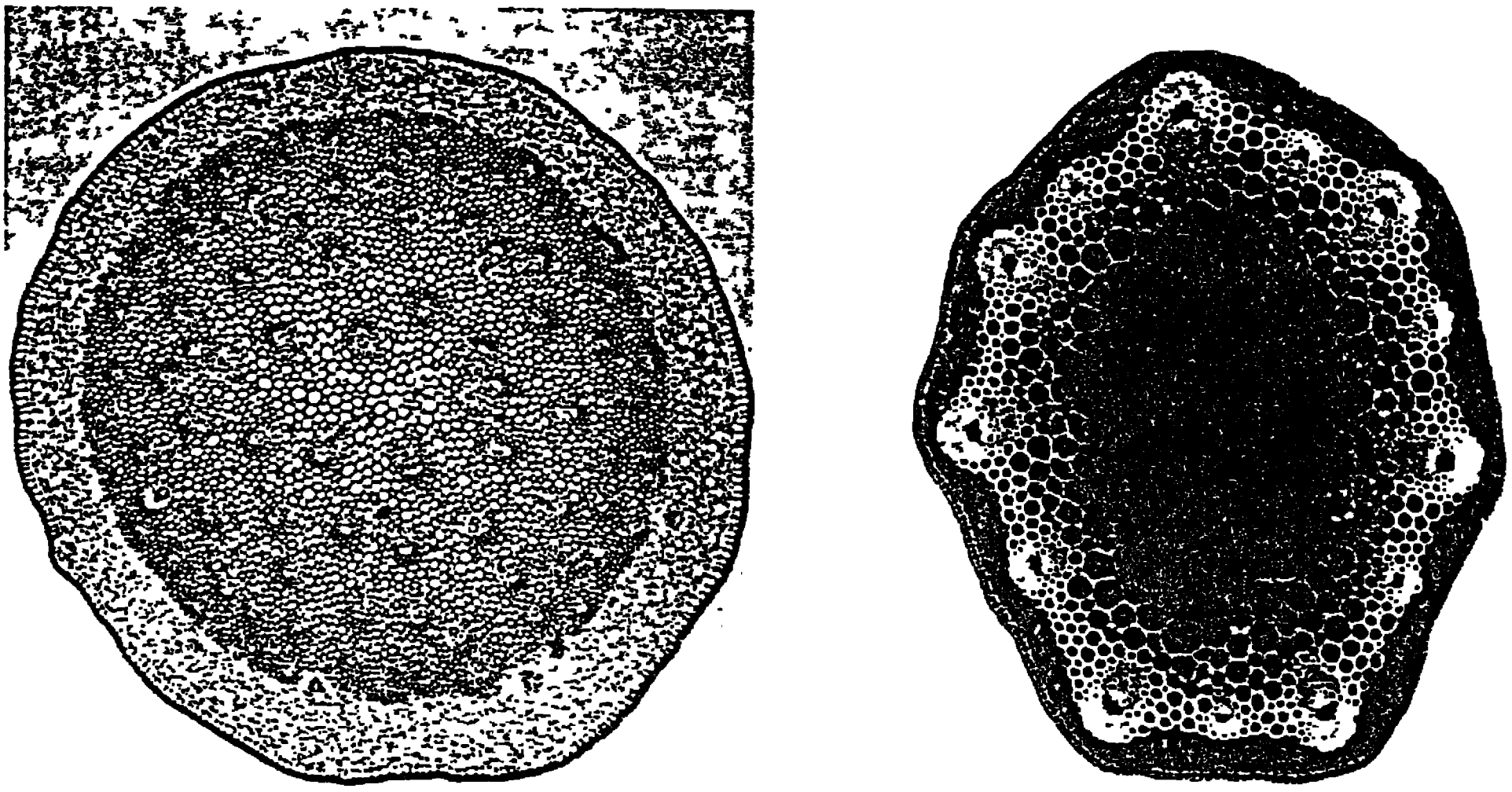


Figure 26-9 Cross-sectional photographs contrast a typical monocot stem (left, ×10) and a typical dicot stem (right, ×10).

Primary Growth

Apical meristems give rise to cells that form the primary dermal, ground, and vascular tissues of a stem. Locate each of these tissues in Figure 26-9. As you can see, the dermal tissue is represented by the epidermis, the outer layer of the stem. Its primary functions are to protect the plant and to reduce the loss of water to the atmosphere.

The ground tissue consists mostly of parenchyma cells. In gymnosperms and dicots, ground tissue forms a cortex and a pith. The cortex lies immediately inside the epidermis, as it does in the root. It frequently contains some flexible collenchyma tissue and may be photosynthetic. The **pith** is located in the center of the stem. Monocot stems are not so precisely divided into pith and cortex as dicot stems are.

Vascular tissue formed near the apical meristem occurs in bundles, long strands that lie embedded in the cortex. Look at the **vascular bundles** shown in Figure 26-9. Each bundle contains primary xylem and primary phloem. Xylem is located nearer the inside of the stem, and phloem is located nearer the outside. This arrangement of xylem and phloem differs from that found in a root, where both types of vascular tissue are located in the center.

Compare the arrangement of vascular bundles in monocots and dicots. In a monocot stem vascular bundles are scattered throughout the ground tissue. In dicot stems the vascular bundles occur in a single ring. Most monocots have no secondary growth and thus retain the scattered arrangement of vascular bundles throughout their lives. However, in many dicots the vascular bundles are eventually replaced by secondary tissues produced by the lateral meristems.

Think



Which of the three basic ground tissues would you expect to find the most of in this euphorb stem? Why?

Secondary Growth

The vascular cambium in stems arises first between the xylem and phloem in a vascular bundle. Eventually the vascular cambium forms a cylinder. Stems increase in thickness as a result of divisions of cells in the vascular cambium.

Examine Figure 26-10. The vascular cambium produces secondary xylem to the inside and secondary phloem to the outside. It usually produces much more secondary xylem, called wood.

In addition to the vessel elements and tracheids, discussed in Section 26.1, wood contains sheets of parenchyma cells called rays. As you can see in Figure 26-10, rays form a flat tissue that radiates from the center of the trunk. Rays store food and also transport food and water laterally across the xylem.

When water is plentiful during spring, the vascular cambium forms new secondary xylem with cells that are wide and thin walled. This wood is called springwood. In hot, dry summers the vascular cambium produces summerwood, which has smaller cells with thicker walls. The visible difference in density between spring wood and summer wood is called an annual ring. Look again at Figure 26-10. The circles that look like bull's-eyes are the annual rings of the tree. Since one such ring is formed each year, you can estimate the age of a plant simply by counting its annual rings. How old is the tree in the figure?

Some vessels of the secondary xylem eventually become clogged and thus useless in transporting water. They also give the xylem a dark color. This dark wood in the center of a tree is called heartwood. The functional, lighter-colored wood nearer the outside of the trunk is sapwood.

The secondary phloem produced toward the outside of the wood is part of the bark. Bark is the protective outside covering of woody plants. It consists of cork, cork cambium, cortex, and secondary phloem. The cork cambium produces cork toward the outside and living ground tissues toward the inside. Since cork cells quickly die and cannot expand, the continued production of secondary xylem and phloem causes the outer layers of cork to split. The bark of familiar trees such as oaks and maples thus appears rough and irregular in texture.

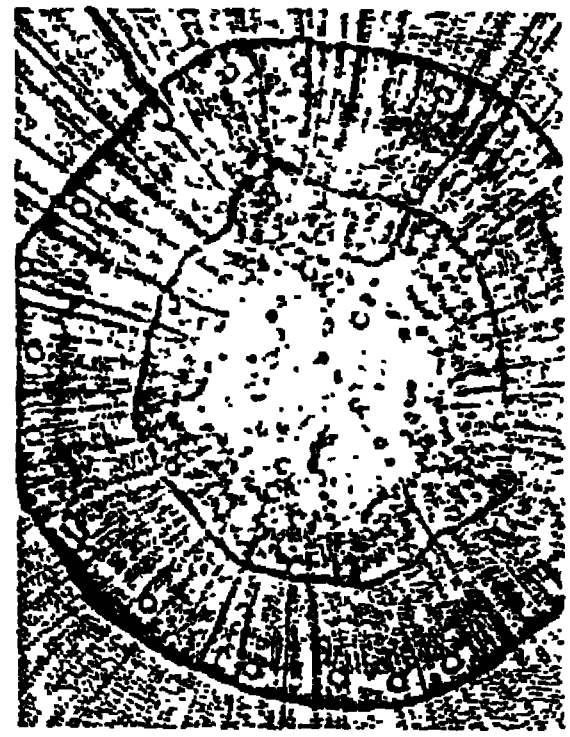


Figure 26-10 A cross section of the stem of a white pine, *Pinus strobus*, shows the rays and annual rings.

The Function of Stems

Whatever their sizes and shapes, most stems have three functions: support, transport, and storage. You have already learned about the support function. Let's examine transport and storage.

Transportation of Food

Sugars are the food that moves in the phloem of plants. Movement of these sugars occurs from source, where it is made, to sink, where it is stored or used. This movement is explained by the pressure–flow hypothesis.

Sugars are manufactured in photosynthetic cells and pumped by active transport into sieve tubes. This increases the concentration of dissolved substances in the sieve tube, and water enters the sieve tube by osmosis. The sieve tube becomes filled with water. Thus a positive pressure builds up at the source end of the sieve tube. This is the "pressure" part of the hypothesis.

At the sink end of the sieve tube this process is reversed. Sugars are pumped out, and water leaves the sieve tube by osmosis. Therefore pressure is reduced at the sink. The difference in pressure causes sugars to move from source to sink. In other words, the difference causes sugars to "flow."

Transportation of Water and Minerals

Water, which is required by all living cells, is constantly evaporating from stems and leaves. In addition stems and leaves require inorganic nutrients. Water and inorganic nutrients enter a plant through the roots. How do these substances travel from the roots to the top of a tree?

At one time scientists thought that the water absorbed by the roots created a pressure that "pushed" other water up the plant. This sometimes happens. When it does, the pressure of water

Biology in Process

Using Aphids to Study Phloem



What substances move through the phloem? Although this question seems like a rather simple one, its exact answer eluded biologists for many years.

Researchers hypothesized that phloem carried sugars made in photosynthesis. The first experiments designed to test this hypothesis involved cutting into the phloem and collecting the sap that came out. These experiments indicated that sugars were indeed a major component of the phloem sap.

However, the experiments also revealed that the phloem sap contained a slimy substance called P-protein. Furthermore, some of the P-protein remained on the sieve plate and formed a slime plug that blocked the movement of materials out of the sieve tube member. On the basis of this evidence some investigators inferred that slime plugs occurred in undisturbed phloem, and they encouraged a revision of the pressure–flow hypothesis. Other scientists inferred that the formation of slime plugs was a form of wound healing. What researchers needed was a way to ensure that the phloem sap they studied was not contaminated with wound-healing substances that

causes water to be forced out of the leaves. This process, called guttation, usually occurs at night. Guttation cannot account for most of the movement of water through a plant, however. Scientists now think that water may be "pulled" up a plant. They suggest that water forms a continuous column from roots, through stems, to leaves. This is possible because water is a cohesive fluid; its molecules are strongly attracted to each other.

The movement of this column of water is the basis for the transpiration–cohesion theory. Figure 26-12 on the following page shows how water that evaporates from leaves through stomata is eventually replaced by water from the xylem. When a water molecule from the xylem replaces water that has evaporated from the leaf, a low pressure is formed at the top of the water column. Vessel elements and tracheids do not collapse under this low pressure because their walls are thick. Water moves from areas of high pressure to areas of low pressure. This, combined with the strong cohesion of water, pulls the entire water column up from the roots through the plant.

The speed of water movement through a stem changes throughout the day. At midday evaporation is greatest, and water moves rapidly from the roots through the plant. This rapid move-

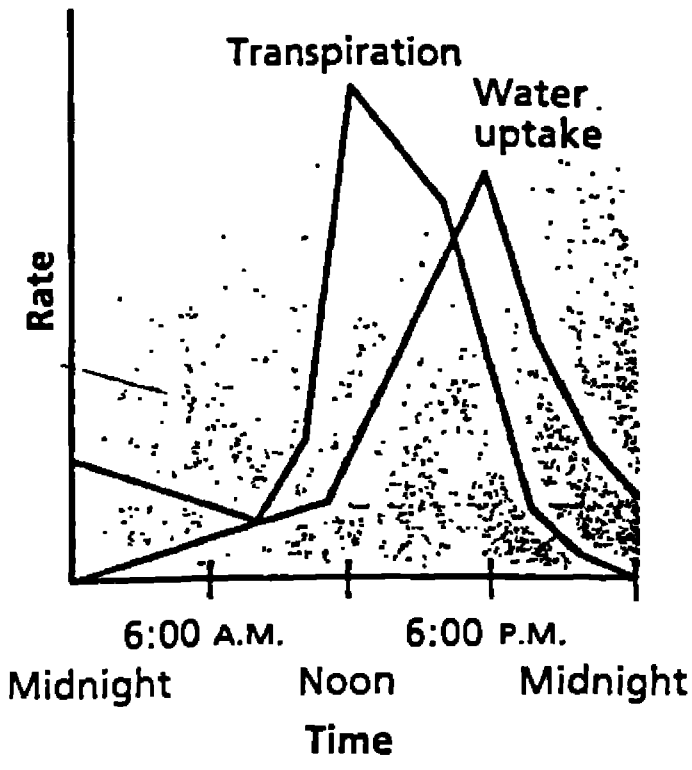
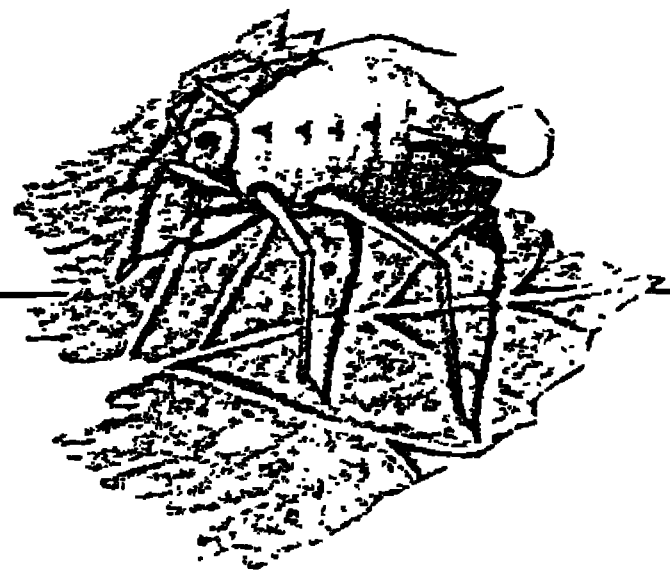


Figure 26-11 The rate of water uptake peaks about six hours after the rate of transpiration peaks.



were released when they cut into the phloem.

In the early 1950s two insect physiologists suggested a novel research tool—aphids. They observed that aphids obtained their food from phloem by inserting a "tap" into individual sieve tube members.

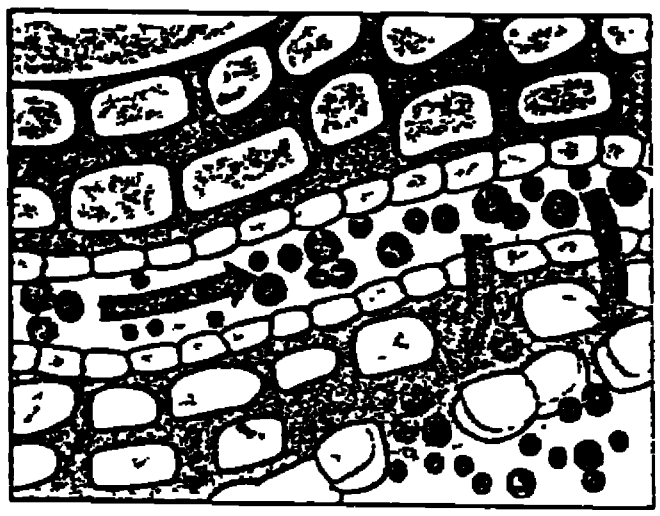
The aphid's tap (left) is an extremely small, snoutlike mouthpart called a stylet. Since the contents of the phloem are under positive pressure, sugars in the phloem surge into the aphid. The phloem sap often passes right through the insect and forms a droplet of sugary liquid called honeydew on the aphid's body.

Once an aphid has inserted its stylet into a sieve tube member, researchers anesthetize it with a gentle stream of carbon dioxide. They then sever the aphid from the stylet, leaving the stylet in the sieve tube. About 1 mm^3 of sap per hour can be collected from a stylet for up to five days.

Studies using aphids' stylets, in addition to studies involving radioactive isotopes, have provided evidence that slime plugs do not occur in undisturbed plants. P-proteins are not present in the phloem sap collected from aphid stylets. The phloem sap instead contains a fluid that is approximately 20 percent sugar. Amino acids make up approximately 0.1 percent of the sap.

By measuring the rate of flow through stylets placed at various points on the plant, researchers can construct a model of substance movement. They have found that, in some plants, the movement of phloem sap from source to sink occurs at the rate of nearly 100 cm per hour.

■ How have scientists used the process of collecting data in studying phloem?



Transpiration



Absorption

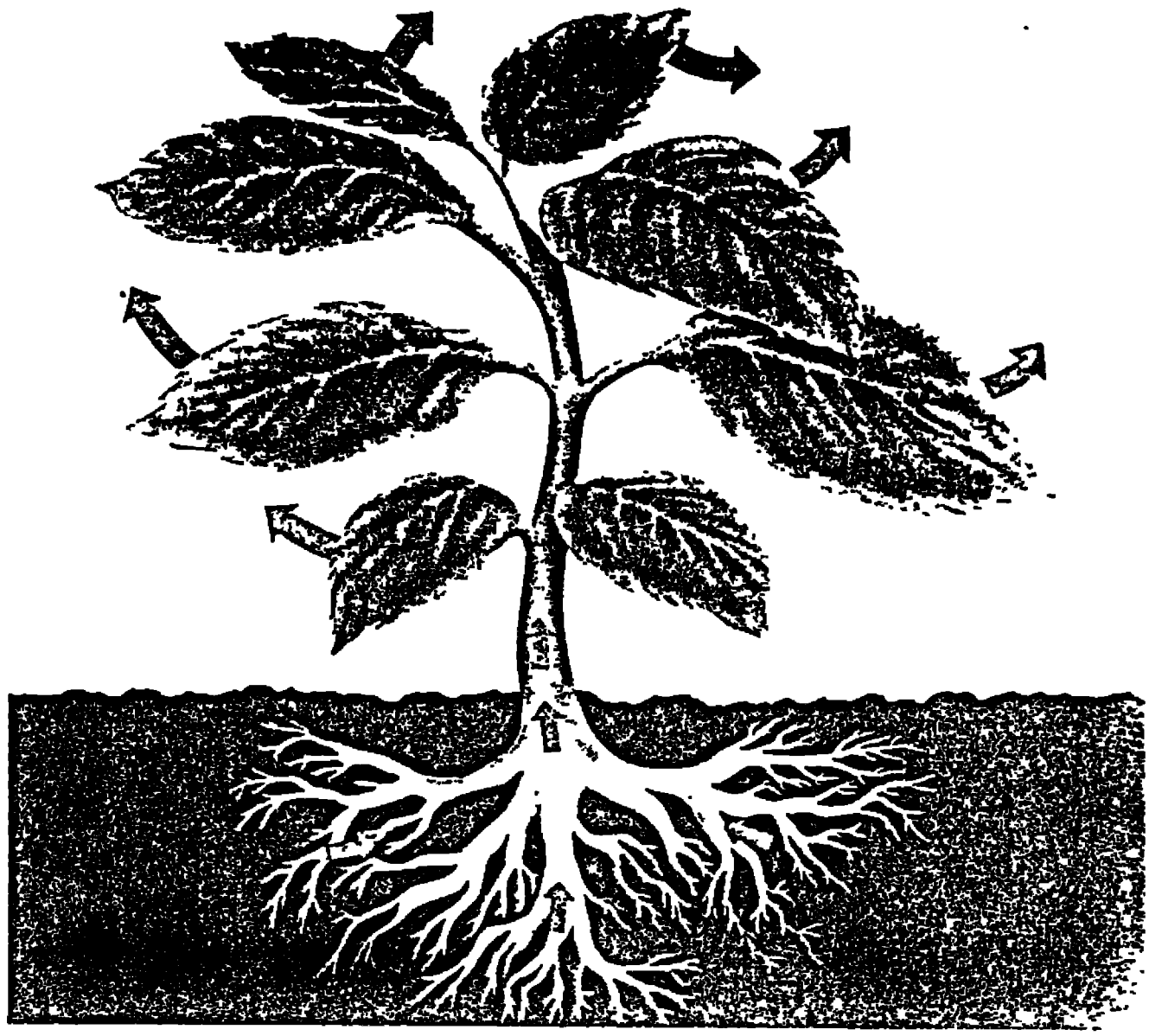


Figure 26-12 The diagrams above show how water moves through xylem from areas of high pressure to areas of low pressure.

ment creates a low pressure in the xylem, so strong that tree trunks actually shrink slightly in diameter during the day. At night there is little transpiration. Water does not move in the xylem, and the trunk enlarges slightly in diameter.

Storage in Stems

Plant stems are adapted for food storage in some species. As you read earlier, white potatoes are tubers, stems that are specialized for storing food. The "eyes" of white potatoes are actually buds that will grow into other stems if placed in the proper environment.

Many plant stems are full of parenchyma cells, which indicates that they store water and food for use by the rest of the plant. Succulents have particularly fleshy stems that retain water and nutrients in areas where water is often unavailable.

Section Review

1. Explain the difference between summerwood and springwood.
2. How does the arrangement of vascular tissues in a stem differ between monocots and dicots?
3. Describe how food moves through stems from source to sink.
4. Describe some adaptations of stems for food storage.
5. How might the rate of transport of water differ between plants in cool, humid environments and those in hot, dry environments?

Leaves

Being specialized for capturing sunlight for photosynthesis, most leaves are thin and flat. Although this structure may be typical, it is certainly not universal. Leaves are the most variable organ of plants. This variability represents adaptations to environmental conditions.

Look at the leaves in Figure 26-13. The coiled structure in the figure is a tendril, a kind of modified leaf. The tendrils of plants such as peas and morning glories wrap themselves around objects as the plant grows toward a light source.

Leaves of desert plants are often modified into protective spines. Since spines are relatively small, they reduce the surface area from which water can evaporate. In cactuses, little photosynthesis occurs in the spines; most photosynthesis takes place in the stems.

An uncommon modification of leaves occurs in insectivorous plants such as the pitcher plant. In insectivorous plants leaves often function as animal traps. These plants usually grow in soil that is relatively poor in nitrogen and phosphorus. The insects contain a large amount of these nutrients, and the plant receives essential macronutrients when it digests them.

Section Objectives

- *Identify the main external features of leaves.*
- *Explain the importance of stomata.*
- *Describe the three main regions of leaf tissue.*

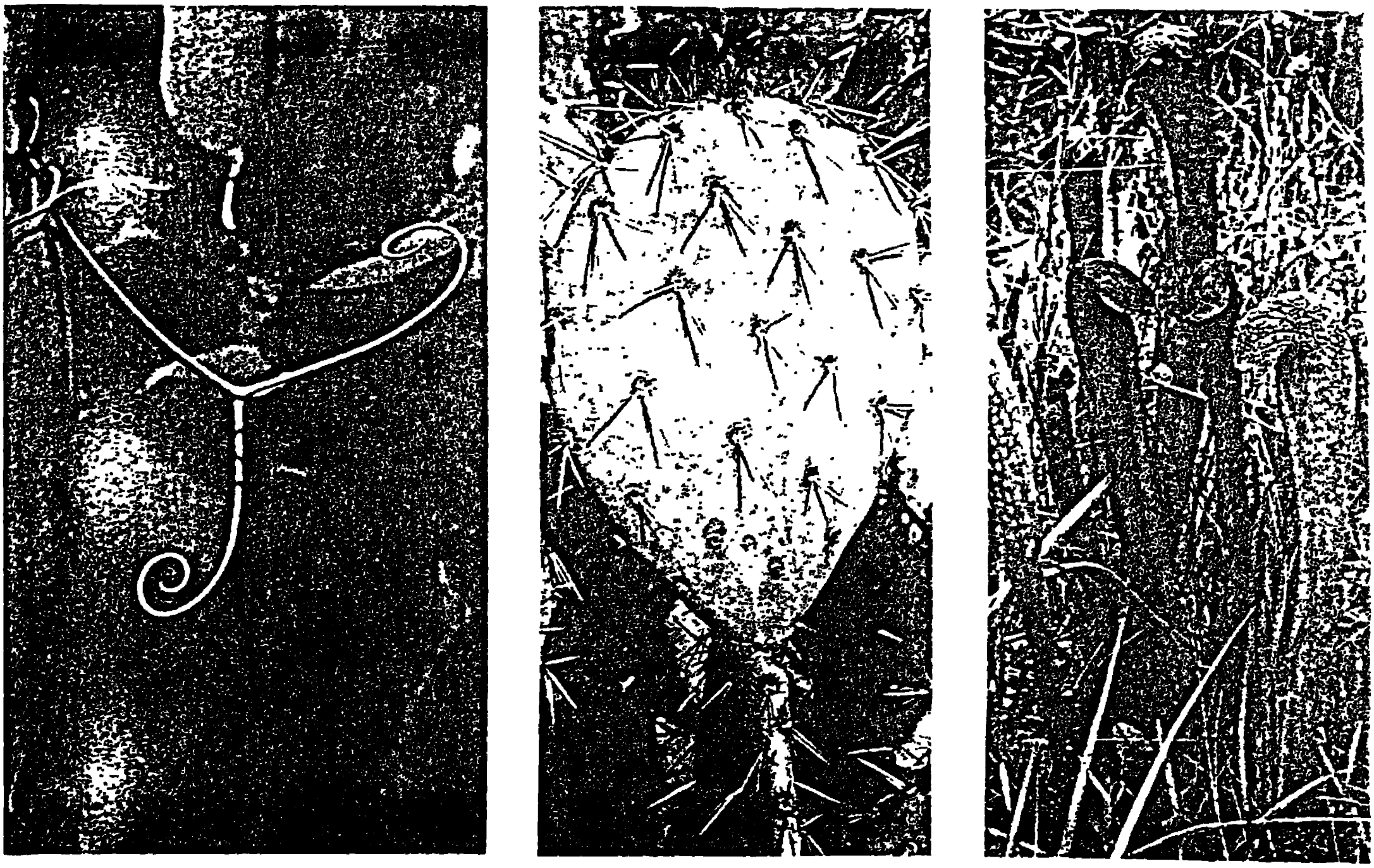


Figure 26-13 Plants with diverse leaf adaptations include (left to right) the pea plant, *Pisum sativum* (tendrils), the cactus, *Opuntia* sp. (spines), and the pitcher plant, *Sarracenia* sp. (tubular leaves).



Figure 26-14 Silhouetted above are the leaves of the sugar maple tree, *Acer saccharum* (top), and the golden-rain tree, *Loelreuteria paniculata* (bottom). The first is a simple leaf; the second is compound.

Leaf Structure

Leaves can be round, straplike, needlelike, or heart shaped, and their edges range from smooth to serrate. Regardless of their external structure, all leaves are made up of ground, dermal, and vascular tissues. Secondary tissues rarely occur in leaves.

The broad, flat portion of a typical leaf is the blade; this is the site of most of the photosynthesis in the plant. The blade is attached to the stem by a stalklike petiole. The maple leaf shown in Figure 26-14 is a simple leaf; it has only one blade and one petiole. In compound leaves, such as those of the date palm, the blade is divided into leaflets. In some species the leaflets are divided. The result is a doubly compound leaf.

Venation is the arrangement of veins in a leaf. Leaves of most monocots, such as grasses, have parallel venation, meaning that their main veins are parallel to each other. Leaves of most dicots, such as sycamores, have net venation, meaning that smaller veins branch out from a large central vein.

Figure 26-15 shows the internal structure of a leaf. Leaves consist of cells from three tissue systems. The dermal tissue system is represented by the epidermis. In most leaves the epidermis is a single layer of cells coated with an impermeable cuticle. Water, oxygen, and carbon dioxide enter and exit from the leaf through stomata in the epidermis.

The number of stomata per unit area of leaf varies in different plants. For example, submerged leaves of aquatic plants do not have stomata. However, leaves of corn plants, which grow best in hot weather, have approximately 7,500 stomata per square centimeter of leaf epidermis.

The number of stomata also varies on the upper and lower sides of leaves. Most plant leaves have more stomata on their

Figure 26-15 Cells from three tissue systems are represented in the internal structure of a leaf. Can you name the systems?

shaded lower epidermis than on their exposed upper epidermis. For instance, oak leaves have no stomata on their upper surfaces but have thousands of stomata per square centimeter on their lower surfaces. Regardless of their exact distribution, stomata are functional: they regulate gas exchange.

Photosynthesis occurs in the leaf **mesophyll** *(MEZZ-oe-FILL)*, a ground tissue that is made up of chloroplast-rich parenchyma cells. In most plants, the mesophyll is organized into palisade parenchyma and spongy parenchyma. **Palisade parenchyma** occurs directly below the upper epidermis; this is where most of a photosynthesis in the leaf occurs. Palisade cells are shaped like columns and are packed tightly together, increasing the exposure of chloroplasts to sunlight. Between the palisade parenchyma and the lower epidermis is **spongy parenchyma.** It consists of irregularly shaped cells surrounded by numerous air spaces, which allow oxygen and carbon dioxide to diffuse into and out of a leaf.

The vascular tissue system is represented by vascular bundles. In leaves they are called veins. They are continuous with the vascular tissue of the stem and the petiole and lie embedded in the mesophyll. Veins are often surrounded by a tight-fitting **bundle sheath** made up of parenchyma cells.

The Function of Leaves

Leaves are the primary site of photosynthesis in plants. As such, they must absorb light energy and take in carbon dioxide from the environment. Palisade cells in leaves use light energy, carbon dioxide, and water to make sugars. Sugars manufactured in leaves can then be used as an energy source for growth or be transported to roots or fruits and stored until needed.

The temperature of a leaf increases when it absorbs light, just as your skin can get hot on a bright summer day. Transpiration cools leaves while pulling water and dissolved minerals from roots through stems. In corn more than 98 percent of the water that is absorbed by the roots is lost through transpiration.

Modifications for Capturing Light

Leaves absorb light, which provides the energy for photosynthesis. In addition, the chloroplasts in photosynthetic leaf cells are typically arranged in a thin, uniform layer near the lighted side of the leaf. This minimizes the shading of one chloroplast by another.

In many plants leaves are modified for specialized environmental conditions. In deserts, where light is sometimes very intense, leaves often have thick cuticles or hairs. These reflect or block the excess light and reduce water loss. Another adaptation related to light intensity occurs in the so-called window plants. The leaves of these plants actually grow underground. All of the light for photosynthesis comes through a tiny "window" of transparent tissue that protrudes above soil level.

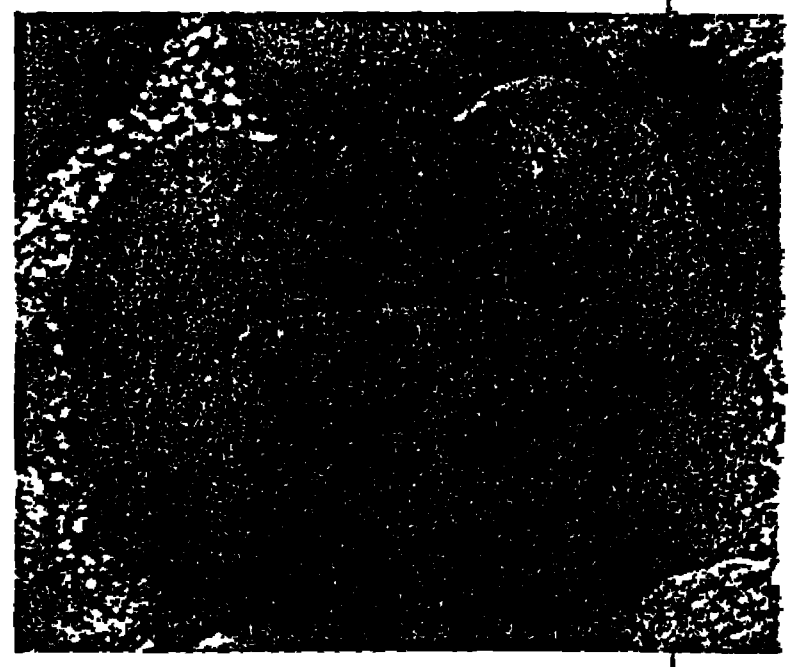


Figure 26-16 The leaves of a stone plant, *Lithops* sp., are modified so that the plant mimics a small stone.

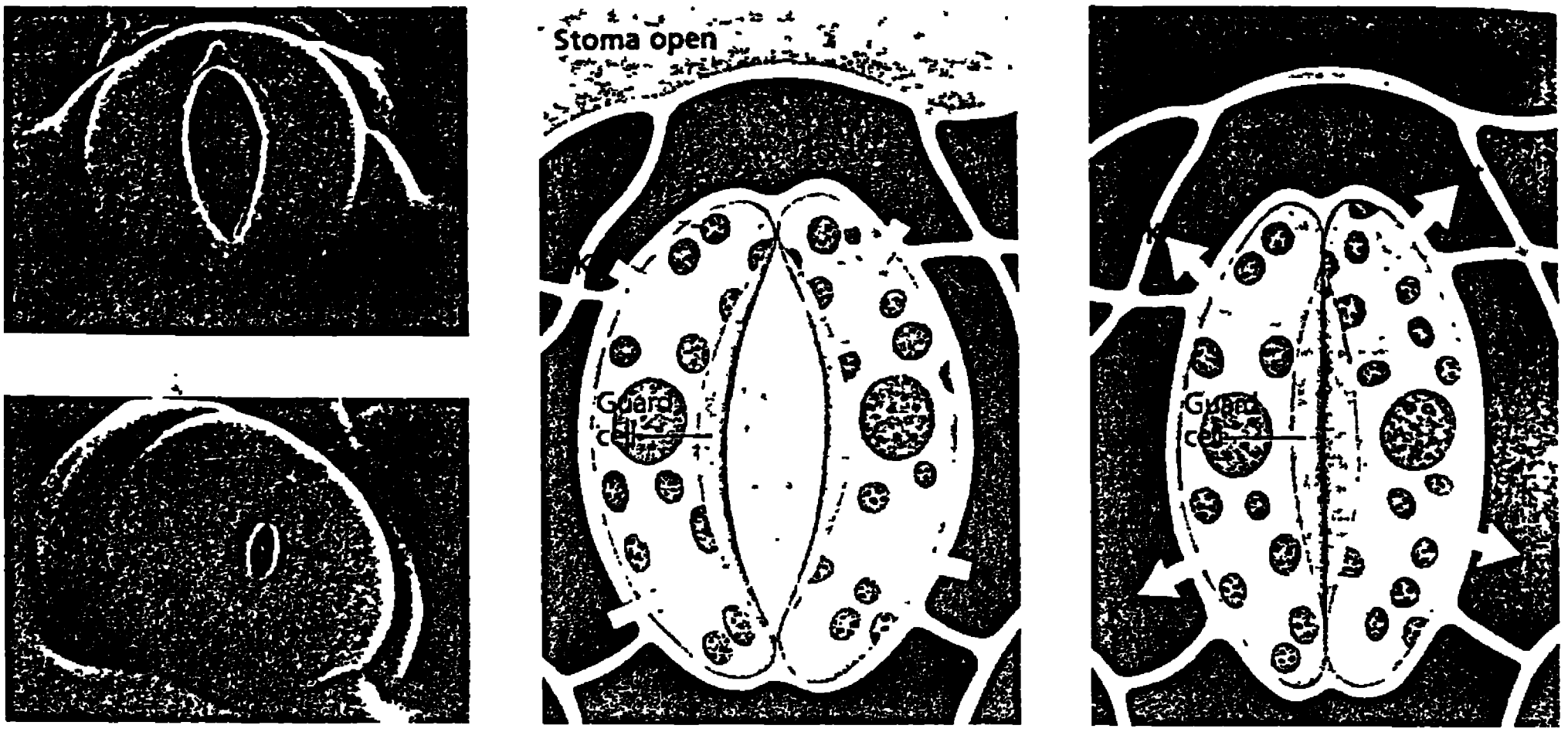


Figure 26-17 SEMs of the leaf of a tobacco plant, *Nicotiana tabacum*, show open (top, ×2,000) and closed (bottom, ×2,000) stomata.

Gas Exchange

Plants obtain carbon dioxide for photosynthesis from the air. Carbon dioxide diffuses into leaves through stomata. A stoma is bordered by two kidney-shaped **guard cells**, each of which has flexible cell walls that allow it to bend.

The opening and closing of a stoma is regulated by turgor pressure in guard cells. Turgor pressure is related to the amount of water in the cells. The stomata of most plants open during the day and close at night. Look at Figure 26-17. During the day light causes nearby epidermal cells to pump potassium ions (K^+) into the guard cells. Water then moves into the cells by osmosis. This influx of water increases the turgor pressure in guard cells and causes them to expand. The cells expand lengthwise, the result being that they bow apart and form a pore. At night the potassium ions are pumped out of the epidermal cells. Water then leaves the guard cells by osmosis; the guard cells shrink, and the pore closes. The opening and closing of stomata reflects one of the major ways in which plants survive diverse environments.

Section Review

1. What is the difference between a simple leaf and a compound leaf?
2. Describe the basic functions of the three leaf tissues.
3. Which leaf would have more stomata, that of a water lily or a sugar maple? Why?
4. Explain the function of the guard cells in regulating stomatal opening and closing.
5. How might the shape of a leaf affect its ability to capture sunlight?

Factores de Descomposición y su Control

INTRODUCCION

Desde el momento en que el alimento se cosecha, se recoge, se captura o se sacrifica, comienza a pasar por una serie de etapas de descomposición progresiva. Según el alimento, esta descomposición puede ser muy lenta, como en el caso de las semillas o las nueces, o puede ser tan rápida que vuelve prácticamente inutilizable a un alimento en unas pocas horas.

Todo lo que vive requiere nutrimento. Las bacterias, levaduras, mohos, insectos y roedores compiten constantemente con el hombre para consumir su provisión de alimentos. Además, los compuestos orgánicos de los alimentos, que son extremadamente sensibles, y el equilibrio bioquímico de estos compuestos, son susceptibles a la destrucción por casi todos los factores variables de nuestro medio ambiente natural. El calor y el frío, la luz, el oxígeno, la humedad, la sequedad, las mismas enzimas naturales de los alimentos, y el tiempo — todos tienden a descomponer los alimentos.

En la figura 69 se ven unas cajas de cebollas cosechadas en espera de ser recogidas y llevadas hacia los mercados. Si no se les lleva rápidamente y se les da el almacenamiento y la protección adecuados, todo el trabajo invertido en su producción habrá sido desperdiciado. Lo mismo sucede con la mayoría de los alimentos del hombre.

La rapidez con que se descomponen los alimentos si no se toman las medidas necesarias está indicada en la tabla 14. Esta da el período de vida útil de almacenamiento a 21°C. La carne animal, el pescado y las aves pueden volverse inútiles en 1 ó 2 días, a la temperatura del ambiente. Lo mismo ocurre en el caso de varias frutas y hortalizas de hojas verdes comestibles, así como para la leche cruda y muchos otros productos naturales. La temperatura del ambiente, interior o exterior, puede ser mucho más alta que 21°C durante gran parte del año, y en ciertas regiones del mundo, durante todo el año. A una temperatura arriba de 21°C, los alimentos pueden tornarse inútiles en unas horas.

Esto tiene consecuencias inmediatas en las áreas menos desarrolladas, lo mismo que en las sociedades más avanzadas y organizadas. En estas áreas menos desarrolladas, se han dado casos de inanición en aldeas que distaban sólo 8 ó 15 kilómetros del sitio de una cosecha abundante, y la



Cortesía de Purdue University

FIG. 69. Estas cebollas están a la merced de las fuerzas naturales

causa fue la descomposición de los alimentos. En las sociedades muy avanzadas la producción de alimentos está centrada generalmente en las regiones en que éstos pueden ser cultivados o procesados más eficientemente. En los Estados Unidos estas áreas pueden distar dos o tres mil kilómetros de un centro de población en que se consumirán los alimentos. Si no se controlaran los factores de descomposición, no habría alimento para estos centros de población y, de hecho, no podría haber una sociedad avanzada.

La descomposición de los alimentos y su control han influido en el curso de la historia y han decidido el desenlace de más de una guerra. Las guerras, y la necesidad de alimentar a los ejércitos a miles de kilómetros de distancia de las áreas en que se producían los alimentos, siempre han despertado el interés por los problemas de la descomposición de los

TABLA 14

VIDA ÚTIL DE ALMACENAMIENTO DE TEJIDOS VEGETALES Y ANIMALES [1]

Producto alimenticio	*Vida en el almacenamiento (días) a 21°C*
Carne animal	1-2
Pescado	1-2
Aves	1-2
Carne y pescado desecado, salado, ahumado	360 y más
Frutas	1-7
Frutas secas	360 y más
Hortalizas de hojas verdes comestibles	1-2
Raíces	7-20
Semillas secas	360 y más

[1] De Desrosier (1963).

alimentos, y esto sigue sucediendo aun en nuestros tiempos. Es interesante notar que algunos de los avances más importantes en la prevención de la descomposición de los alimentos se han logrado en tiempos de guerra.

A finales del siglo XVIII, Francia estaba en guerra y los ejércitos de Napoleón, alimentados con raciones inadecuadas que a menudo incluían carne descompuesta y otros artículos insalubres o inapetecibles, no prosperaban. La armada y la marina mercante se enfrentaban a problemas similares, entre ellos el escorbuto. Se ofrecieron premios a fines de estimular el desarrollo de métodos eficaces de conservación de alimentos. De allí surgió el descubrimiento por Nicolás Appert de que, si el alimento fuera suficientemente calentado en un envase sellado, y el envase no fuera abierto, el alimento se conservaba. Appert fue premiado con 12,000 francos y honrado en 1809, y el mundo adquirió el arte de enlatado. No fue hasta unos 50 años más tarde que la obra de Pasteur demostró que el crecimiento de los microorganismos constituía la causa principal de la descomposición de los alimentos; esto proporcionó una explicación al método de conservación de Appert.

Se puede decir que la comprensión de los factores de descomposición y su control constituyen la esencia de la ciencia de alimentos. Se lograron varios grados de conservación mucho antes de que se conocieran o entendieran los principios en que se basaban, y muchos de los alimentos que preciamos actualmente nacieron de las tentativas de prevenir la descomposición y alargar la vida de almacenamiento. Tal vez no se le ocurriría a uno considerar a la mantequilla como un medio de conservación de alimentos, pero hace mucho tiempo se descubrió que, en tanto que la leche se descomponía en uno o dos días, los trozos de grasa de mantequilla que se formaban cuando se agitaba la leche podían ser extraídos y almacenados durante semanas o meses. Asimismo, el queso, el pescado ahumado, las frutas secas y otros alimentos preciados tuvieron su origen en las tentativas de disminuir los procesos de descomposición.

CAUSAS PRINCIPALES DE LA DESCOMPOSICION DE LOS ALIMENTOS

Las causas principales de la descomposición de alimentos incluyen las siguientes: 1) el crecimiento y la actividad de microorganismos, especialmente bacterias, levaduras y mohos; 2) la actividad de las enzimas naturales de los alimentos; 3) los insectos, parásitos y roedores; 4) la temperatura, tanto alta como baja; 5) la humedad y sequedad; 6) el aire y, más particularmente, el oxígeno; 7) la luz; y 8) el tiempo.

Estos factores no trabajan aisladamente. Las bacterias, los insectos y la luz, por ejemplo, pueden actuar simultáneamente para descomponer

los alimentos en el campo o en la bodega. Asimismo, factores como el calor, la humedad y el aire pueden influir en la proliferación y actividad de las bacterias, lo mismo que en la actividad química de las enzimas naturales de los alimentos.

Muchas formas de deterioro pueden ocurrir en cualquier momento dado, según el alimento y las condiciones ambientales. A fin de lograr su conservación total, hay que eliminar o reducir al mínimo todos estos factores en el alimento. Así, por ejemplo, en el caso de la carne enlatada, esterilizamos el producto a fin de matar los microorganismos y destruir las enzimas naturales de la carne. Colocamos la carne en un bote metálico que la protege contra los insectos y roedores, y también contra la luz que podría deteriorar su color y posiblemente su valor nutritivo. La lata también impide que la carne se reseque. Se aplica un vacío o se inunda la lata con nitrógeno para eliminar el oxígeno. Las latas son almacenadas en un lugar fresco, y el tiempo en que son conservadas en el supermercado o en el hogar antes de su uso, normalmente es limitado. En este caso el método de conservación toma en cuenta todos los principales factores de deterioro de los alimentos. Conviene que consideremos a cada uno de estos factores individualmente.

Bacterias, levaduras y mohos

Existen miles de géneros y especies de microorganismos. Varios centenares de éstos están relacionados de una manera u otra con los productos alimenticios. No todos ellos provocan la descomposición de los alimentos y muchos tipos se emplean para su conservación, por ejemplo, los organismos que producen el ácido láctico del queso, la col agria (chucrut), y ciertas clases de salchichas. Otros se utilizan en la producción de alcohol, como en la elaboración de vino o cerveza, o en la producción de sabor, en otros alimentos. Sin embargo, excepto en donde estos microorganismos son cultivados de propósito por medio de la inoculación selectiva o por condiciones controladas a fin de favorecer su crecimiento por encima del crecimiento de otros tipos menos deseables, la proliferación de los microorganismos en los alimentos es generalmente la causa principal de la descomposición de éstos.

Los microorganismos capaces de descomponer los alimentos se encuentran en todas partes: en el suelo, el agua y el aire, en la piel del ganado y las plumas de las aves, y en el interior de los intestinos y todas las demás cavidades del cuerpo animal. Se hallan sobre las cáscaras y las cortezas de frutas y hortalizas, y sobre las vainas de los granos y las cáscaras de las nueces. Se encuentran en todo el equipo usado en el procesamiento de los alimentos que no ha sido esterilizado, y también en las manos, la piel y la ropa del personal que maneja los alimentos.

Un hecho muy importante, sin embargo, es que los microorganismos no se encuentran generalmente dentro de los tejidos vivos y sanos —como la carne de los animales, o la carne y jugo de las plantas. Pero siempre están presentes y dispuestos a invadir la carne de los animales y las plantas si hay una rotura en la piel o cáscara, o si ésta ha sido debilitada por la enfermedad o la muerte. En este caso pueden digerir la piel y penetrar a través de ella hasta el tejido interior.

La leche de una vaca sana está estéril cuando se secreta, pero se contamina mientras pasa por los canales de la ubre que se incluyen entre las cavidades del cuerpo. La mugre en la piel de la vaca, el aire, los utensilios sucios, y otros factores la contaminan más aún.

La carne de res se contamina cuando el animal es sacrificado y la piel protectora rota, especialmente durante el destazamiento.

Las frutas, las hortalizas, los granos y las nueces se contaminan cuando sus cáscaras o vainas se rompen o se debilitan. Esto ocurre también en el caso de los huevos. El interior de un huevo sano es estéril pero su cáscara puede haber sido contaminada en grado sumo durante su paso por la cavidad del cuerpo de la gallina.

Las bacterias son plantas unicelulares de muchas formas, aunque predominan tres formas principales de las células individuales (Fig. 70).

FIG. 70. Morfología de las bacterias

Estas son la forma esférica representada por varios tipos de cocos, los bastoncitos rectos de los bacilos, y las formas helicoidales de las espirilas y los vibrios.

Muchas bacterias tienen movilidad lograda por medio de unos largos filamentos flexibles llamados flagelos. Otras producen esporas que se asemejan a las semillas y son extraordinariamente resistentes al calor, a las sustancias químicas y a otras condiciones adversas (Fig. 71). Las esporas bacterianas son mucho más resistentes que las de las levaduras o los mohos, y más resistentes a la mayoría de las condiciones encontradas en el procesamiento, que las enzimas naturales de los alimentos. Los procesos de esterilización están enfocados hacia estas esporas bacterianas extraordinariamente resistentes.

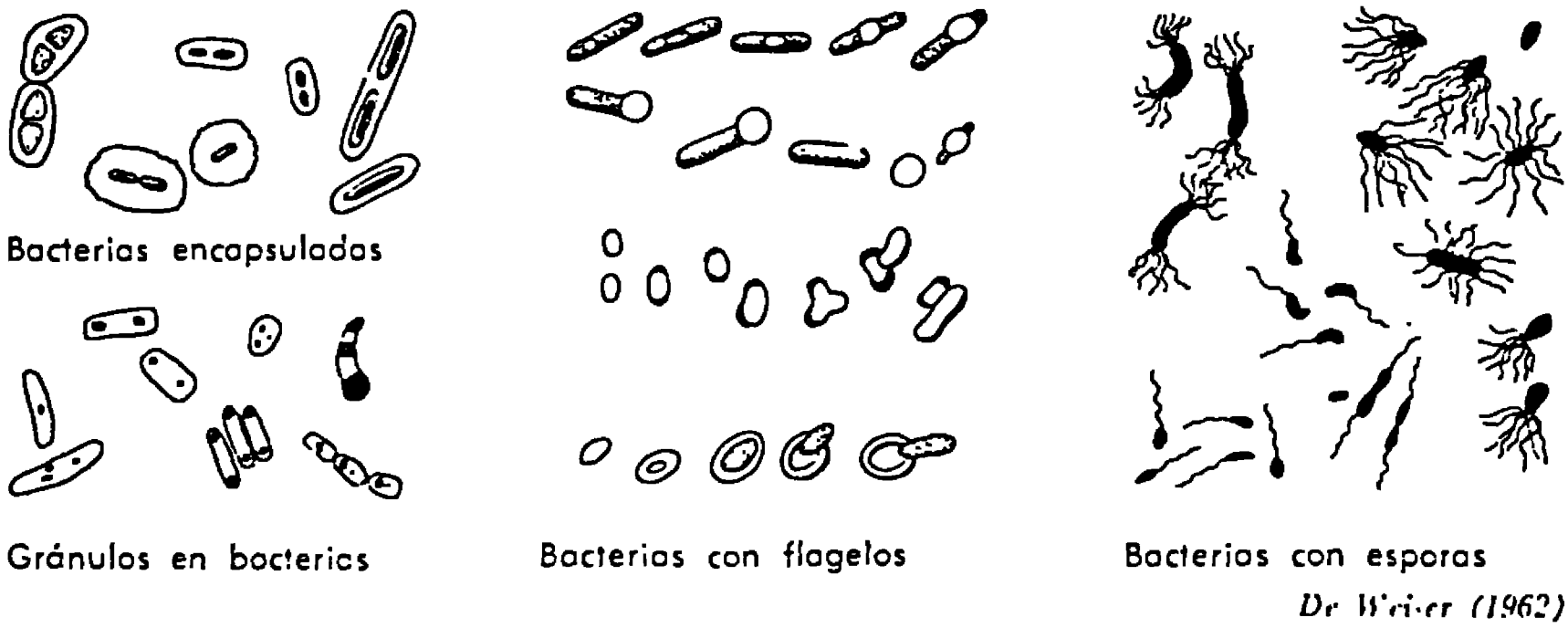


FIG. 71. Estructuras bacterianas

Todas las bacterias relacionadas con los alimentos son pequeñas. La mayoría tienen de uno a varios micrones de largo y un poco menos de diámetro. Un micrón es la milésima parte de un milímetro. Todas las bacterias pueden pasar por las aperturas más diminutas, muchas de ellas pueden penetrar por los poros naturales de una cáscara de huevo una vez que el desgaste o el lavado se haya llevado la capa protectora natural.

Las levaduras son algo más grandes; las células individuales tienen unos 20 micrones de largo y aproximadamente 7 de diámetro. La mayoría de las levaduras tienen formas esféricas o elipsoidales.

Los mohos son más grandes aun y de estructura mas compleja (Figs. 72 y 73). Crecen en forma de redes de fibras entrelazadas llamadas micelios y levantan cuerpos fructíferos que producen esporas de moho llamadas conidios. El color negro del moho del pan y las vetas azules de ciertos quesos se deben a los conidios, en tanto que, debajo de los cuerpos fructíferos, los micelios filamentosos anclan el moho al alimento. Los micelios tienen un micrón o un poco más de espesor y, como las bacterias, pueden penetrar por la apertura más pequeña; o en el



Cortesía de Continental Can Co.

FIG. 72. Moho del género aspergillus (X 100) en que se ven los micelios y conidios

caso de una piel o cáscara debilitada, pueden digerir ésta y hacer su propia ruta de penetración.

Las bacterias, las levaduras y los mohos atacan prácticamente todos los componentes de los alimentos; algunos fermentan los azúcares e hidrolizan los almidones y la celulosa, otros hidrolizan las grasas y producen rancidez, otros digieren las proteínas y producen olores putrefactos o que se parecen al del amoníaco. Algunos producen ácido y tornan los alimentos agrios, otros producen gases y los tornan espumosos, algunos forman pigmentos y decoloran los alimentos, y unos pocos producen toxinas y originan intoxicaciones. Cuando los alimentos se contaminan bajo condiciones naturales, es probable que varios tipos de organismos estén presentes a la vez, y que contribuyan a una serie de cambios simultáneos o en secuencia que pueden incluir ácido, gas, putrefacción y decoloración.

Las bacterias, las levaduras y los mohos prosperan en condiciones calurosas y húmedas. La mayoría de las bacterias se proliferan más a temperaturas que van de los 16° a los 38°C, y a éstas se les llama mesofílicas. Algunas crecen en temperaturas tan bajas como la del punto de congelación del agua, y se les llama psicrofílicas o amantes del frío. Otras crecen en temperaturas tan altas como 82°C, y a éstas las llamamos termofílicas o amantes del calor. Las esporas de muchas bacterias sobreviven a la exposición prolongada al agua en ebullición y luego se proliferan en cuanto baja la temperatura.

El factor más importante es la tremenda velocidad con que las bacterias y otros microorganismos pueden multiplicarse. Las bacterias se multiplican por medio de la división de las células. Una célula se convierte en 2, 2 en 4, etc. En condiciones favorables, las bacterias pueden duplicar su número cada 30 minutos. En estas condiciones la leche que

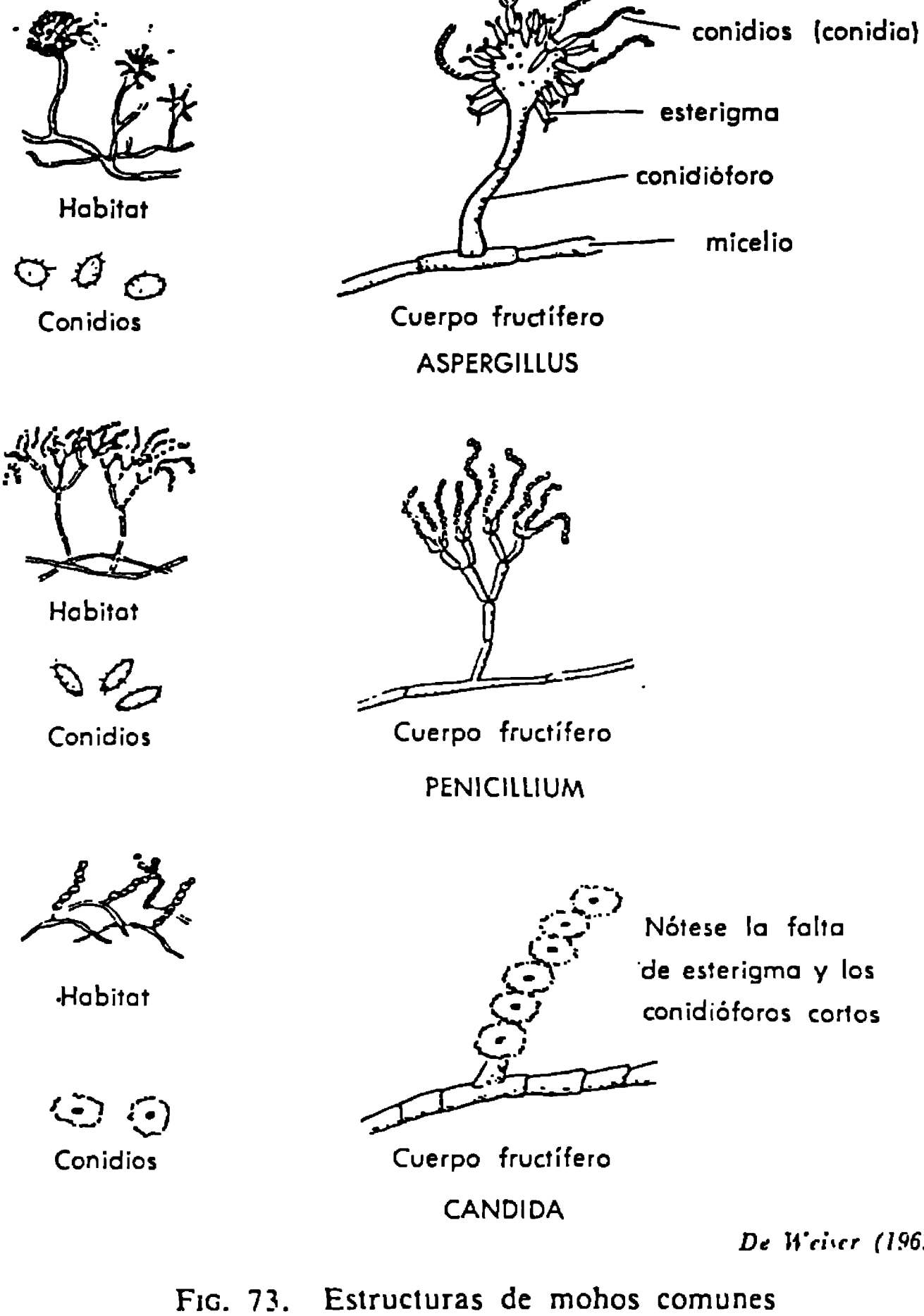


FIG. 73. Estructuras de mohos comunes

tiene un índice bacteriano de 100,000 o más por mililitro, lo cual es bastante común antes de la pasteurización, si se le conserva a la temperatura del ambiente, puede llegar a tener una población bacteriana de unos 25 millones en 24 horas, y una población astronómica de más de 5 mil millones en 96 horas (tabla 15).

Estas propiedades de las bacterias, las levaduras y los mohos hacen de ellos la causa más importante de la descomposición de los alimentos.

Enzimas naturales de los alimentos

Como los microorganismos que poseen enzimas que fermentan, vuelven rancios y pudren los alimentos, las plantas y los animales sanos y

TABLA 15

MULTIPLICACIÓN DE BACTERIAS EN LA LECHE A LA TEMPERATURA DEL AMBIENTE [1]

Horas de almacenamiento	*Cuenta bacteriana por ml*
0	137,000
24	24,674,000
48	639,885,000
72	2,407,083,000
96	5,346,667,000

[1] De Hammer y Babel (1957).

libres de infección, que se emplean como alimento, tienen sus propias enzimas cuya actividad, en gran parte, sobrevive a la recolección y el sacrificio. De las tumbas egipcias se han recuperado granos y semillas de cereales que aún poseen las propiedades de respiración, germinación y crecimiento—funciones todas ellas controladas por enzimas.

No sólo puede la actividad enzimática persistir a través de toda la vida útil de muchos alimentos naturales y fabricados, sino que esta actividad a menudo se intensifica después de la cosecha y el sacrificio. Esto se debe a que las reacciones enzimáticas son controladas y equilibradas con mucha precisión en la planta o el animal que vive y funciona normalmente; pero este equilibrio se pierde cuando el animal es sacrificado o la planta retirada del campo. Así, en tanto que la pepsina ayuda a la digestión de la proteína en el intestino del animal, no digiere el intestino mismo en el animal vivo y sano. Empero, cuando las defensas del cuerpo cesan con la muerte, la pepsina contribuye efectivamente al proteólisis de los órganos que la contienen. Se pueden citar un gran número de reacciones "devoradoras" similares en las plantas.

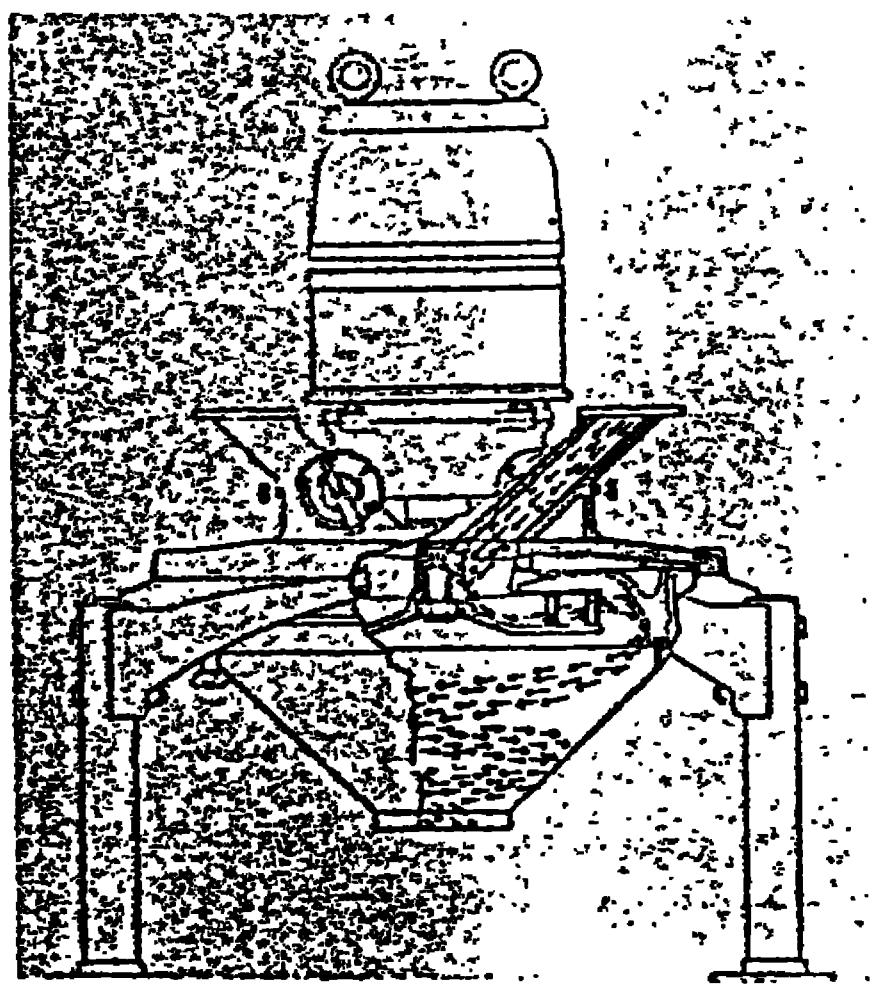
A menos que estas enzimas sean inactivadas por el calor, sustancias químicas, la radiación o algún otro medio, siguen catalizando reacciones químicas en los alimentos. Algunas de estas reacciones, si no se les permite progresar más allá de un cierto límite, son muy deseables—como, por ejemplo, la maduración continua de los tomates después de su recolección, y el ablandamiento natural de la carne de res al envejecer. Pero la maduración y el envejecimiento más allá de un límite óptimo se convierten en la descomposición de los alimentos; los tejidos debilitados son atacados por infecciones microbianas y la descomposición llega al grado de la putrefacción. Habido el tiempo necesario, esto puede ocurrir en el campo, el supermercado o el refrigerador del hogar.

Insectos, parásitos y roedores

Los insectos son especialmente destructivos en los granos de cereales, las frutas y las hortalizas. Tanto en el campo como durante el almacena-

miento, se ha calculado que los insectos destruyen del 5 al 10% de la cosecha de granos en los Estados Unidos cada año. En algunas regiones del mundo esta cifra puede exceder el 50%. El problema de los insectos no se basa sólo en la cantidad que éstos pueden consumir, sino también en el hecho de que, cuando comen, dañan el alimento y lo abren a la infección provocada por bacterias, levaduras y mohos. Un pequeño agujero causado por un insecto en un melón, no tan grave en sí, puede resultar en la descomposición total del melón provocada por una invasión bacteriana. Generalmente se controla a los insectos en los granos, la fruta seca y las especias por medio de la fumigación con productos químicos, tales como el bromuro de metilo, el óxido de etileno y el óxido de propileno. El uso de los dos últimos fumigantes se prohibe a menudo en los alimentos con un alto contenido de humedad a causa de la posible formación de sustancias tóxicas.

Los huevos de insectos pueden sobrevivir o ser puestos en los alimentos después del procesamiento, como, por ejemplo, en la harina. Un método interesante de destruirlos consiste en aventar la harina con gran impacto contra una superficie dura como en la máquina de centrifugación conocida por el nombre de *entoleter* (Fig. 74). El impacto destruye los huevos. Permanecen en la harina pero los insectos ya no se pueden reproducir.



Cortesía de Safety Car Heating & Lighting Co., Inc.

FIG. 74. Entoleter capaz de destruir huevos de insectos por impacto

En cuanto a los parásitos, sólo hay que mencionar aquí a la triquinosis que entra al puerco que come desperdicios alimenticios sin cocer. El nemátodo penetra por los intestinos del animal y entra a la carne. De la carne de puerco que no está bien cocida, el parásito puede infectar al hombre. También se puede destruir el nemátodo por medio del almacenamiento congelado bajo control, lo cual será tratado en un capítulo posterior. Toda la carne de puerco y los productos elaborados a base de ella se someten a la inspección federal, pero para mayor seguridad se les debe de cocer bien antes de consumirlos.

Calor y frío

Independientemente de su efecto en los microorganismos, el frío y el calor no controlados pueden causar el deterioro de los alimentos.

Dentro de la escala moderada de temperatura en que se manejan los alimentos, digamos de 10° a 38°C, para cada aumento de 10°C, se duplica aproximadamente la velocidad de las reacciones químicas. Esto incluye las velocidades de muchas reacciones enzimáticas al igual que las no-enzimáticas. El calor excesivo, por supuesto, "desnaturaliza" las proteínas, rompe las emulsiones, reseca los alimentos al eliminar la humedad, y destruye las vitaminas.

El frío no controlado también deteriora los alimentos. La textura de las frutas y hortalizas que, dejadas en el árbol o en la planta, se congelan y luego se descongelan, se quebrantará. Las cáscaras se agrietarán, dejando el alimento susceptible a los ataques por microorganismos. La congelación también puede causar el deterioro de los alimentos líquidos. Si se permite que una botella de leche se congele, la emulsión se rompe y la grasa se separa. La congelación también "desnaturaliza" la proteína de la leche y hace que se cuaje. La congelación cuidadosamente controlada, por el contrario, no debe provocar estos defectos.

El frío puede dañar los alimentos aunque no llegue al extremo de la congelación. Muchas frutas y hortalizas ya cosechadas requieren, al igual que otros organismos vivos, una temperatura óptima. Si se les conserva a la temperatura de refrigeración normal de unos 5°C, algunas se debilitan y mueren y se inician los procesos de descomposición. La tabla 16 contiene una lista parcial de los daños provocados en algunas frutas y hortalizas conservadas en frío, pero por encima del punto de congelación. Los deterioros incluyen pérdida de color, formación de agujeros en la superficie y varias otras formas de descomposición. Los plátanos, limones, calabazas y tomates son ejemplos de productos que deben ser conservados a temperaturas no por debajo de unos 10°C para la máxima retención de su calidad.

TABLA 16

VARIAS FRUTAS Y HORTALIZAS SON DAÑADAS POR TEMPERATURAS BAJAS PERO ARRIBA DEL PUNTO DE CONGELACIÓN [1]

Producto	*Temperatura aproximada más baja que dé seguridad, °C*	*Indole del daño cuando se le almacena entre 0°C y la temperatura segura*
Manzanas		
ciertas variedades	1 a 2	"encafecimiento" interior, tejidos rotos, acuosos
Aguacates	7	"encafecimiento" interior
Plátanos		
verdes o maduros	13	color pálido cuando maduros
Ejotes	7 a 10	abolladuras que aumentan al recolectar, manchas que aumentan al recolectar
Arándanos	1	ruptura de tejidos a bajas temperaturas
Pepinos	7	abolladuras, áreas acuosas, descomposición
Berenjenas	7	abolladuras o manchas doradas que aumentan al recolectar
Toronjas	7	quemaduras, abolladuras, tejidos rotos acuosos, manchas internas
Limones	13 a 14	decoloración interna, abolladuras
Limas	7	abolladuras
Mangos	10	decoloración interna
Melones		
Cantalupo	7	abolladuras, descomposición superficial
Valenciano	5 a 10	abolladuras, descomposición superficial
Casaba	5 a 10	abolladuras, descomposición superficial
Crenshaw y		
Perso	5 a 10	abolladuras, descomposición superficial
Sandia	2	abolladuras, sabor desagradable
Quingombó	5	decoloración, áreas acuosas, abolladuras, descomposición
Aceitunas, frescas	7	manchas internas
Naranjas	1.5 a 2.5	enfermedades de la cáscara
Papayas	7	ruptura de tejidos
Pimientos dulces (morrón)	7	abolladuras, decoloración cerca del cáliz
Piñas,		
semi-maduras	7	verde pálido cuando maduras
Papas		
Chippewa y		
Sebago	5	encafecimiento color caoba
Calabazas, tipo tardío	10 a 13	descomposición
Camotes	13	descomposición, abolladuras, decoloración interna
Tomates		
semimaduros	13	mal color cuando maduros, tendencia a descomponerse rápidamente
maduros	10	ruptura de tejidos

[1] Del Manual 66 del U. S. Dept. Agr.

Esto constituye la excepción a la regla demasiado general según la cual el almacenamiento en frío conserva todos los alimentos, y cuanto mayor sea el grado de frío, mejor los conserva.

Humedad y sequedad

Los cambios generales en los alimentos debidos a la asimilación o pérdida excesiva de humedad no requieren mayores comentarios por el

momento. La necesidad de humedad para las reacciones químicas y el crecimiento de microorganismos también ha sido mencionada. Hay que señalar, sin embargo, que la humedad no necesita estar distribuida por todo el alimento a fin de producir los efectos más radicales.

La humedad que aparece en la superficie de los productos como resultado de leves cambios en la humedad relativa puede constituir una causa principal de la formación de costras y terrones, como también de defectos superficiales incluyendo manchas, cristalización y glutinosidad. La cantidad más pequeña de condensación en la superficie de un alimento puede convertirse en una auténtica alberca para la proliferación de bacterias o el desarrollo de mohos.

Esta condensación no necesariamente viene del exterior. En un envase a prueba de humedad, los productos alimenticios como frutas u hortalizas pueden producir humedad por respiración y transpiración. Esta humedad queda atrapada dentro del envase y puede propiciar el crecimiento de microorganismos. Los alimentos no vivos dentro de un envase a prueba de humedad también pueden desprender humedad y así cambiar la humedad relativa del espacio vacío en la parte superior del envase. Luego, esta humedad puede recondensarse en la superficie del alimento, especialmente cuando se permite que baje la temperatura del lugar de almacenamiento.

Aire y oxígeno

Además de los efectos destructores que pueden ejercer el aire y el oxígeno en las vitaminas (particularmente A y C), los colores, los sabores, y otros componentes de los alimentos, el oxígeno es esencial al crecimiento de los mohos. Todos los mohos son aerobios y por eso se les encuentra desarrollándose en la superficie de alimentos u otras sustancias o dentro de las grietas de estos materiales.

Se excluye el oxígeno de los alimentos por medio de la deaereación al vacío o la purga con gas inerte durante el procesamiento, por el envasado al vacío o la inundación de los envases con nitrógeno o dióxido de carbono, y en algunos casos introduciendo a los alimentos y envases inhibidores de oxígeno que, mediante reacciones químicas, estimulan la eliminación de rastros de oxígeno residual.

Luz

Ya hemos dicho que la luz destruye algunas vitaminas, particularmente la riboflavina, vitamina A y vitamina C, y que la luz puede deteriorar muchos colores en los alimentos. La leche en botellas expuestas al sol adquiere un sabor a "luz del sol" debido a la oxidación de la grasa y a

cambios en la proteína, provocados por la luz. Los alimentos que tienen sensibilidad a la luz pueden ser fácilmente protegidos contra ella por medio de envases que no permitan su paso.

Tiempo

Después del sacrificio, la recolección o la fabricación de un alimento, hay un período en que su calidad está al máximo, pero éste es sólo un período transitorio. En muchos productos este momento de máxima calidad puede llegar en el campo y pasar en un día o dos, o puede pasar sólo unas horas después de la cosecha. El elote y los chícharos frescos son ejemplos notables de este hecho.

El desarrollo de microorganismos, la acción de las enzimas de los alimentos, la destrucción por insectos, los efectos del calor, el frío, la humedad, el oxígeno y la luz, todos éstos progresan con el tiempo. Cuanto mayor sea el tiempo, mayores serán las influencias destructoras. No se puede negar que algunos quesos, vinos, whiskeys y otros productos sean mejorados por el añejamiento. Pero para la gran mayoría de los alimentos el tiempo es un enemigo y nada puede sustituir a la frescura.

ALGUNOS PRINCIPIOS APLICABLES A LA CONSERVACION DE ALIMENTOS

En capítulos posteriores trataremos individualmente a varios de los más importantes métodos de conservación. Conviene ahora que nos extendamos un poco con respecto a algunos de los principios fundamentales del control de la descomposición de los alimentos. Los métodos de conservación se basan en gran parte en estos principios.

Si los alimentos deben guardarse por un corto tiempo solamente, conviene seguir dos reglas muy sencillas:

1) Mantenga el alimento vivo el mayor tiempo posible, en otras palabras, no mate al animal o la planta sino justamente antes de que se le va a comer. Un ejemplo de esto es la conservación de las langostas vivas en un tanque en el supermercado o restaurante—mientras están vivas (y sanas) no se deterioran notablemente. Esta práctica se emplea también con el pescado, las aves, las frutas y las hortalizas, cuando es posible. Desafortunadamente, tales posibilidades son limitadas.

2) Si hay que matar al alimento, límpielo, cúbralo y enfríelo. Sin embargo, estas precauciones sólo retardarán los factores de descomposición por un tiempo muy breve, durante horas tal vez o, cuando mucho, durante unos pocos días. Los microorganismos y las enzimas naturales del alimento no habrán sido destruidos o inactivados completamente, de manera que muy pronto empezarán a actuar.

Para la conservación práctica, durante un período más largo, que requieren la mayoría de nuestros alimentos, harán falta otras precauciones. la finalidad de éstas es, generalmente, la inactivación o control de los microorganismos que son la causa principal de la descomposición.

CONTROL DE MICROORGANISMOS

Los principales medios de control de bacterias, levaduras y mohos son el calor, el frío, la deshidratación, el ácido, el azúcar, la sal, el humo, el aire, los productos químicos y las radiaciones. Cualquiera de éstos puede causar también deterioro a los alimentos, de manera que es una cuestión de equilibrio; una cantidad de calor que matará los microorganismos pero que dejará el alimento casi intacto, una dosis de radiación que destruirá las esporas bacterianas pero tendrá un mínimo de efectos adversos en los componentes alimenticios. De hecho, toda la ciencia de la conservación de los alimentos se basa en el cálculo de los términos medios en cuanto a dosis y tratamiento.

Calor

La mayoría de las bacterias, levaduras y mohos crecen mejor en temperaturas entre 16° y 38°C. Las bacterias termofílicas crecen entre 65° y 83°C. La mayoría de las bacterias mueren a temperaturas entre 83° y 93°C. Pero muchas esporas ni siquiera son destruidas por el agua en ebullición a 100°C durante 30 minutos. A fin de asegurar la esterilidad, es decir, la destrucción total de los microorganismos, es preciso alcanzar una temperatura de unos 120°C (calor húmedo) y mantener esta temperatura por 15 minutos o más. Esto se logra generalmente por medio de vapor bajo presión como en una autoclave de laboratorio o de tipo comercial. Estas y otras relaciones entre la temperatura y la vida de los microorganismos se ven en la tabla 17.

Las autoclaves comerciales del tipo que se emplea en la industria enlatadora trabajan a temperaturas y por períodos adecuados para destruir las esporas bacterianas más resistentes dentro del alimento envasado. La esterilidad o "esterilidad comercial", que se definirá más adelante, es esencial, porque el alimento puede ser guardado en su envase durante un año o más. No todos los alimentos requieren la misma cantidad de calor para su esterilización.

Cuando los alimentos tienen un elevado contenido de ácido, como en el caso de los tomates o el jugo de naranja, no hace falta calentar tanto, ya que el ácido aumenta el poder mortífero del calor. Una temperatura de 93°C durante 15 min., por ejemplo, puede ser suficiente para lograr la esterilidad, si una cantidad suficiente de ácido está presente. Las tem-

TABLA 17

RELACIONES ENTRE LA TEMPERATURA Y LA VIDA BACTERIANA [1]

°C	*Efectos de la temperatura en los organismos*
120	Temperatura de vapor a 15 lb. de presión mata todas las formas incluso las esporas en 15 ó 20 minutos.
115	Temperatura de vapor a 10 lb. de presión mata todas las formas incluso las esporas en 30 ó 40 minutos.
110	Temperatura de vapor a 6 lb. de presión mata todas las formas incluso las esporas en 60 u 80 minutos.
104	Temperatura de vapor a 2 lb. de presión.
100	Temperatura de ebullición del agua pura al nivel del mar. Mata rápidamente en la etapa vegetativa, pero no las esporas aun después de larga exposición.
93	Células en desarrollo de bacterias, levaduras y mohos mueren general-
88	mente (83° a 93°C).
83	
83	Los organismos termofílicos crecen en esta escala (65° a 93°C).
77	
71	
65	
77	La pasteurización de la leche en 30 minutos mata todas las importantes bacterias patógenas que pueden afectar a los humanos, excepto los patógenos que forman esporas (60° a 77°C).
71	
65	
60	
38	Escala de crecimiento activo de la mayoría de las bacterias, levaduras y mohos (15.5° a 38°C).
37.8	
32.2	
26.7	
21.1	
15.6	
15.6	Se retarda el crecimiento de la mayoría de los organismos (15.6° a 10°C).
10	
10	Crecimiento óptimo de los organismos psicrofílicos (10° a 4.4°C).
4.4	
0	Congelación. Generalmente se detiene el crecimiento de todos los organismos.
−17.8	Las bacterias se conservan en un estado latente.
−251	Muchas bacterias no mueren a la temperatura del hidrógeno líquido.

[1] De Weiser (1962).

peraturas y los tiempos seguros para los diversos alimentos han sido establecidos y se publican en los manuales utilizados por la industria enlatadora.

Otro dato fundamental sobre el uso del calor y otros medios de conservación: no siempre es necesario matar todos los microorganismos y crear un producto estéril. Puede que sólo sea necesario emplear el calor suficiente para destruir los organismos que producen enfermedades. Esto es lo que se hace en el caso de la leche pasteurizada. La mayoría de las bacterias y todos los organismos generadores de enfermedades, que podrían

estar presentes en la leche, son destruidos por la pasteurización a 63°C por 30 min., pero la leche no está estéril. Ni hace falta que lo esté, ya que se conservará en un refrigerador y se consumirá generalmente dentro de pocos días. Empero, la leche evaporada, que está destinada a permanecer en una lata a la temperatura del ambiente durante meses y hasta años, debe recibir un tratamiento térmico más completo a fin de asegurar su esterilidad o esterilidad comercial.

Frío

Como hemos dicho antes, la mayoría de las bacterias, levaduras y mohos crecen mejor entre 16° y 38°C. Las basterias psicrofílicas crecen hasta 0°C, el punto de congelación del agua, y aun más abajo. A una temperatura por debajo de los 10°C, sin embargo, el crecimiento es lento y cuanto más baja la temperatura más lento se hace (véase la tabla 17). Cuando el agua en los alimentos está completamente congelada, cesa la multiplicación de los microorganismos. Pero hay que señalar que en algunos alimentos no se congela toda el agua hasta que se alcance una temperatura de −10°C o aun más baja. Esto se debe a los azúcares, las sales y otros componentes disueltos, los cuales deprimen el punto de congelación.

La disminución de la actividad microbiana con el descenso de la temperatura es la base de la conservación por refrigeración y congelación. Sin embargo, es preciso observar que, aunque las temperaturas bajas disminuirán el crecimiento y las actividades de los microbios y pueden matar una cierta porción de la población bacteriana, no se puede contar con que el frío, y ni siquiera la congelación rigurosa, mate todas las bacterias. Esto queda demostrado por los datos de la tabla 18 con respecto a una preparación para helado que fue inyectada con bacterias de ti-

TABLA 18

EFECTO DE LA CONGELACIÓN DE UNA PREPARACIÓN PARA HELADO CON LOS BACILIOS DE TIFOIDEA [1]

Muestras tomadas después de:	*Bacilos de tifoidea por ml de la preparación para helado*
5 días	51.000,000
20 días	10.000,000
70 días	2.200,000
342 días	660,000
430 días	51,000
648 días	30,000
2 años	6,300
2 años 4 meses	Bacilos de tifoidea viables

[1] De Weiser (1962).

foidea. En el almacenamiento congelado el helado aún retenía más de 600,000 bacterias vivas después de un año. No sólo no esteriliza los alimentos la refrigeración y la congelación sino que, en cuanto se saque el alimento del almacenamiento congelado y se le descongele, los organismos sobrevivientes a menudo reinician rápidamente su crecimiento, porque el alimento puede haber sido hasta cierto punto dañado por la refrigeración o congelación.

Los microorganismos fuertes y en proceso de desarrollo pueden contener más del 80% de agua. Obtienen esta agua del alimento en que crecen. Si se elimina el agua del alimento, también se eliminará de las células bacterianas y su multiplicación se detendrá. La deshidratación parcial será menos efectiva que la total, aunque en el caso de algunos microorganismos la deshidratación parcial, como la que se emplea en la concentración, puede ser suficiente para detener el crecimiento y la multiplicación bacterianas. Las bacterias y levaduras generalmente requieren más humedad que los mohos, de manera que estos últimos se hallan a menudo creciendo en alimentos semi-secos en que las condiciones son desfavorables para las bacterias y levaduras. Unos ejemplos son el moho en el pan viejo y las frutas semi-secas.

Unas ligeras diferencias en la humedad relativa dentro de la pieza en que se encuentran, o dentro del envase del alimento, pueden influir mucho en la velocidad con que los microorganismos se multiplican. La figura 75 indica lo que pasó cuando una carne fue almacenada con refrigeración por 20 días con 75% y 95% de humedad relativa (HR). A cada temperatura de refrigeración. la mayor humedad produjo una mayor población bacteriana.

Ya que los microorganismos pueden vivir en una parte del alimento cuya humedad y otras condiciones físicas y químicas tal vez difieran de las de otra área que dista sólo unos pocos centímetros de ésta, tenemos que ocuparnos de las condiciones del "microambiente" de los microorganismos. El término de "actividad acuosa" está relacionado con la humedad relativa. La humedad relativa se define como la relación entre la presión parcial del vapor de agua en el aire y la presión de vapor del agua pura a la misma temperatura. La humedad relativa se refiere a la atmósfera que rodea un material o una solución. La actividad acuosa es una propiedad de las soluciones, y es la relación entre la presión del vapor de la solución y la presión del vapor del agua pura a la misma temperatura. Bajo condiciones de equilibrio, la actividad acuosa equivale a HR/100. Cuando hablamos de las necesidades de oxígeno de los microorganismos, realmente queremos decir más bien la actividad acuosa de su ambiente inmediato, sea éste una solución, una partícula de alimento, o una superficie en contacto con la atmósfera. A la temperatura en que

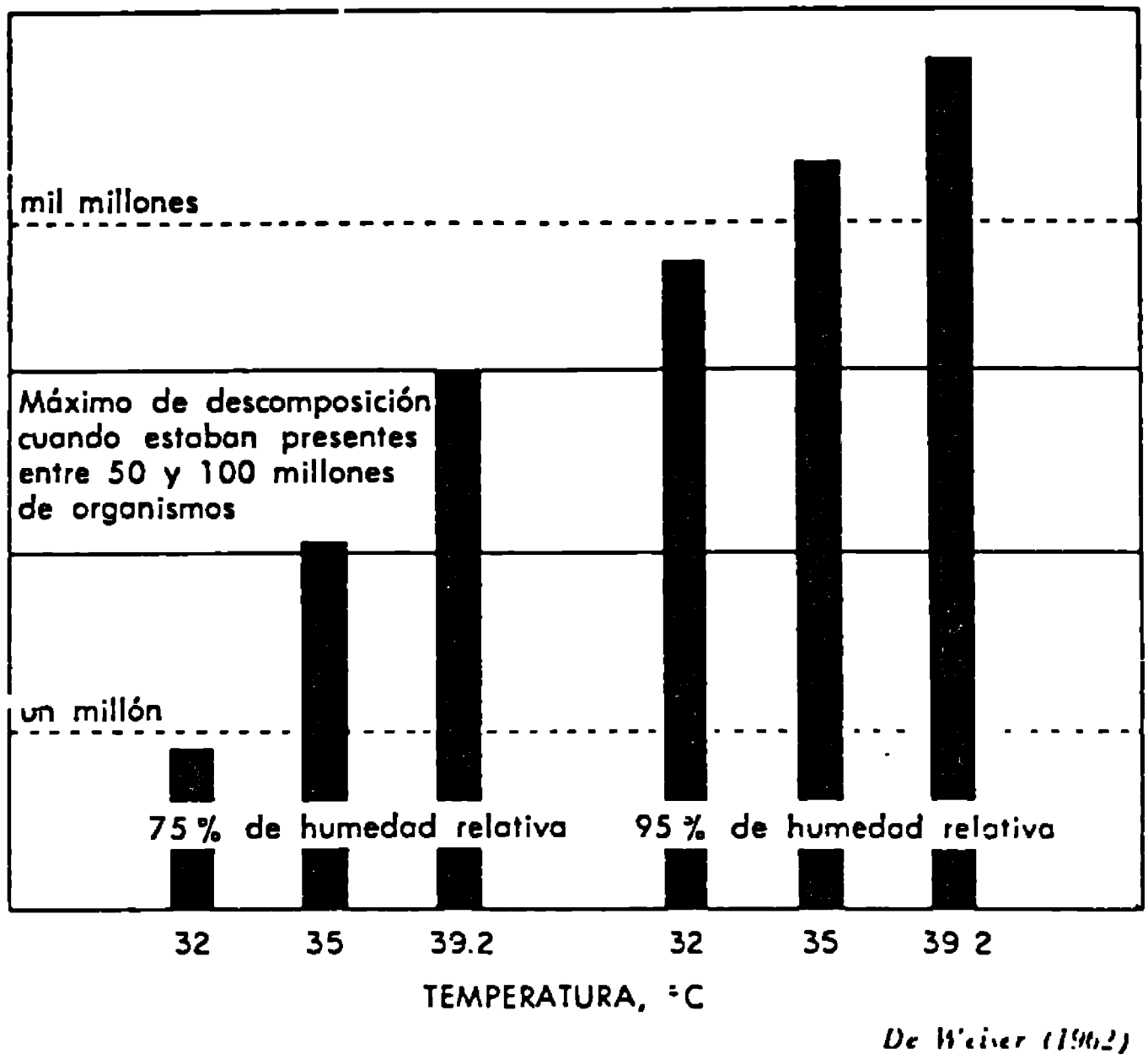


FIG. 75. Efecto de la humedad relativa en el crecimiento de microorganismos en la carne almacenada durante 20 días

generalmente pueden crecer las bacterias, la mayoría de ellas requieren una actividad acuosa entre 0.75 y 1.00. Algunas levaduras y mohos crecen lentamente cuando la actividad acuosa está alrededor de 0.62.

Como ya habíamos dicho, se secan los alimentos, ya sea parcial o completamente, por varias razones, una de las cuales es su conservación contra la descomposición microbiana. Sin embargo, lo mismo que en la congelación, la deshidratación parcial o total en sí no necesariamente mata todos los microorganismos. Puede hasta conservarlos como conserva el alimento, y los alimentos desecados distan mucho de estar estériles. Aunque las bacterias no crezcan en el alimento deseado, si se le vuelve a humedecer inadvertidamente o a reconstituir intencionalmente, el crecimiento bacteriano volverá a empezar, a menos que el alimento se consuma rápidamente o se conserve refrigerado.

Acido

Si está suficientemente concentrado, el ácido "desnaturaliza" las proteínas bacterianas al igual que las del alimento, de manera que los microorganismos son sensibles al ácido. Algunos son mucho más sensibles que

otros, y el ácido producido por un tipo de organismo durante la fermentación a menudo inhibe la proliferación de otro tipo. Este es uno de los principios en que se basa la fermentación bajo control, como medio de conservación de los alimentos contra los organismos proteolíticos y otros tipos que causan su descomposición.

Se puede producir ácido en los alimentos al añadir cultivos generadores de ácido, cuidadosamente seleccionados, o se pueden añadir ácidos más directamente en forma de sustancias químicas; unos ejemplos son el ácido cítrico y el ácido fosfórico que se agregan a los refrescos. Varios alimentos, como los tomates, los jugos cítricos y las manzanas, tienen acidez natural. En cada caso individual el ácido tiene un grado diferente de poder de conservación. Este poder se debe en gran parte directamente a la concentración de iones de hidrógeno, que se expresa en términos de pH, pero dos ácidos que producen el mismo pH pueden tener grados diferentes de poder de conservación, ya que los aniones de algunos ácidos también ejercen una influencia. Conviene reconocer que el grado de acidez tolerable en los alimentos desde el punto de vista del sabor nunca es suficiente en sí para asegurar la esterilidad de los alimentos.

Como hemos dicho antes, al combinar ácido y calor, este último se vuelve más destructivo para los microorganismos. Esto se ve en la tabla 19 por lo referente a los requisitos para la destrucción de las esporas de la bacteria anaerobia generadora de toxina *clostridium botulinum.*

TABLA 19

TIEMPO REQUERIDO PARA DESTRUIR LAS ESPORAS VIABLES DEL *clostridium botulinum* EN DIVERSOS ALIMENTOS Y A VARIOS NIVELES DE pH [1]

Clase de alimento	*pH del alimento*	*Temperatura*				
		89°C	*94°C*	*100°C*	*104°C*	*107°C*
		Minutos				
Maíz molido	6.95	600	495	345	34	10
Maíz	6.45	555	465	255	30	15
Espinacas	5.10	510	345	225	20	10
Ejotes	5.10	510	345	225	20	10
Calabaza	4.21	195	120	45	15	10
Peras	3.75	135	75	30	10	5
Ciruelas	3.60	60	20			

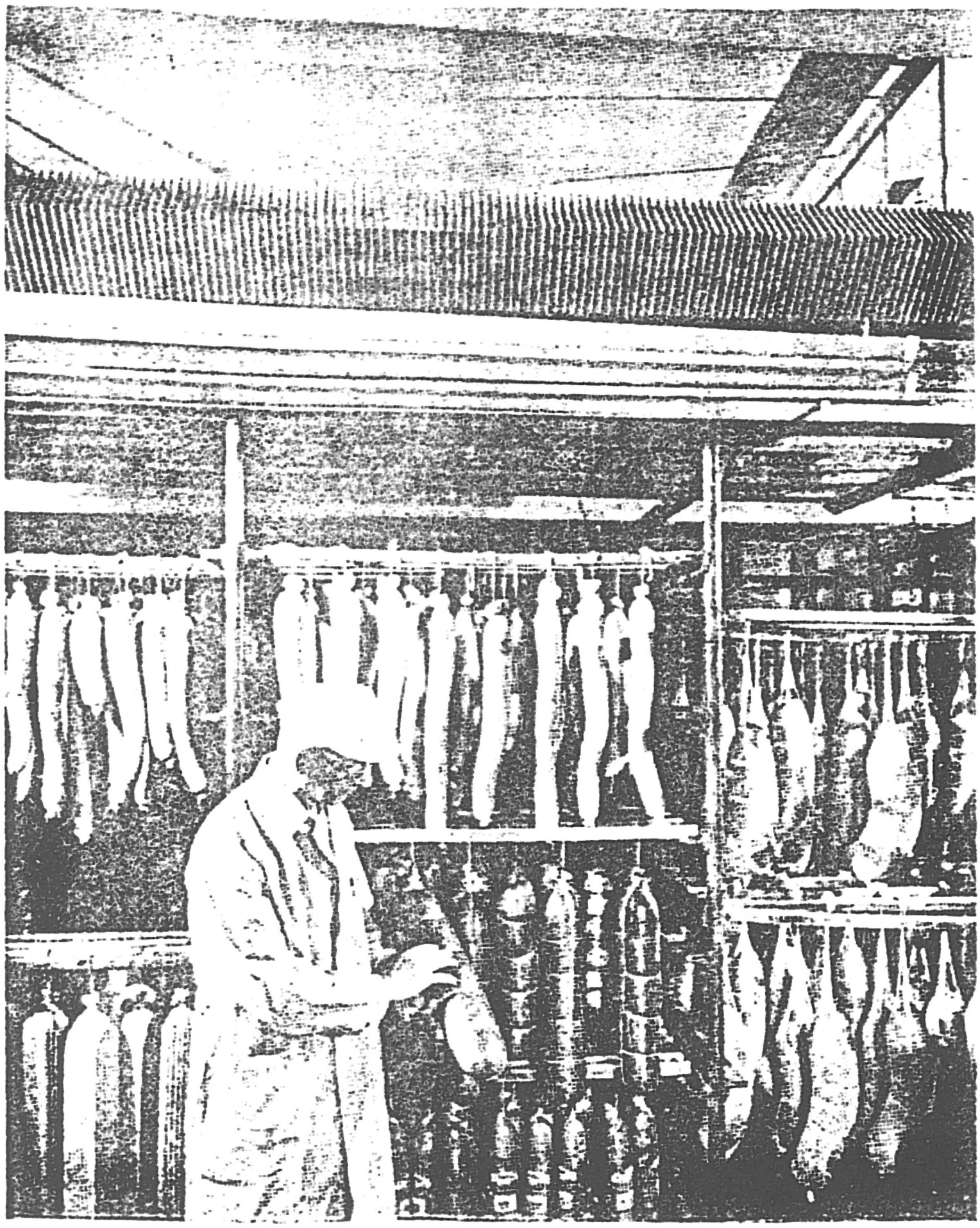
[1] De Weiser (1962).

Azúcar y sal

Conservamos frutas colocándolas en almíbar, y conservamos algunos productos de carne colocándolos en salmuera. ¿Cómo funciona esto?

Las bacterias, levaduras y mohos están contenidos por membranas celulares. Estas membranas permiten que el agua entre y salga de las cé-

lulas. Los microorganismos activos pueden contener arriba del 8% de agua. Cuando las bacterias, levaduras y mohos se colocan en un almíbar espeso o una salmuera, el agua en sus células sale por la membrana y entra al almíbar o la salmuera. Este es el muy conocido proceso de ósmosis; en este caso el agua se traslada de la célula con su contenido aproximado de 80% de agua, al almíbar o salmuera que tal vez contenga sólo un 40 ó 30% de agua. La tendencia a igualar la concentración de agua dentro y fuera de la célula en este caso causa la deshidratación parcial



Cortesía de Vilter Corp.

FIG. 76. El humo se combina con otros preservativos en varios productos de salchichonería

de la célula, conocida como plasmólisis, que obstaculiza la multiplicación de los microorganismos. Se puede lograr lo opuesto colocando los microorganismos en agua destilada. Entonces el agua puede entrar a las células y hacer que revienten. Esto se conoce como plasmóptisis, pero rara vez ocurre en productos alimenticios.

Los diversos organismos tienen diferentes grados de resistencia a la ósmosis, al azúcar y a la sal. Las levaduras y los mohos son más resistentes que la mayoría de las bacterias y es por eso que a menudo se encuentran desarrollándose en productos con mucha azúcar o sal, como, por ejemplo, la mermelada de fruta en que las bacterias se inhiben.

Humo

Como en el caso de la mayoría de los métodos de conservación el humo se utilizaba mucho antes de que se entendieran las razones de su efectividad. Al conservar alimentos como la carne y el pescado mediante el humo, la acción preservativa deriva generalmente de una combinación de factores. El humo contiene sustancias químicas preservativas, tales como pequeñas cantidades de formaldehido y otros materiales que provienen de la quema de la madera. Estos son desfavorables a los microorganismos. Además, el humo está generalmente acompañado por el calor que ayuda a matar los organismos. Este calor también tiende a secar hasta cierto punto el alimento, lo cual contribuye más a su conservación. El ahumar arriba de un fuego puede ser muy efectivo para conservar algunos alimentos; pero también a veces se añade humo sólo para dar sabor a los alimentos, es decir, sin el calor de la combustión. En este caso, contribuirá poco a la conservación. En los productos de carne que se ven en la figura 76, el humo combinado con otros preservativos se emplea más por su sabor que por su acción preservativa.

Aire

Hemos hablado de las necesidades diferenciales que los microorganismos tienen de oxígeno, y de algunos de los medios de eliminar aire y oxígeno. A fin de controlar los organismos generadores de la descomposición, que lo requieren, eliminamos el aire: para los que no lo toleran, lo suministramos. A menudo resulta relativamente fácil excluir el aire de organismos aerobios como los mohos. El revestimiento de cera de los quesos, o las películas de plástico herméticas e impermeables al oxígeno suelen ser muy efectivas. El control de los organismos que son estrictamente anaeróbios por el suministro de aire puede resultar más difícil y más peligroso, especialmente tratándose de alimentos en unidades grandes. La razón es que el centro del alimento puede estar en condiciones anaero-

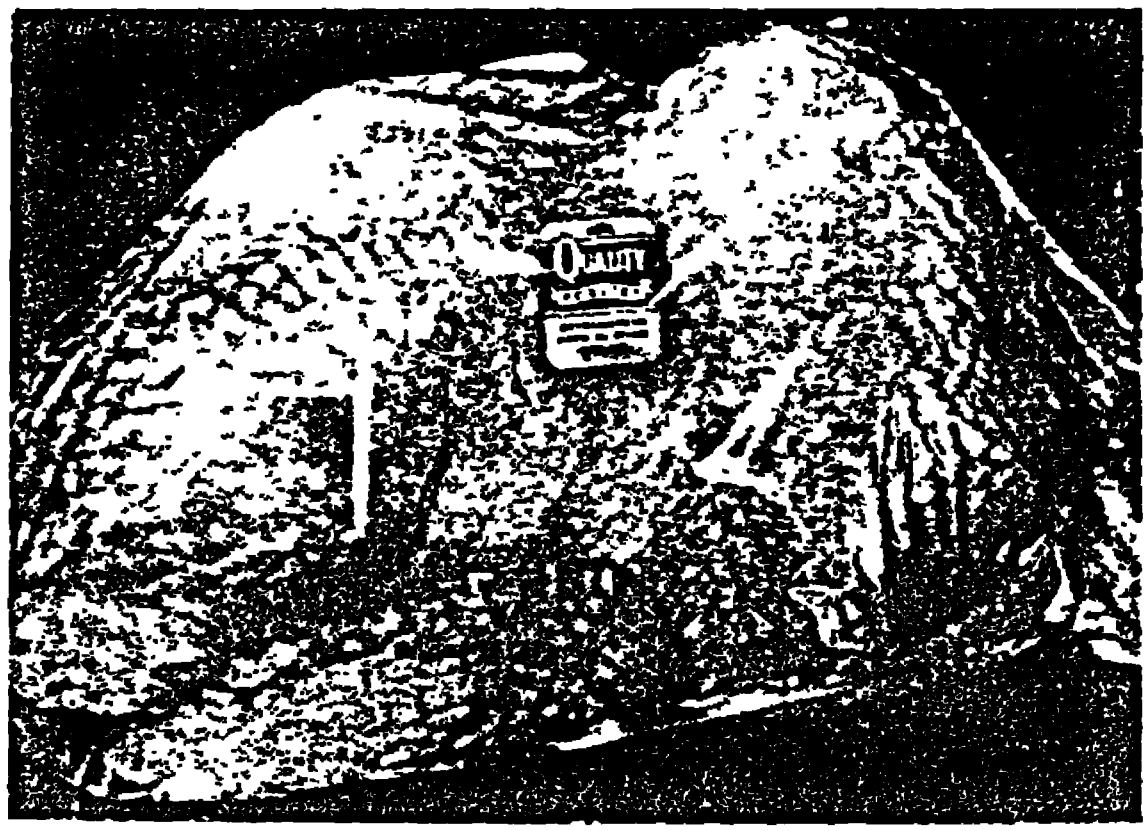
bias aunque se deje aire en el espacio en la parte superior del envase Además, algunos organismos cōnsumen oxígeno y así convierten un microambiente que era aerobio en un ambiente anaerobio favorable a otros organismos. De manera que, para conservar los alimentos contra el *clostridium botulinum,* se requieren generalmente otras medidas además de la inclusión de aire.

Productos químicos

Muchos productos químicos pueden matar a los microorganismos o detener su crecimiento, pero no se permite el uso de la mayoría de éstos en los alimentos. Unos pocos que son permitidos incluyen: benzoato de sodio, ácido sórbico, propionato de sodio, propionato de calcio, formiato de etilo y dióxido de azufre; todos éstos se prescriben en cantidades muy pequeñas y eso sólo en determinados alimentos.

El uso de productos químicos en los alimentos para controlar los microorganismos, o con cualquier otra finalidad, está relacionado con la cuestión más amplia de los aditivos permisibles, la cual será tratada en un capítulo posterior. Actualmente, la Ley de Pureza de los Alimentos, administrada por la Secretaría de Salubridad, Educación y Bienestar a través de la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) de los E.U.A., determina cuáles productos químicos pueden ser empleados en los alimentos y en qué condiciones. Los nuevos productos químicos para los que se solicita la aprobación tienen que ser sometidos a una serie de pruebas rigurosas, y la responsabilidad de la comprobación de su seguridad recae sobre el productor o el usuario. La FDA también se reserva el derecho de revocar sus decisiones y prohibir el uso de productos químicos ya aprobados si nuevos conocimientos relativos a su seguridad justifican tal acción. El estado legal de muchos productos químicos puede cambiar en cualquier momento dado. Una clase interesante de productos químicos que demuestran este hecho es la de los antibióticos.

Varios antibióticos son efectivos en grado variable contra los organismos generadores de la descomposición; entre ellos, algunos de los más interesantes han sido la penicilina, la estreptomicina, la clorotetraciclina (aureomicina), la oxitetraciclina, la bacitracina y la subtilina. De éstos, la clorotetraciclina y la oxitetraciclina recibieron la aprobación de la FDA para uso limitado como un baño preservativo destinado a prolongar la vida en el almacenamiento de aves y pescado crudos y refrigerados (Fig. 77). Se subrayó el hecho de que los alimentos no estuvieran cocidos, ya que el subsecuente cocimiento normal sería necesario a fin de inactivar el antibiótico residual que, de otra manera, permanecería en la piel o en los tejidos. La inactivación era deseable porque no se conocían,



De Weiser (1962)

FIG. 77. La vida de almacenamiento de aves fue prolongada mediante un baño en oxitetraciclina

ni se conocen plenamente todavía todos los efectos colaterales que puede causar este producto químico cuando es ingerido por el hombre. En 1967, después de varios años de uso comercial limitado, la FDA reevaluó toda la evidencia disponible y desaprobó el uso antes mencionado de estos antibióticos, estimando que podrían tener efectos indeseables de largo alcance, tales como la promoción de especies resistentes de bacterias por medio de la selección, y a veces provocar reacciones fisiológicas adversas en los adultos. Además, se ha creado oposición a su uso porque ofrecían un sustituto a las buenas prácticas sanitarias. Hoy en día en los Estados Unidos, ningún antibiótico puede ser añadido como preservativo a los alimentos que serán consumidos directamente por los humanos, aunque sí se permite su añadidura a los alimentos animales, y esto se hace comúnmente.

Radiaciones

Los microorganismos pueden ser inactivados en grado variable por diferentes clases de radiaciones. Los rayos X, las microondas, la radiación de luz ultravioleta y las radiaciones ionizantes, son clases de radiaciones electromagnéticas, de diferentes longitudes de onda, que se han utilizado para conservar alimentos.

De todas estas radiaciones se puede decir que las dosis requeridas para esterilizar completamente la mayoría de los alimentos e inactivar sus enzimas naturales, son generalmente excesivas o, por lo menos, están en el límite, desde el punto de vista de óptima calidad; todas pueden originar

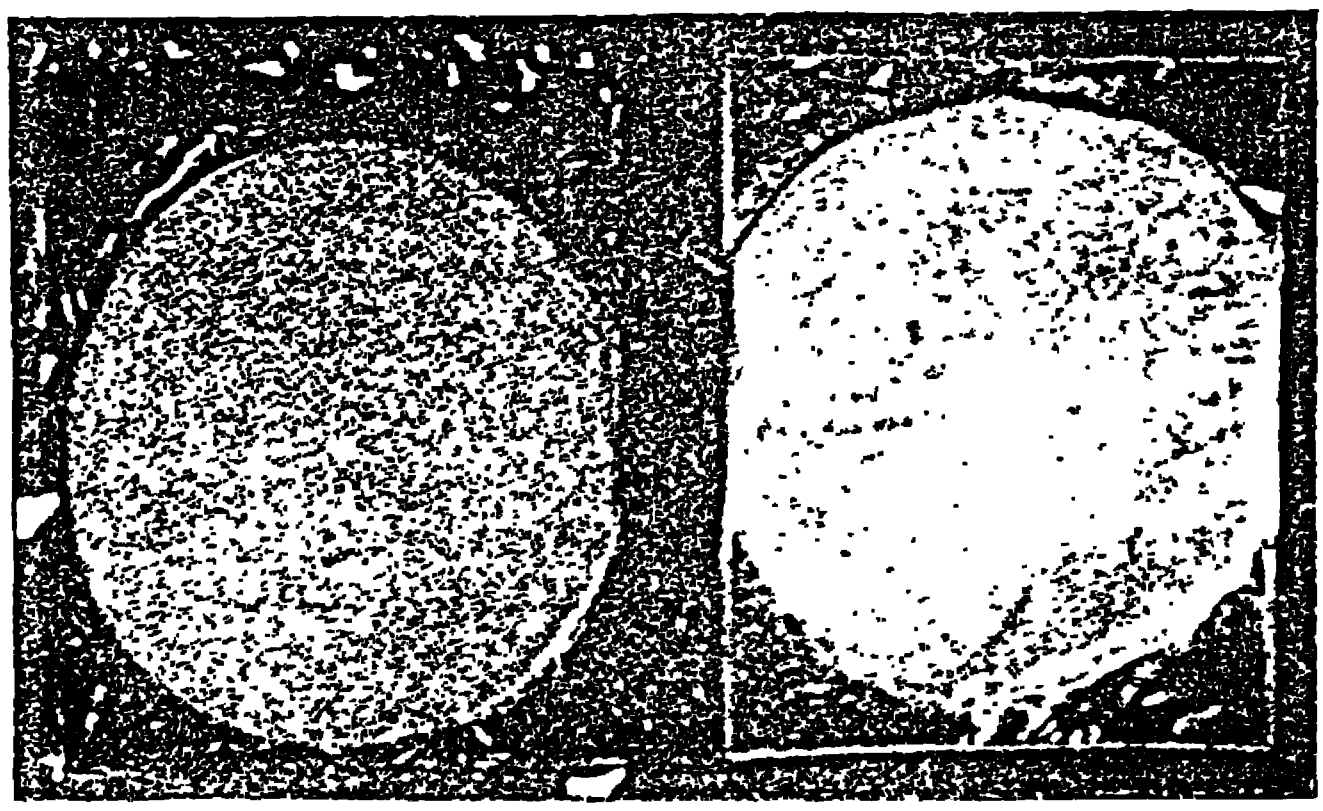
defectos de sabor, color, textura o nutrición en una amplia variedad de productos alimenticios. Dosis menores que las de esterilización parecen ser más útiles en la mayoría de los casos para alargar el período en que el alimento puede conservarse.

El término alimentos irradiados hoy en día se aplica generalmente a los alimentos irradiados mediante radiaciones ionizantes, tales como las que se obtienen de isótopos radioactivos o aceleradores de electrones. Esta forma de irradiación no produce ningún aumento importante en la temperatura, por lo que se ha empleado, al referirse a ella, el término de "esterilización fría"

La figura 78 muestra dos piezas de carne envueltas, una irradiada y la otra no irradiada, después de un almacenamiento prolongado. El sector militar se ha interesado especialmente por la conservación de las raciones de campo mediante radiaciones. Recientemente se han aprobado en los Estados Unidos y otros países la esterilización y pasteurización de varios alimentos por medio de la irradiación en dosis específicas. Lo mismo que en el caso de los aditivos químicos, la seguridad de los alimentos irradiados en los Estados Unidos cae bajo la jurisdicción de la FDA. La irradiación de los alimentos será tratada más detalladamente en un capítulo posterior.

Control de las enzimas y otros factores

Gran parte de lo que se ha dicho en este capítulo respecto al control de los factores de descomposición se refiere específicamente a los micro-



Cortesía de U. S. Army Natick Laboratories

FIG. 78. La vida de almacenamiento de la carne puede ser prolongada por medio de radiaciones (izquierda: carne irradiada: derecha: no irradiada)

organismos. Este énfasis se justifica porque las mayores pérdidas causadas en la provisión mundial de alimentos se deben a estos microorganismos. Además, la conservación de los alimentos contra el deterioro debido a las enzimas naturales contenidas por ellos, probablemente la segunda causa de su descomposición, aplica muchos de los mismos principios y métodos de conservación contra la descomposición microbiana.

Sabemos que se controlan los microorganismos por medio de calor, frío, deshidratación, ciertos productos químicos y radiaciones, y éstos son también los principales medios empleados para controlar e inactivar los tipos dañinos de enzimas naturales de los alimentos. De hecho, cuando se esterilizan o pasteurizan los alimentos a fin de inactivar los microorganismos, las enzimas naturales son destruidas parcial o completamente de manera simultánea. Asimismo, cuando se emplea el frío para disminuir la actividad microbiana, éste también retarda la actividad de las enzimas.

Lo importante, sin embargo, es que algunas de estas enzimas pueden ser más resistentes que algunos microorganismos a los efectos del calor, el frío, la deshidratación, las radiaciones y otros medios de conservación. De manera que un tratamiento por calor o radiación, que destruye efectivamente las bacterias, puede dejar ciertas enzimas naturales dañinas casi intactas, de modo que sigan provocando la descomposición del alimento. Sobre este tema no es posible hacer muchas generalizaciones categóricas; más bien las condiciones específicas de conservación deben ser elegidas de acuerdo con los patrones individuales de descomposición de cada alimento. Sin embargo, en dos áreas generales de conservación sobre todo, la irradiación y la congelación, hallamos con frecuencia que unas condiciones que destruyen o retardan la actividad de los microorganismos, dejan las enzimas aun funcionalmente activas.

En cuanto a la conservación contra otros factores, tales como la humedad, la sequedad, la luz y el aire, se emplea generalmente un tipo de envase que proporciona buena protección a fin de resguardar los alimentos procesados. Los insectos y los roedores también son controlados en gran parte por el envasado protector combinado con buenas medidas sanitarias.

BIBLIOGRAFIA

ANON. 1953. *When in Doubt Throw It Out.* Ohio Dept. of Health. Columbus. Ohio

CARPENTER, P. L. 1961. *Microbiology.* W. B. Saunders Co., Philadelphia.

CLIFTON, C. E. 1957. *Introduction to Bacterial Physiology.* 1a. Edición. McGraw-Hill Book Co., New York.

DACK, G. M. 1956. *Food Poisoning,* 3a. Edición. University of Chicago Press. Chicago.

DESROSIER. N. W. 1963. *The Technology of Food Preservation.* Avi Publishing Co.. Westport. Conn.

DESROSIER, N. W. y ROSENSTOCK, H. M. 1960. *Radiation Technology in Food, Agriculture and Biology*. Avi. Publishing Co., Westport, Conn.

DYKSTRA, W. W. 1966. *Damage by rodents and other wildlife*. En Protecting Our Food. The Yearbook of Agriculture. 1966. U. S. Dept. Agr., Washington, D. C.

FOOD PROTECTION COMMITTEE. 1959. *Principles and Procedures for Evaluating the Safety of Food Additives*. Natl. Acad. of Sci. Natl. Res. Council Publ. *749*, Washington, D. C.

FRAZIER, W. S. 1958. *Food Microbiology*. McGraw-Hill Book Co., New York.

GOLDBERG, H. S. 1959. *Antibiotics; Their Chemistry and Non-Medical Uses*. D. Van Nostrand Co., Princeton, N. J.

GOLDBLITH, S. A., JOSLYN, M. M., y NICKERSON, J. T. R. 1961. *An Introduction to the Thermal Processing of Foods*. Avi Publishing Co., Westport, Conn.

GRAY, W. D. 1959. *The Relation of Rungi to Human Affairs*. Henry Holt Co., New York.

HAMMER, B. W., y BABEL, F. J. 1957. *Dairy Bacteriology*, 4a. Edición. John Wiley and Sons, New York.

HARDENBURG, R. E. 1966. *Packaging and protection*. En Protecting Our Food. The Yearbook of Agriculture 1966. U. S. Dept. Agr. Washington, D. C.

HARRIS, K. L. 1946. *Annotated bibliography of methods for the examination of foods for filth*. J. Assoc. Offic. Agr. Chem. *24*, 201-210.

HOFFMANN, C. H., y HENDERSON, L. S. 1966. *The fight against insects*. En Protecting Our Food—The Yearbook or Agriculture 1966. U. S. Dept. Agr., Washington, D. C.

JENSEN, L. B. 1954. *Microbiology of Meats*. Garrard Press, Champaign, Ill.

NORD, F. F. 1961. *Advances in Enzymology 23*. Interscience Publishers, New York.

NUNHEIMER, T. D., y FABIAN, F. W. 1940. *Influence of organic acids, sugars, and sodium chloride upon strains of food poisoning staphylococci*. Am. J. Public Health *30*, 1040-1049.

OUGH, C. S., ROESSLER, E. B., y AMERINE, M. A. 1960. *Effects of sulfur dioxide, temperature, time, and closures on the quality of bottled dry white table wines*. Food Technol. *14*, 352-356.

RANGASWAMI, G., 1966. *Agricultural Microbiology*. Asia Publishing House, New York.

RANIERE, L. C. 1966. *Weather and food*. En Protecting Our Food—The Yearbook of Agriculture 1966. U. S. Dept. Agr., Washington, D. C.

SCHULTZ, H. W. (Editor) 1960. *Food Enzymes*. Avi Publishing Co., Westport, Conn.

TANNER, F. W. 1944. *The Microbiology of Foods*. Garrard Press, Champaign, Ill.

THATCHER, F. S. 1958. *Microbiological standards for foods*. Food. Technol. *12*, 117-122.

TRESSLER, D. K., y EVERS, C. F. 1957. *The Freezing Preservation of Foods*, 2 Vols. Avi Publishing Co., Westport, Conn.

VAN ARSDEL, W. B., y COPLEY, M. J. (Editor). 1963-1964. *Food Dehydration*, 2 Vols. Avi Publishing Co., Westport, Conn.

WEISER, H. H. 1962. *Practical Food Microbiology and Technology*. Avi Publishing Co., Westport, Conn.

WRIGHT, R. C., ROSE, D. H., y WHITEMAN, T. M. 1954. *The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stock*. U. S. Dept. Agr. Handbook *66*. Washington, D. C.

B. **Referencia bibliográfica**

- Los subtemas desarrollados en esta parte comprendidos entre el 1 y el 15 y 18 fueron tomados de Modern Biology. Editorial Helt, Rinehart and Winston Inc., U.S.A. 1991.

- Los subtemas 16 y 17 fueron tomados de Bioquímica de Harper. Editorial el Manual Moderno S. de C.V. México, 1988 p 142.

- El subtema 19 de la obra. La Ciencia de los Alimentos, de Norman. N. Potter. Editorial Edutex, México D.F., 1978.

TERCERA PARTE

CONCEPTOS BASICOS DEL PROCESO ALIMENTARIO NUTRICIONAL

TABLA DE CONTENIDO

		PAGINA
I.	OBJETIVOS	161
	A. GENERAL	161
	B. ESPECIFICOS	161
II.	FACTORES CONDICIONANTES DEL ESTADO NUTRICIONAL	161
	A. INTRODUCCION	161
	B. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PRODUCCION Y DISPONIBILIDAD DE ALIMENTOS	164
	C. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL CONSUMO DE ALIMENTOS	165
	D. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA UTILIZACION BIOLOGICA DE LOS ALIMENTOS	166
	E. ACTIVIDAD Y PRACTICA SUGERIDA	168
III.	CONCEPTOS BASICOS DE ALIMENTACION Y NUTRICION HUMANA	169
	A. INTRODUCCION	169
	B. NUTRIENTES	170

PAGINA

C. GRUPOS TRADICIONALMENTE VULNERABLES 174

D. APORTE NUTRITIVO DE LOS PRINCIPALES GRUPOS DE ALIMENTOS 175

E. COMPOSICION DE UNA DIETA EQUILIBRADA 183

F. ACTIVIDADES PRACTICAS SUGERIDAS 184

G. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 187

H. ANEXO 189

I. OBJETIVOS

A. Objetivo general:

Al concluir el estudio de esta segunda parte el participante podrá enunciar los conocimientos fundamentales de alimentación y nutrición humana.

B. Objetivos específicos:

El participante estará en capacidad de:

1. Describir brevemente los factores que condicionan el estado nutricional de las poblaciones.
2. Definir los conceptos fundamentales de alimentación y nutrición.
3. Describir las funciones de los nutrientes.
4. Distinguir el aporte nutritivo de los diferentes grupos de alimentos.
5. Describir las características de una dieta equilibrada.

II. FACTORES CONDICIONANTES DEL ESTADO NUTRICIONAL*

A. Introducción

Un adecuado suministro de alimentos es esencial para vivir, no sólo para prevenir la desnutrición, sino que también como factor de bienestar, productividad y desarrollo de los individuos.

Es esencial conocer la cantidad y calidad de alimentos ingeridos por la población, ya sea a nivel nacional, regional o local y también saber si ellos cubren las necesidades nutricionales.

La diferencia entre las poblaciones puede depender de las condiciones rurales, suburbanas y urbanas, estructura o composición por edad, condiciones fisiológicas, características culturales y socioeconómicas. Por lo tanto, la suficiencia de un sistema de

---

* El contenido que se encuentra en las páginas 1-15 fue tomado del libro de la FAO. **Enseñanza de nutrición en la Agricultura. Un enfoque multidisciplinario, 2a. edición, 1988.**

alimentación para hacer frente a las necesidades nutricionales, variará en los distintos países, regiones y zonas continentales. La malnutrición o, en cambio, el buen estado nutricional de los individuos dependerá de:

Primero: La producción de alimentos de calidad como parte importante del uso eficiente de los recursos en la producción agropecuaria.

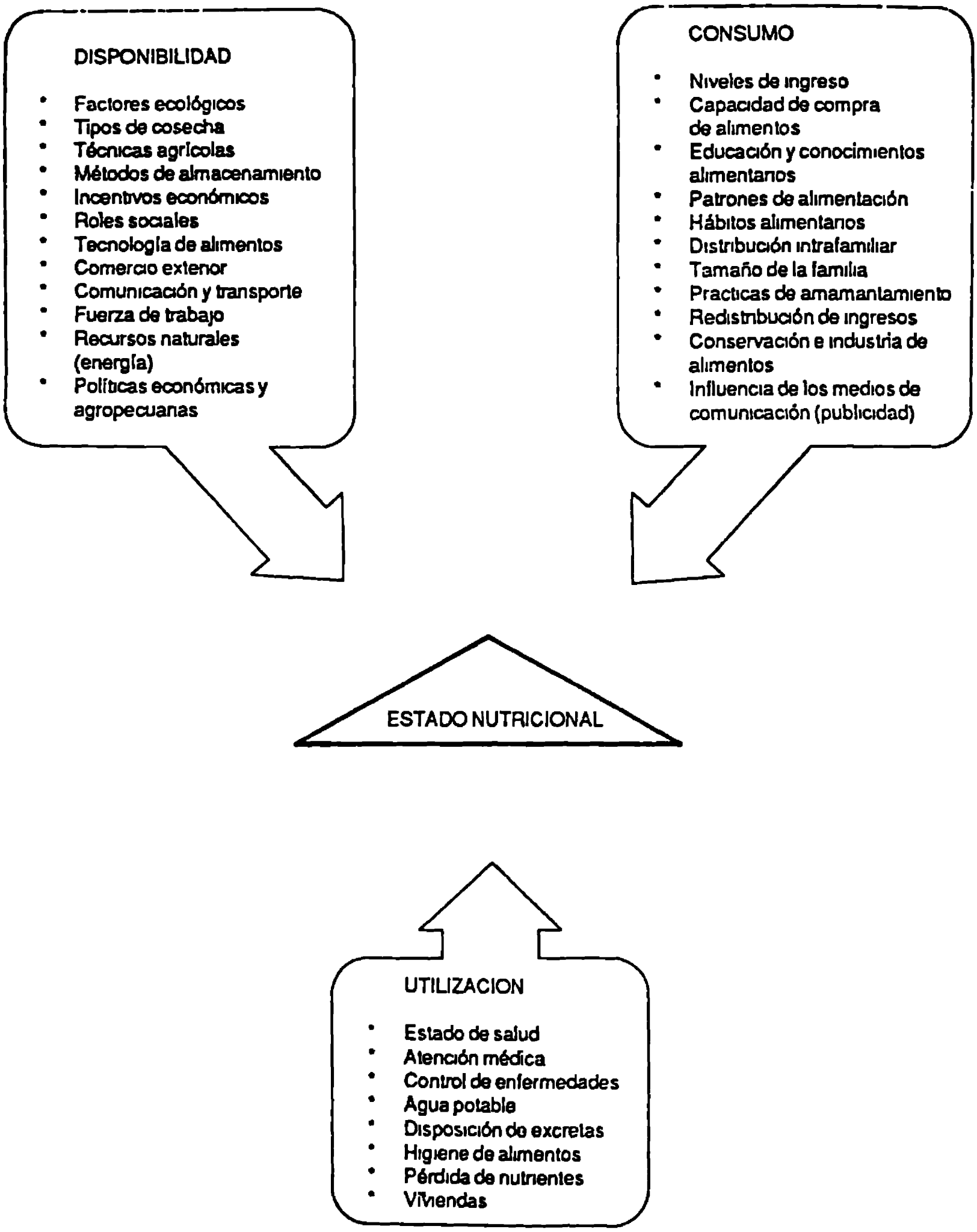
Segundo: La disponibilidad de alimentos en cantidad y calidad suficiente como para cubrir la necesidad nutricional de toda la población (producidos o importados).

Tercero: El consumo y demanda de alimentos dependerá de los precios, de la capacidad de compra de alimentos, patrones o hábitos alimentarios y accesibilidad a los alimentos. La elaboración y transformación de los alimentos tiene también una influencia creciente.

Cuarto: La utilización biológica de los alimentos (dentro del organismo) dependerá del estado de salud de los individuos, y de la influencia de las condiciones ambientales, tales como agua potable, eliminación de excretas, higiene de los alimentos, vivienda, medios para elaborar los alimentos, la prevalencia y grado de control de algunas enfermedades, etc.

Quinto: La interacción de los factores que influencian la disponibilidad, consumo y utilización biológica de los alimentos con las características de la población pueden traducirse en buen o mal estado nutricional (como se indica en el esquema siguiente), el cual se usa como indicador de la calidad de vida.

FACTORES DEL SISTEMA DE ALIMENTACION Y NUTRICION QUE INFLUYEN EN EL ESTADO NUTRICIONAL



El grado de influencia de los factores del sistema de alimentación y nutrición, que inciden en el estado nutricional, variará de una área a otra, pero probablemente los más importantes son la cantidad, calidad y variedad de los alimentos disponibles, los niveles de ingreso, los conocimientos sobre nutrición y las condiciones ambientales y de salud.

B. Factores que influyen en la producción y disponibilidad de alimentos

1. **Factores ecológicos:** la fertilidad y aptitud del suelo, el clima, y la cantidad y tenencia de tierra disponible influirán en las variedades cultivadas y producidas, especialmente cuando no se utilizan métodos de cultivo intensivo.

2. **Tipo de cosecha:** las cantidades de los diferentes alimentos producidos y el patrón de producción estacional afectan de modo importante el estado nutricional en niveles de subsistencia. A menudo, existe una estación de "hambruna" debida a diversas razones, por ejemplo, cuando se siembra uno o dos rubros y se cosecha una o dos veces al año. Dependiendo del tipo de régimen de propiedad, los cultivos permanentes pueden que no se establezcan fácilmente.

3. **Manejo de los cultivos:** la mecanización, el uso de equipos de alto rendimiento, abonos, riego, y explotación agropecuaria intensiva aumentan la productividad, técnicas posibles sólo para el agricultor comercial.

4. **Métodos de almacenamiento:** los métodos y bodegas para almacenamiento pueden dar como resultado pérdidas de alimentos de hasta un 30%. Deberán conocerse las pérdidas que se producen con varios métodos comunes y control periódico.

Es importante la accesibilidad para asegurar los suministros de semillas de calidad, fertilizantes y medios de distribución al mercado.

5. **Incentivos para producir:** la motivación por aumentar la producción se ve obstaculizada por los medios de comercialización y precios inadecuados. Si no se dispone de facilidades crediticias, con intereses razonables, los agricultores no podrán adoptar métodos mejores.

6. **Roles sociales:** en muchos países en desarrollo, la mujer produce el alimento para el consumo del hogar. Los programas de extensión dirigidos a las mujeres deberán enfatizar el modo de mejorar la calidad y cantidad de los alimentos producidos, y un mejor aprovechamiento.

7. **Tecnología de los alimentos:** tiene hoy un efecto creciente, incluso en las comunidades locales y rurales.

8. **Comercio exterior:** déficit o superávit con respecto a las necesidades del ser humano (ej.: cosechas comerciales en los países en desarrollo). Más valedero es a nivel local en comunidades pobres.

C. Factores que influyen en el consumo de alimentos

1. **Niveles de ingreso y capacidad de compra de alimentos:** en general, a medida que el nivel de ingresos crece, la cantidad y calidad de la dieta tiende a mejorar. Aunque la introducción de los cultivos comerciales eleva los niveles de ingreso, la calidad de la dieta del campesino puede que no mejore. Los cultivos comerciales pueden reemplazar a la producción de alimentos para el consumo del hogar y la ganancia que se obtiene con un cultivo comercial (o por cualquier otro medio) puede que no se utilice para comprar alimentos (o alimentos, de un buen valor nutritivo).

2. **Conocimientos sobre nutrición y patrones de alimentación:** los conceptos erróneos, de los valores nutritivos y de los requerimientos alimentarios son comunes en todos los países del mundo. A menudo, no se consideran las necesidades alimentarias, especialmente la de los niños. Generalmente, una "sopa" o un "jugo de carne" se considera como alimento adecuado para los niños pequeños. Si sólo se toma una comida al día, la ingestión de alimentos, especialmente la de los niños, es seguramente inadecuada.

3. **Hábitos alimentarios y conocimientos de nutrición:** en algunos países como Brasil y Perú, las culebras y los monos se comen, pero en otros no. Puede que los cuyes se coman en una parte del país, pero no en las otras. Las leyes religiosas pueden que no acepten el consumo de ciertos alimentos (cerdo, etc.). La textura, el color y sabor influyen en la preferencia de los alimentos. Hay también alimentos no aceptados en ciertos estratos sociales.

4. **Distribución de alimentos dentro de la familia:** los padres pueden tener prioridad para elegir cierto tipo de alimentos. Los tabúes pueden limitar la variedad de los alimentos disponibles para los diferentes grupos de edad y sexo.

5. **Prácticas de destete:** las prácticas de destete precoz son comúnmente las causas más importantes de desnutrición en el menor de 2 años en muchos países de América Latina.

6. **La industria alimentaria:** en forma creciente a causa de su acelerado desarrollo, está influyendo en forma importante en las diferentes etapas de la cadena alimentaria. Así favorece la producción de alimentos en cantidad y calidad al ser vehículo de divulgación tecnológica, de organización de los

productores y de especialización y control de calidad de las producciones alimentarias.

Influye en el proceso de comercialización al aminorar fuertemente la perecibilidad y la estacionalidad propia de la producción agropecuaria a través de procesos de transformación y conservación. Estos procesos significan concentración e higienización, mejorandö el transporte, fraccionamiento y control de calidad.

Un tercer aspecto de alta importancia es que mejora la calidad del alimento como tal, porque implica selecciones por calidad de las producciones, da estabilidad al alimento que va al consumidor, y facilita un control efectivo del producto final. Además disminuye algunos tipos de pérdidas en transporte, ventas de minoristas y desperdicios hogareños.

Como desventajas detectadas en el presente, se detecta en primer lugar el encarecimiento de los nutrientes al privilegiar la elaboración muy refinada de fantasía disminuyendo el contenido nutritivo y elevando sus costos (postres, yogur, leches con sabores en lujosos envases en lugar de leche). Hoy es común, pagar un mayor precio por el menor contenido calórico de muchos productos (pan, margarinas, leches descremadas, etc).

Todo lo anterior incentivado por agresivas y costosas campañas de publicidad, cuyo valor debe agregarse al producto publicitado.

Finalmente y también como desventaja alimentaria, canaliza muchos recursos productivos hacia la industrialización de rubros sin ningún o escaso valor nutricional, sólo porque su producción y proceso es más rentable por los altos precios del producto final. Es el caso de los alcoholes y otros estimulantes como el café, té, tabaco y yerba mate, en entre los más comercializados.

D. Factores que influyen en la utilización biológica de los alimentos

1. **Estado de salud:** las infecciones y fiebres a menudo causan pérdida del apetito o crean dificultad para ingerir los alimentos; los parásitos, como los áscaris, reducen la utilización de los alimentos al igual que otras enfermedades gastrointestinales.

   Una buena salud, especialmente en los niños, se relaciona generalmente con una buena utilización biológica de los alimentos dentro del organismo.

2. **Acceso a la atención médica y control de las enfermedades:** la atención del niño y de la madre, las inmunizaciones, los servicios clínicos y las actividades de educación en salud mejoran el estado nutricional, especialmente en el menor de 2 años.

3. **Condiciones ambientales:** la existencia de agua potable y medios de eliminación de excretas prevendrá las enfermedades que alteran la utilización biológica, y también facilita la higiene personal y la de los alimentos cuya importancia nadie desconoce.

La higiene de la vivienda y los utensilios para cocinar los alimentos previenen enfermedades y contribuyen a disminuir los desperdicios de comida y las pérdidas al elaborarlas.

Las defunciones por enfermedades diarreicas otras para las cuales las medidas de ataque se basan especialmente en el control del ambiente, continúan siendo una elevada proporción de las muertes totales. Al promediar la década de 1970-80, algunos países del Istmo Centroamericano, mostraban que más de un 20% de todas las defunciones se debieron a tal grupo de enfermedades. Igualmente en el Area Andina, se estima que la proporción de defunciones por estas causas alcanza aún el 10%.

Nota: En el anexo que se encuentra al final de esta parte, usted puede complementar su estudio sobre factores condicionantes del estado nutricional.

E. Actividad práctica sugerida

Basándose en el esquema titulado "Factores del sistema de alimentación y nutrición que influyen en el estado nutricional", y de acuerdo con su disciplina, complete el siguiente cuadro escribiendo los factores que tienen mayor relación con las causas reales de la situación nutricional de su país.

DISPONIBILIDAD	CONSUMO	UTILIZACION BIOLOGICA

III. CONCEPTOS BASICOS DE ALIMENTACION Y NUTRICION

A. Introducción

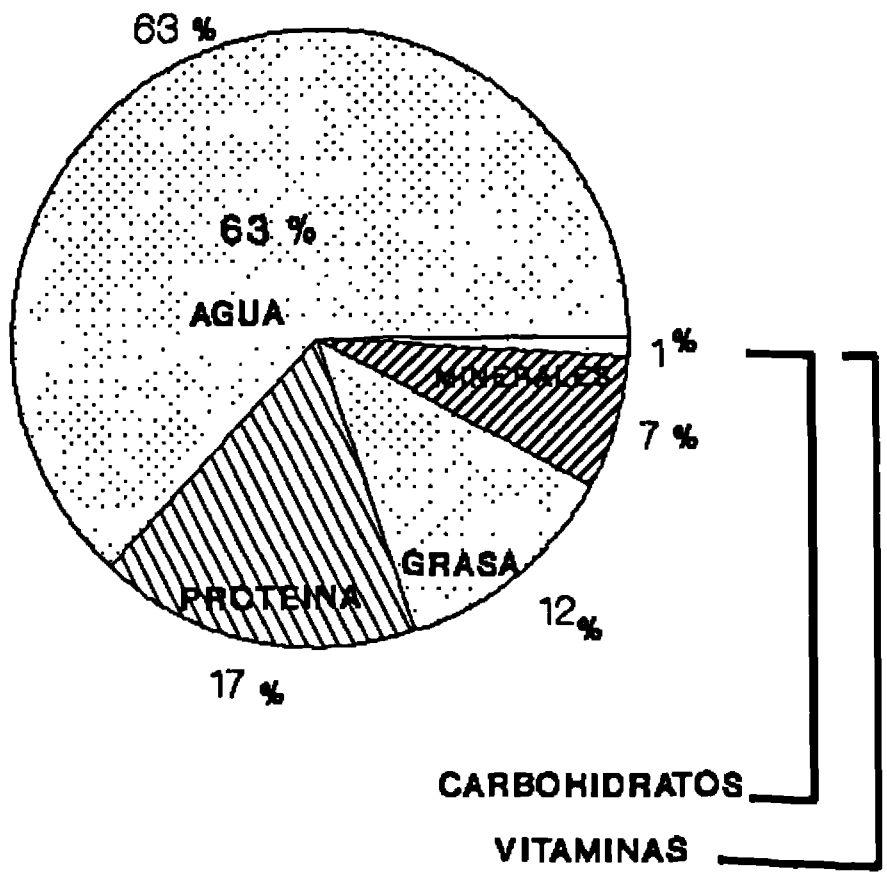
En términos generales, la alimentación se ha definido como el acto de ingerir alimentos. Sin embargo, un concepto más amplio la considera como la ciencia que se ocupa del estudio de todos aquellos procesos extracorporales que suceden con los alimentos, siendo éstos los procesos propios de la llamada cadena alimentaria.

La alimentación, en este caso, involucra el estudio de la producción, selección, conservación, preparación y consumo de alimentos; es decir, todos aquellos procesos que influyen en el alimento desde su producción hasta el momento de ser ingerido por el individuo.

La nutrición empieza en el momento mismo que el alimento ingresa a la boca; incluye procesos por medio de los cuales los seres humanos o cualquier organismo vivo utiliza los alimentos para la mantención de la vida, el crecimiento, el normal funcionamiento de los órganos y tejidos y la producción de la energía. Ya que los seres humanos viven en comunidad de diferentes condiciones socioeconómicas, la nutrición también incluye la influencia de los factores ambientales.

El cuerpo humano es una máquina viva que al igual que todos los otros seres vivos necesita de los alimentos para mantenerse vivo. Se compone de nutrientes en proporciones relativamente estables, como se observa en la siguiente figura.

NUTRIENTES EN EL CUERPO HUMANO



Los alimentos contienen ciertas sustancias llamadas nutrientes, que se utilizan en el metabolismo normal del organismo. Los nutrientes son responsables de la función de los alimentos.

Una dieta adecuada debe contener todos los nutrientes que se requieren, pero en un equilibrio combinado para satisfacer las necesidades del organismo. Estas necesidades incluyen:

- Mantener la composición del organismo
- Permitir las diversas funciones fisiológicas
- Compensar la energía consumida en la actividad física regular.

La condición del organismo que resulta de la ingestión, absorción y utilización de los alimentos y de los factores de significación patológica recibe el nombre de estado nutricional. Una dieta que cumple con los requerimientos nutricionales del organismo, generalmente conduce a un buen estado nutricional. Si el aporte de la dieta no es igual a la demanda nutricional del organismo, durante un período considerable de tiempo, ya sea por déficit o exceso de consumo, el resultado es un estado patológico llamado malnutrición, que abarca la desnutrición (déficit) y la sobrealimentación (exceso).

Tanto la desnutrición como la sobrealimentación son indeseables para la salud y tienen influencia en la calidad de vida de los individuos de todo el mundo. La desnutrición es la enfermedad nutricional principal de los niños en etapa de crecimiento, especialmente en los países en desarrollo. A su vez, la sobrealimentación es el principal problema nutricional de los adultos, en muchos países, por influencia de factores culturales, económicos y ambientales.

Por lo tanto, la nutrición incluye procesos por medio de los cuales los seres humanos o cualquier organismo vivo utiliza los alimentos para la mantención de la vida, el crecimiento, el normal funcionamiento de los órganos y tejidos y la producción de energía. Ya que los seres humanos viven en comunidad de diferentes condiciones socioeconómicas, la nutrición también incluye la influencia de los factores ambientales.

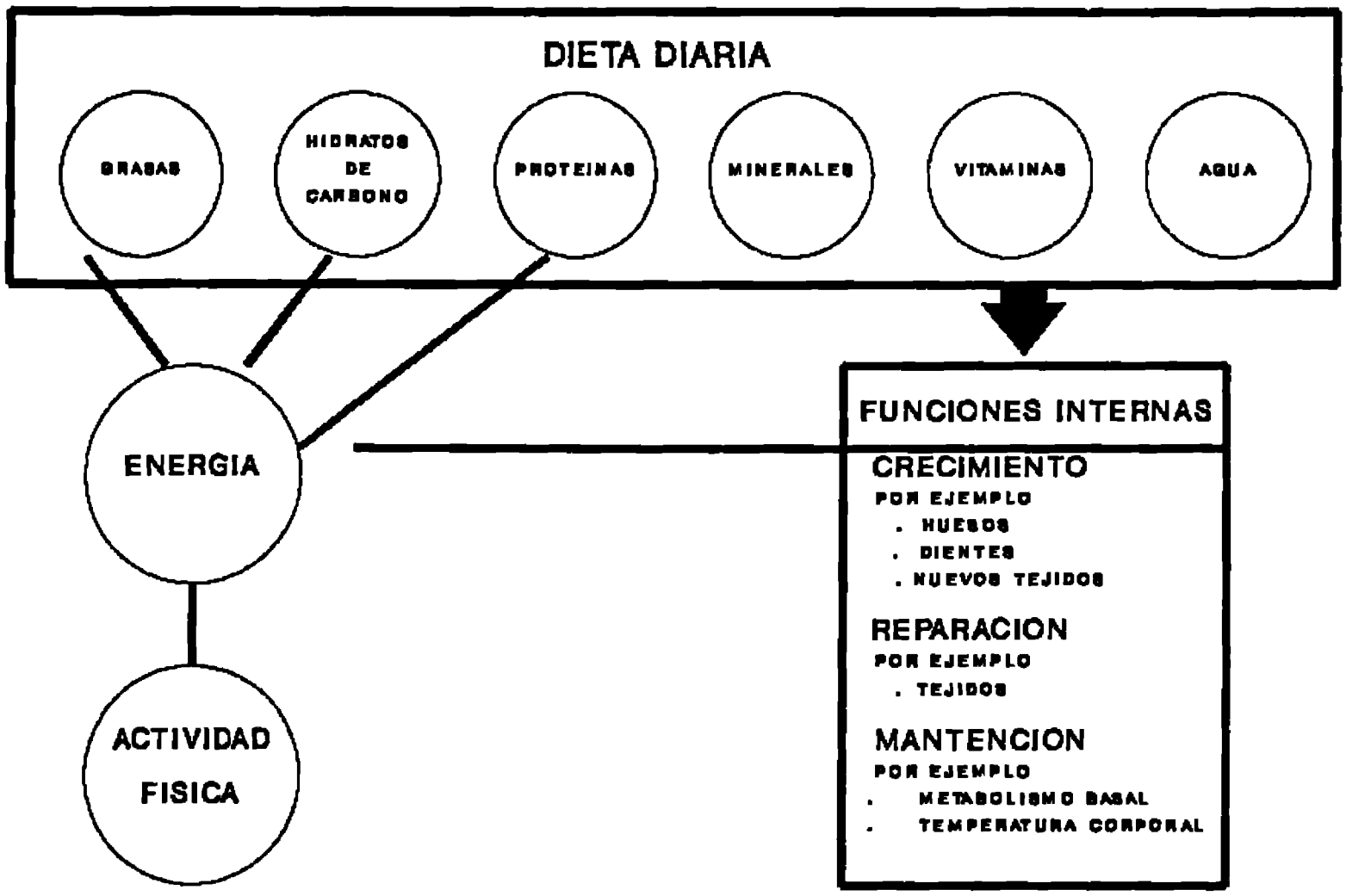
B. Nutrientes

Existe una variedad innumerable de alimentos en el mundo, pero sólo existen seis grupos principales de nutrientes. Estos son: hidratos de carbono, proteínas, grasas, minerales, vitaminas y agua. Excepto algunos alimentos como el azúcar refinada, la mayoría de los alimentos contienen todos o muchos de estos nutrientes. Para llamar a una substancia alimento, debe contener al menos un nutriente.

Una buena dieta debe proporcionar cantidad suficiente de estos nutrientes en una proporción, de acuerdo con la necesidad del individuo, la cual depende de muchos factores. Cada nutriente tiene su propia función específica en la mantención de la composición del organismo, en su desarrollo, reparación o funcionamiento eficiente, pero generalmente actúan juntos para mantener las principales funciones corporales. Por lo tanto, el cuerpo humano necesita disponer de una combinación de nutrientes, en forma más o menos simultánea.

En la siguiente figura se resume las principales funciones de los 6 grupos de nutrientes.

FUNCION DE LOS NUTRIENTES



1. **Hidratos de carbono:** la función principal de los hidratos de carbono es proporcionar la energía para la actividad física y la mantención de la temperatura corporal. La mayoría de las personas de los países en desarrollo recibe su aporte energético de los alimentos ricos en hidratos de carbono, y éstos constituyen su dieta básica. Un gramo de hidratos de carbono proporciona 4 kcal. de energía. Generalmente, las dietas ricas en hidrato de carbono tienden a carecer de cantidades suficientes de otros elementos nutritivos esenciales. Todos los cereales (arroz, maíz, mijo, trigo) raíces y

tubérculos (papas, camote) algunas leguminosas (porotos y arvejas), algunas frutas (plátanos, bananas) y azúcar, son buenas fuentes de hidratos de carbono.

2. **Grasas:** las grasas son una fuente extremadamente concentrada de energía. Un gramo de grasa da 9 kcal de energía y proporciona más del doble por gramo que los hidratos de carbono o las proteínas. Cuando se consume exceso de alimentos aportadores de energía (grasas, hidratos de carbono y proteínas), sobre lo que nuestro organismo necesita, éstos se convierten en grasa y se depositan en nuestro cuerpo como energía almacenada o reserva de energía. Cuando la ingestión energética es baja o no podemos comer suficientes alimentos que aporten energía como para satisfacer las necesidades del organismo, éste utiliza la grasa almacenada para producir energía. Además, la grasa aporta las vitaminas solubles en grasa (vitaminas A, D, E, K,). Las grasas son más lentas de digerir que los otros nutrientes, y por lo tanto, atrasan el comienzo de la sensación de hambre. Realzan el sabor agradable de nuestra dieta. Existen dos fuentes principales de grasa: a) grasa animal (manteca, mantequilla, etc.) y b) grasa vegetal (aceite de palma, de raps, de soya, de maravilla o girasol y varios aceites hidrogenados). Considerando el valor nutricional, muchos aceites vegetales son mejores que las grasas animales por su mayor contenido en ácidos grasos poliinsaturados que influyen en los niveles del colesterol sanguíneo; además tienen mayor proporción de ácidos grasos esenciales que son importantes en la nutrición del niño.

3. **Proteínas:** las proteínas son los componentes estructurales del organismo. Todos los tejidos (piel, huesos, músculos, sangre y órganos del cuerpo) contienen proteínas. Las proteínas ingeridas en los alimentos, después de la digestión y de la absorción en la sangre, se utilizan para fabricar proteínas en los tejidos y para mantenerlos. Además las enzimas, los anticuerpos y ciertas hormonas son proteínas. Existen dos fuentes principales de ellas: a) animal (carne, pescado, huevo, leche, etc) y b) vegetal (cereales, porotos o frijoles, arvejas, maní, soya, etc.) La calidad de las proteínas animales es mejor que las vegetales, ya que las animales tienen una constitución similar a la de los músculos del cuerpo humano. Pero una mezcla de proteínas vegetales seleccionados (lentejas y trigo, garbanzo y mijo, legumbres con arroz, porotos con fideos, maíz con soya o poroto aumentan la calidad de la proteína y es casi tan buena como la proteína animal). En los países en desarrollo, la mayor parte de las proteínas de la dieta la proporcionan los alimentos básicos vegetales, aun cuando sean cereales o tubérculos, los que se consumen en grandes cantidades. Es necesario consumirlos mezclados con leguminosas u otros alimentos.

4. **Minerales:** existe una variedad de minerales en los alimentos. Ellos principalmente toman parte en el control de los procesos del organismo, pero además tienen funciones específicas muy importantes, en especial el hierro, calcio y yodo.

5. **Hierro:** es especialmente necesario en la formación de la sangre. El hígado, riñón, carne, pescados pequeños, porotos, arvejas, maní y las verduras de hojas verdes son buenas fuentes de hierro, pero el hierro de los alimentos animales se absorbe mucho mejor que el de fuentes vegetales.

6. **Calcio:** es necesario para la formación de huesos y dientes, y tiene otras funciones importantes (funcionamiento adecuado de músculos y sistema nervioso, coagulación de la sangre, etc.). La leche, queso, nueces, maní, porotos, arvejas, peces pequeños enteros, verduras de hojas verdes oscuras son fuentes ricas en calcio. La presencia de vitamina D influye de modo importante en la absorción de calcio.

7. **Yodo:** es necesario para el buen funcionamiento de la glándula tiroides. La glándula tiroides requiere yodo para formar su hormona que es responsable del control de la velocidad de muchos procesos metabólicos del organismo. Si los alimentos no contienen yodo suficiente, los niveles en la sangre llegan a ser menores que lo normal y la glándula tiroides no obtiene cantidad suficiente para formar su hormona. Como resultado, ésta crece y produce una protuberancia característica del cuello llamado bocio. Los mariscos y pescados del mar son buenas fuentes naturales de yodo.

8. **Vitaminas:** Existen dos grupos de vitaminas: a) vitaminas solubles en la grasa (A, D, E, y K) y b) vitaminas solubles en el agua, el complejo B y la vitamina C.

a) Vitamina A: es esencial para la visión en la penumbra y para una piel sana. La mayor parte (90%) se almacena en el hígado, la cual puede utilizarse cuando el suministro de la dieta es insuficiente. Se encuentra presente en alimentos de origen animal tales como: hígado, riñón, mantequilla y todos los aceites de hígado. Muchas verduras son muy ricas en provitamina A (caroteno), una substancia que nuestro organismo puede transformar en vitamina A. Algunas de estas fuentes ricas son el aceite de palma roja, las verduras de hojas verdes oscuras, todas las frutas y verduras amarillas, zanahoria, tomates, damascos, papayas, etc.

b) Vitamina D: es necesaria para la absorción del calcio de los alimentos y para la formación de los huesos. Su principal fuente es la luz solar. Cuando la luz solar cae sobre la piel, reacciona con una sustancia de

nuestro cuerpo para formar la vitamina. Sus fuentes alimentarias son todos los productos lácteos: leche entera, mantequilla, queso.

c) Complejo B: todas las vitaminas de este grupo son solubles en agua, pero tienen diferentes funciones. Por ejemplo, la tiamina y la riboflavina toman parte en la utilización de los hidratos de carbono y otros nutrientes, mientras que el ácido fólico y la vitamina B 12 son necesarios para la formación de la sangre.

d) Vitamina C: la vitamina C o ácido ascórbico es necesaria para la mantención de los tejidos del organismo, por ejemplo, las encías y para la adecuada recuperación de las heridas. Una deficiencia en la dieta causa el escoburto. Fuentes ricas en vitamina C son las naranjas, limones, guayabas, melones, piñas y verduras.

e) Agua: el agua participa en la mayoría de los procesos del organismo, constituye el 63% de la masa corporal. Se necesita en mayor cantidad que cualquier otro elemento nutritivo, y la falta de ella produce una muerte mucho más rápida que cualquier otra deficiencia nutricional. Toma parte en el control de la temperatura corporal y se utiliza para deshacerse de los productos de deshecho del organismo a través de los riñones.

C. Grupos nutricionalmente vulnerables

Los factores que influyen en las necesidades nutricionales y en la utilización de los alimentos nos permiten identificar los grupos que dentro de una población tienen mayor peligro de sufrir una deficiencia nutricional. Estos son los llamados grupos vulnerables.

Dentro de cualquier comunidad existen estos grupos de personas que son más sensibles a los cambio de la situación alimentaria, ya que tienen necesidades especiales y porque la estructura de la sociedad les impide obtener lo que necesitan. Esto es especialmente válido para los pobres, los analfabetos y los grupos rurales, cualquier obstáculo en el sistema de alimentación puede dar como resultado efectos nutricionales adversos en estos grupos vulnerables.

Los niños tienen mayores requerimientos nutricionales que los adultos en relación al volumen corporal, porque ellos utilizan grandes cantidades de energía y proteínas para la síntesis de los tejidos necesarios en el crecimiento. Este es el caso específico de los niños y muy especialmente hasta los 5 años.

Las mujeres embarazadas necesitan más nutrientes debido a las demandas que produce el feto en su organismo. Un suministro inadecuado de alimentos puede dar como

resultado un niño de bajo peso, o incluso si el niño es normal, una madre malnutrida al término de la gestación.

Las madres lactantes necesitan más nutrientes con el fin de proporcionar las cantidades adecuadas para la producción de leche. Las mujeres que están amamantando necesitan alimento extra y la costumbre extendida en algunas partes de América Latina de amamantar por un largo período de tiempo, significa que una gran parte de población adulta femenina de estas área cae en la categoría de grupo vulnerable.

En cualquiera de estos grupos, una desnutrición grave puede desencadenarse a raíz de una enfermedad menor, si es que la dieta previa ha sido deficiente. Por ejemplo, en los niños, el sarampión puede conducir al kwashiorkor** y la diarrea al marasmo*** . Además, el trabajo que los miembros de los grupos vulnerables realizan influye en la cantidad de alimentos que necesitan; esto es especialmente importante en una sociedad agrícola predominantemente no mecanizada, en la que los trabajadores necesitarán cantidades mayores de alimentos para ser productivos.

D. Aporte nutritivo de los principales grupos de alimentos

Los alimentos son substancias que se comen diariamente para vivir y que proporcionan los nutrientes necesarios para el crecimiento, mantención del organismo, actividad, reproducción y lactancia. La mayor parte de los alimentos contiene una combinación de nutrientes, pero las proporciones de los diferentes nutrientes varían de modo importante.

Un alimento que se consume regularmente en un país o comunidad y dé una proporción importante del suministro de energía total, recibe el nombre de alimento básico. Generalmente este consumo es mayor en los sectores más pobres de la población.

A continuación se describe el valor nutritivo de los principales grupos de alimentos:****

1. **Productos de origen animal:** Representan la mejor fuente de proteínas de buena calidad que existe en los alimentos. A diferencia de las proteínas de origen vegetal, contienen todos los aminoácidos en las proporciones necesarias para que el organismo pueda formar las proteínas propias de sus tejidos.

** KWASHIORKOR: Término de origen africano para designar el estado clínico severo de malnutrición protéica, la característica principal es el edema en los miembros inferiores y superiores.

*** MARASMO. Extremado enflaquecimiento del cuerpo humano.

**** El contenido que se encuentra en las páginas 15-19 fue tomado del libro Icaza, S. y M. Behar. Nutrición. 2a. ed. México, 1981.

contienen un valor nutritivo semejante a la leche fresca. En cambio, la crema y la mantequilla contienen principalmente grasas; por esa razón, no se les incluye en el grupo de la leche y sus derivados.

Valor nutritivo de la leche y sus derivados: La leche es un líquido fuente de proteínas de muy buena calidad, de dos clases: unas coagulables por el calor (albúmina y globulina) y otras por ácidos o fermentos (caseina). Contiene, además, carbohidratos, grasas, calcio, vitamina A y riboflavina.

La leche en polvo entera contiene todos estas substancias y basta agregarle agua para reconstruirla. La leche en polvo descremada contiene las mismas substancias, menos la grasa y la vitamina A, que por ser soluble en grasa se separa con la crema. El queso de leche entera contiene proteínas (caseina), grasas, calcio, vitamina A y riboflavina. Si es de leche descremada, contiene las mismas substancias, menos la grasa y la vitamina A. El requesón, que se obtiene calentando el suero, contiene proteínas (albúmina y globulina), calcio y riboflavina.

En general, el grupo de productos animales se caracteriza por su contenido de proteínas de alta calidad que son indispensables en toda alimentación balanceada; vitamina A, tiamina, niacina y riboflavina; minerales como hierro, en las carnes y huevos, y calcio, en la leche.

2. **Hortalizas y frutas:** El grupo de alimentos, compuesto por las hortalizas y frutas, representa en la dieta la mejor fuente de vitamina A y C. Este grupo de alimentos contiene pequeñas cantidades de vitaminas del complejo B, como riboflavina y niacina; minerales, como calcio y hierro; carbohidratos, generalmente en forma de azúcares; proteínas vegetales y, en algunos casos, también un poco de grasa. El grupo de hortalizas y frutas, según sus características y su valor nutritivo, se subdivide en: vegetales verdes y amarillos, otros vegetales, y frutas. Al hacer esta clasificación se tomó en cuenta el uso que se hace de los mismos en los distintos países y su valor nutritivo. Por ser la deficiencia de vitamina A uno de los problemas nutricionales más serios en algunas áreas de Latinoamérica, se dividieron los vegetales en dos clases, de acuerdo con su contenido de esta vitamina. En la primera clase se encuentran la mayoría de las hojas verdes y algunos vegetales amarillos; se llama a este subgrupo vegetales verdes y amarillos. Al consumo de alimentos pertenecientes a este subgrupo debe darse mucha importancia.

3. **Granos y raíces:** Este grupo de alimentos representa en nuestra dieta la fuente principal de energía. En él se incluyen, en primer lugar, los granos (cereales y leguminosas), que son ricos en carbohidratos y que, además, contienen proteínas vegetales, vitaminas y minerales. En segundo lugar, dicho grupo comprende las **raíces,** tubérculos y plátano, ya que contienen

principalmente carbohidratos en cantidad apreciable y vitamina C, pero son pobres en proteínas. El camote y el plátano contienen, además vitamina A.

a) **Cereales:** El término cereales se emplea para designar los granos de las gramíneas que se utilizan en la alimentación humana, y cuyo valor nutritivo es muy semejante. En este grupo se incluyen: maíz, arroz, avena, cebada, centeno, maicillo y trigo. Estos granos se consumen enteros, decorticados parcial o totalmente triturados.

La cantidad de substancias nutritivas varía considerablemente, según el refinamiento de las harinas.

- **Valor nutritivo de los cereales.** el valor nutritivo de los cereales está representado principalmente por su alto contenido de hidratos de carbono, alrededor de 70 por 100, y proteínas vegetales, alrededor de 8 por 100. Además, contiene fósforo en cantidades abundantes y cantidades relativamente pequeñas de tiamina y niacina, especialmente los granos enteros. El maíz amarillo contiene, además, vitamina A, en forma de carotenos. En el caso de las harinas, el contenido de tiamina es mucho menor que el del grano, ya que ésta se encuentra principalmente en la cáscara, que es separada durante la molienda.

  En el área centroamericana, la forma de preparación de la tortilla (maíz cocido en agua con cal), y la cantidad en que es consumida, la convierte en una fuente importante de calcio.

  Los cereales al cocerse, fijan agua y aumentan tres veces su peso, es decir, que su valor nutritivo se diluye tres veces y, por lo tanto, 300 gramos de arroz cocido representan el valor nutritivo de 100 gramos de arroz crudo.

b) **Leguminosas:** A este subgrupo pertenecen todas las leguminosas o semillas que crece en vaina y que se utilizan en la alimentación humana. En primer término, tenemos los frijoles (porotos o caraotas), de los cuales hay distintas variedades, según su color y tamaño; luego, las arvejas, gandules (quinchonchos o guandués), garbanzos, habas, lentejas y maní (cacahuate). Generalmente, las leguminosas se consumen enteras, utilizándose el total del grano en la preparación de harinas.

- **Valor nutritivo de las leguminosas:** Las leguminosas contienen gran cantidad de carbohidratos, alrededor de 60 por 100, proteínas vegetales en proporción elevada, alrededor de 20 por 100, fósforo, hierro (especialmente la lenteja), y niacina (sobre todo el maní). Por lo tanto, pueden considerarse como fuentes de proteínas de alguna importanciá. Sin embargo, la calidad de estas proteínas es inferior a

las de los productos animales y a la de los cereales. El consumo de una dieta variada mejorará su calidad, ya que en esa forma se complementan las distintas proteínas, ej. complementación maíz-frijol. Las leguminosas, al cocerse, fijan agua y aumentan dos veces su peso, es decir, que el valor nutritivo se diluye a la mitad.

c) **Raíces, tubérculos y plátano:** Este subgrupo comprende las raíces propiamente dichas, que son ricas en almidón: ichintal (raíz de chayote, guisquil o pataste), otoe (malanga), ñame, ñampi, salsifí y yuca. Además, incluye otros alimentos, como la papa y el camote, que son tubérculos, y el plátano, que es un fruto cuyo valor nutritivo y uso en la mayoría de los países es semejante al que se da a las raíces. En algunos países, se utiliza el término verduras para designar estos alimentos, a pesar de que no son verdes, lo cual trae consigo cierta confusión. También se les llama vegetales farináceos.

- **Valor nutritivo de las raíces:** Estos alimentos constituyen fuentes elevadas de energía. Contienen una alta proporción de carbohidratos, alrededor de 25 por 100, así como pequeñas cantidades de niacina (en especial, la papa) y vitamina C. El resto es principalmente agua. Las raíces y tubérculos, así como el plátano, no aumentan su tamaño por efecto de la cocción, así que su valor nutritivo no varía en forma apreciable.

4. **Alimentos energéticos:** Hay ciertos alimentos que por su alto contenido de energía son considerados como alimentos energéticos. Ellos son:

a) **Grasas:** Estas incluyen los aceites vegetales y las grasas animales, ya sean obtenidas de los tejidos animales o de la leche. Pertenecen a este grupo, por lo tanto, los aceites, las mantecas, la crema, la mantequilla y la margarina.

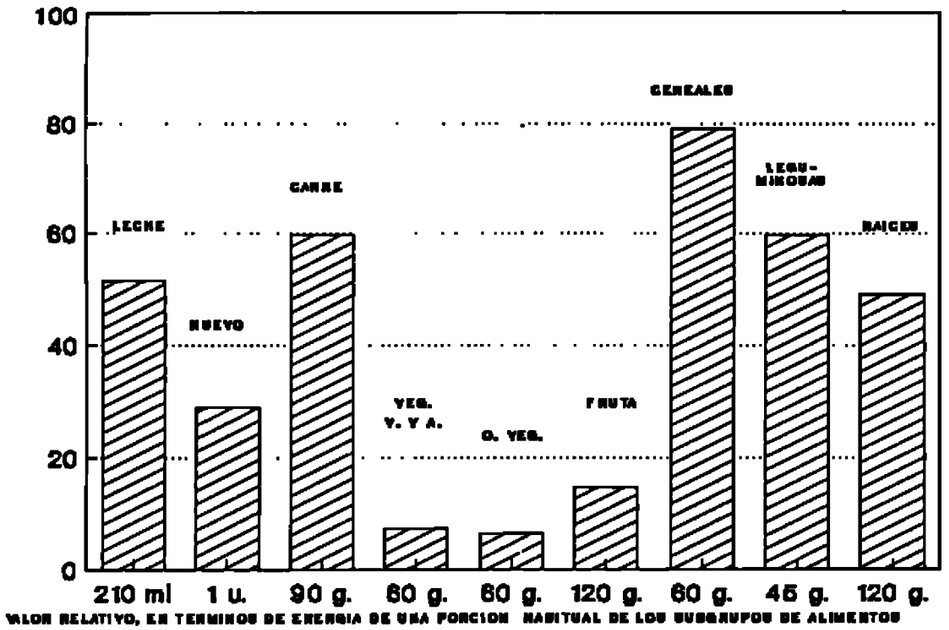
b) **Azúcares:** El término incluye los azúcares propiamente dichos, es decir, el azúcar blanca (de remolacha o de caña), el azúcar morena, la raspadura (panela, raspadura dulce) y la miel de abeja y de caña.

- **Valor nutritivo de:**
  Aceite, manteca, mantequilla y margarina. Son fuentes ricas de grasas, llegando a veces hasta 99 por 100, y en el caso de la crema, la margarina y la mantequilla, contienen además, vitamina A en cantidades apreciables y ácidos grasos esenciales.

- **Azúcares.** Están compuestas en 99 por 100 de carbohidratos.

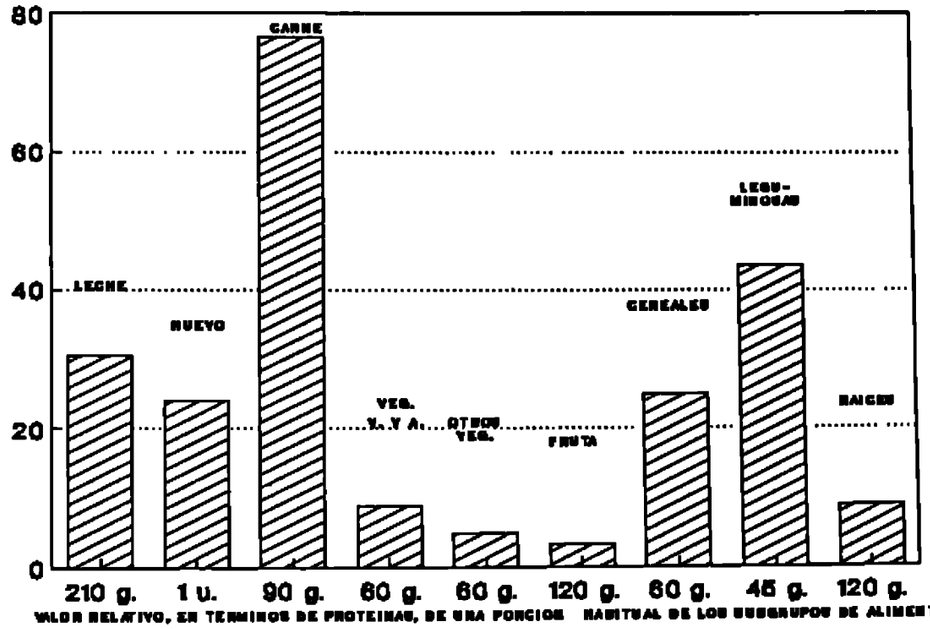
Las gráficas que se presentan a continuación, corresponden a las substancias nutritivas más importantes, tomando como base el valor nutritivo de la porción común de cada grupo de alimentos.

ENERGIA



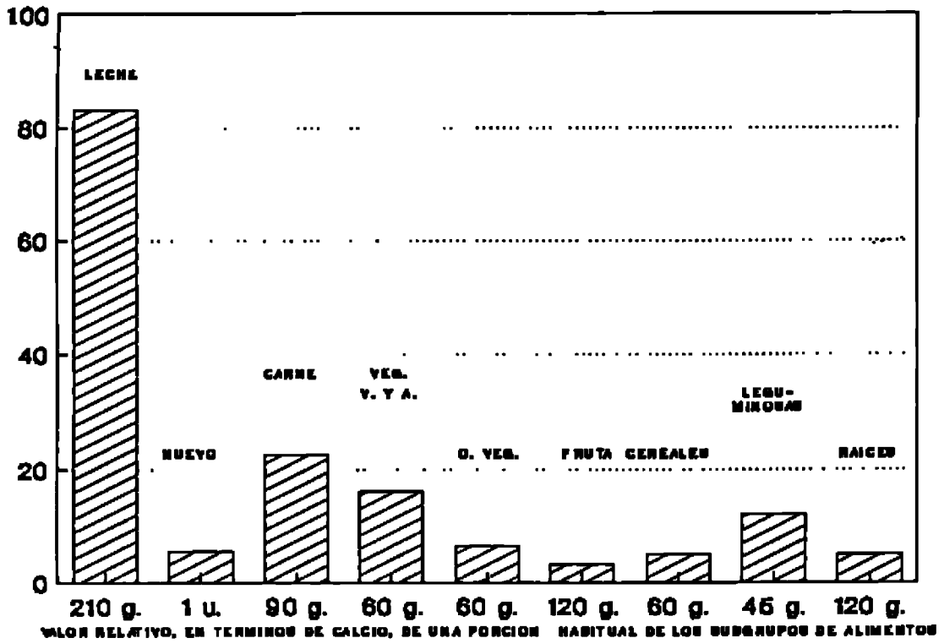
VALOR RELATIVO, EN TERMINOS DE ENERGIA DE UNA PORCION HABITUAL DE LOS SUBGRUPOS DE ALIMENTOS

PROTEINAS



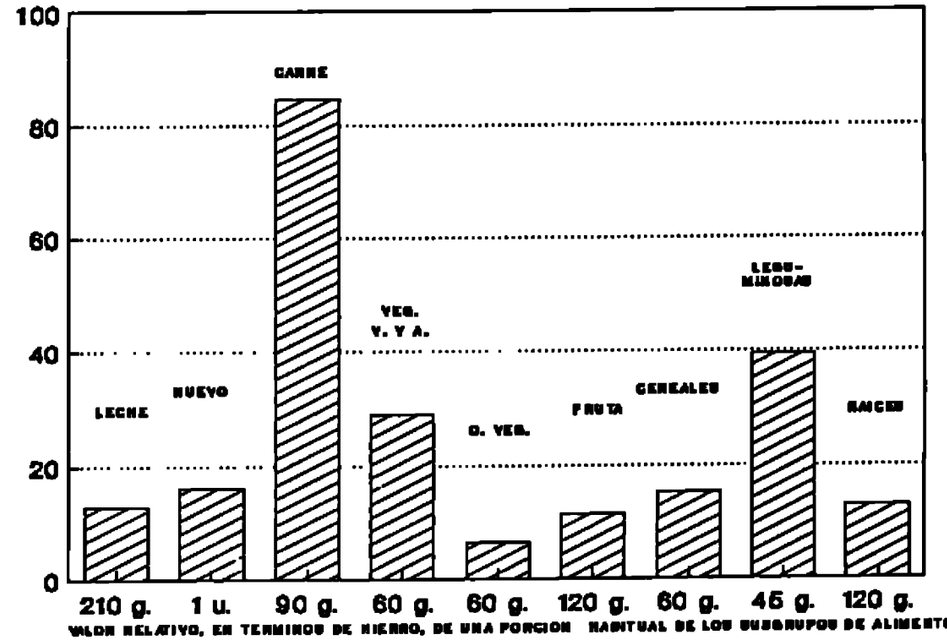
VALOR RELATIVO, EN TERMINOS DE PROTEINAS, DE UNA PORCION HABITUAL DE LOS SUBGRUPOS DE ALIMENTOS.

CALCIO



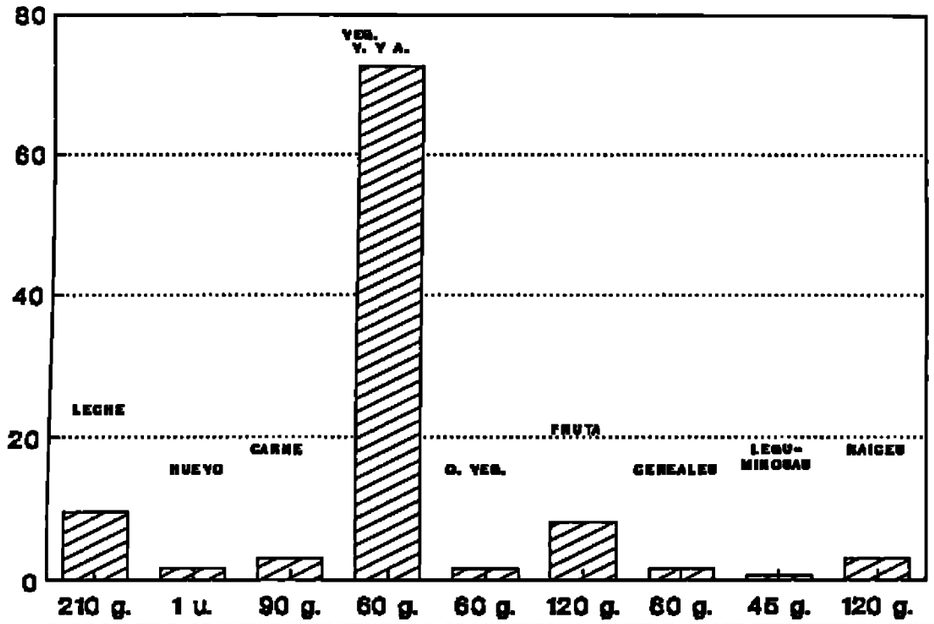
VALOR RELATIVO, EN TERMINOS DE CALCIO, DE UNA PORCION HABITUAL DE LOS SUBGRUPOS DE ALIMENTOS

HIERRO



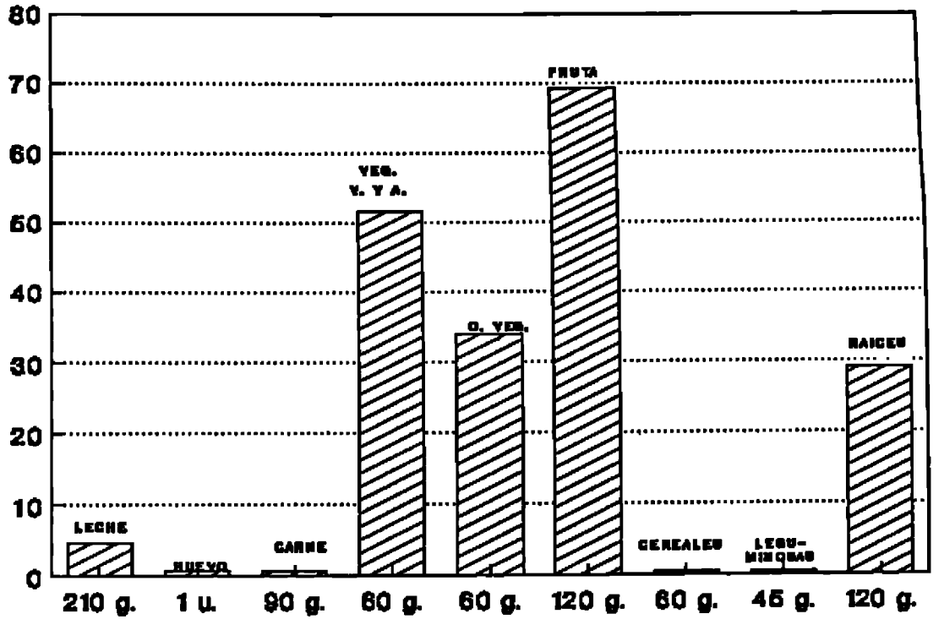
VALOR RELATIVO, EN TERMINOS DE HIERRO, DE UNA PORCION HABITUAL DE LOS SUBGRUPOS DE ALIMENTOS

VITAMINA A



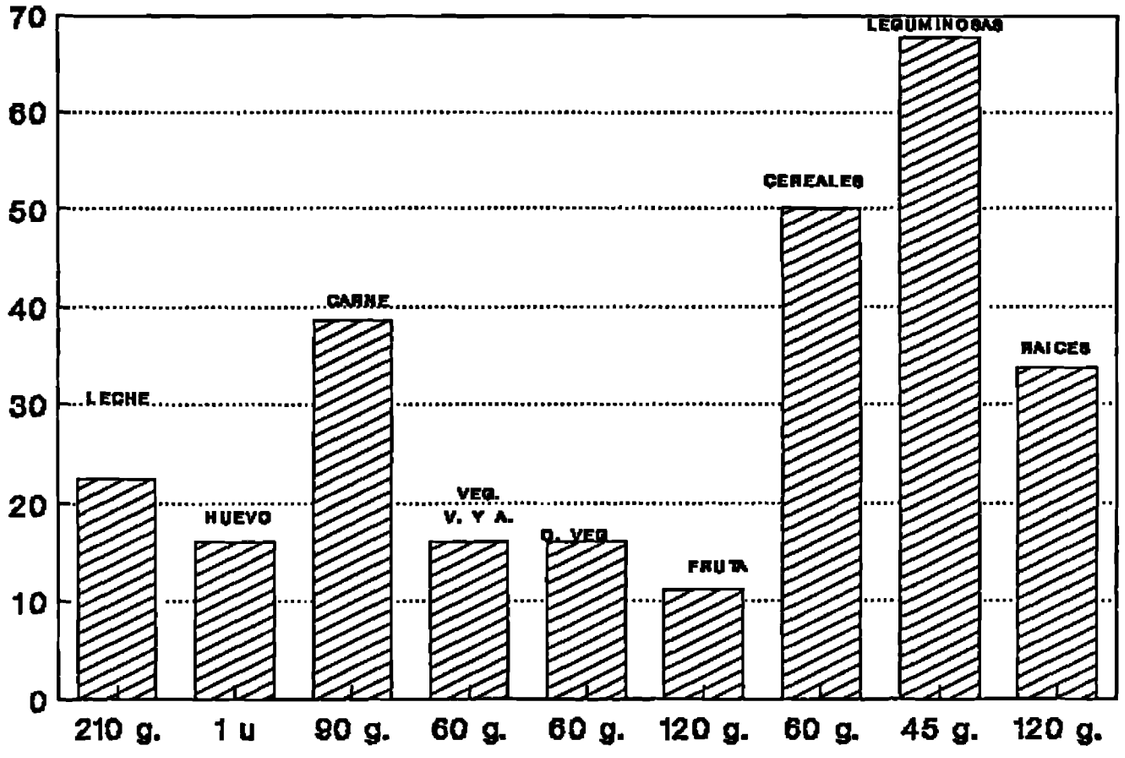
VALOR RELATIVO, EN TERMINOS DE VITAMINA A, DE UNA PORCION HABITUAL DE LOS SUBGRUPOS DE ALIMENTOS

ACIDO ASCORBICO



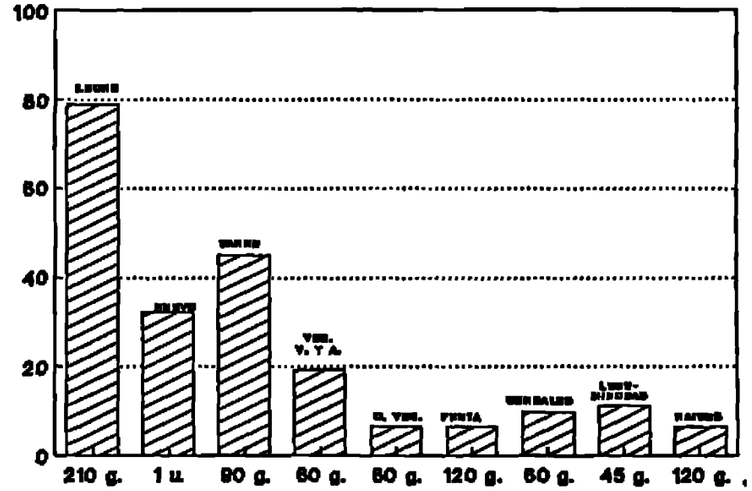
VALOR RELATIVO, EN TERMINOS DE ACIDO ASCORBICO, DE UNA PORCION HABITUAL DE LOS SUBGRUPOS DE ALIMENTOS.

TIAMINA



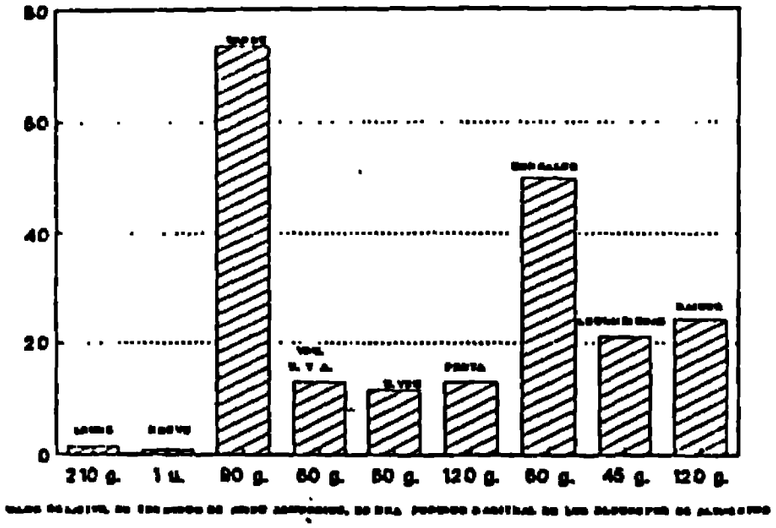
VALOR RELATIVO, EN TERMINOS DE TIAMINA, DE UNA PORCION

RIBOFLAVINA



VALOR RELATIVO, EN TERMINOS DE RIBOFLAVINA, DE UNA PORCION HABITUAL DE LOS DISTINTOS GRUPOS DE ALIMENTOS.

NIACINA



E. Composición de una dieta equilibrada

Se llama dieta a la cantidad total de alimentos sólidos y líquidos que un individuo o grupo de población consume. El modo en que generalmente se eligen los alimentos diarios constituye los hábitos alimentarios. Cuando la dieta satisface todas las necesidades nutricionales del organismo, ésta recibe el nombre de dieta equilibrada.

Necesitamos los seis grupos de nutrientes, en cantidades adecuadas en nuestra dieta diaria para satisfacer las necesidades del organismo. Se puede obtener ésto, seleccionando de modo juicioso los alimentos diarios.

Una dieta mixta con un "alimento básico", una "buena fuente de proteína", algunas frutas y verduras, contendrán los ingredientes elementales de una dieta equilibrada, si se consumen en cantidades adecuadas de acuerdo con el apetito de cada uno. La selección deberá ser tan variada como sea posible. Además, en el caso de los niños, mujeres embarazadas y madres lactantes es deseable que se incluya una buena fuente de proteína animal. Una dieta compuesta principalmente de cereales o tubérculos será generalmente muy voluminosa para un niño, y éste no comerá lo suficiente como para satisfacer sus necesidades.

Debe considerarse cuidadosamente en la elaboración de una dieta equilibrada el nivel socioeconómico, el estado fisiológico, la actividad física, los tipos de alimentos disponibles, la forma de preparación de ellos, gustos, rechazos y todos los otros factores que determinan los hábitos alimentarios de los individuos.

Es muy importante para cada familia la correcta distribución de los alimentos. Los alimentos deben distribuirse de acuerdo con las necesidades nutricionales. Lo niños, embarazadas y madres lactantes deben consumir alimentos que estimulen el desarrollo. Los padres y otros miembros activos de la familia deben consumir alimentos que proporcionen energía. Los ancianos necesitarán alimentos que los ayuden a reparar el desgaste natural de los tejidos.

En la formulación de una dieta equilibrada se deberán considerar los siguientes aspectos: recomendaciones nutricionales, composición de alimentos, hábitos alimentarios y la capacidad económica para comprar alimentos.

F. **Actividades prácticas sugeridas:**

Complete el siguiente cuadro, nombrando los nutrientes, sus funciones y alimentos que los contienen.

NUTRIENTES	FUNCIONES	ALIMENTOS QUE LO CONTIENEN

Enuncie los grupos de población que tienen mayor riesgo de sufrir deficiencia(s) nutricional(es) en su país y porqué?

Enumere los alimentos básicos que se consumen en su localidad

- **Use esta tabla para registrar si el aporte nutricional de los alimentos de su localidad es bueno (++); regular (+) o malo (-)**

ALIMENTOS DE SU LOCALIDAD	ENERGIA	PROTEINA	HIERRO	VITAMINA A

G. Referencias bibliográficas

1. FAO. **Enseñanza de nutrición en la agricultura. Un enfoque multidisciplinario.** 2a. edición, 1988.

2. ICAZA, S. y M. BEHAR. **Nutrición.** 2a. ed. Nueva Editorial Interamericana, S.A. de C.V., México, 1981. 250 p.

H. ANEXO

ANEXO

FACTORES QUE INFLUYEN EN EL ESTADO NUTRICIONAL*

Los factores que influyen en el estado nutricional de una persona son muchos y diversos. Prácticamente todo lo que favorece a una ingestión insuficiente o excesiva de nutrientes, o lo que obstaculiza su utilización óptima, contribuye a la malnutrición. Los factores que influyen más directamente en la nutrición pueden agruparse en las siguientes categorías: disponibilidad, acceso y consumo de alimentos inocuos y de buena calidad; estado personal de salud, estilo de vida y utilización personal de los servicios de salud; y capacidad de la familia y de la comunidad para cuidar de las personas vulnerables o dedicar tiempo, atención, ayuda y conocimientos prácticos para cubrir las necesidades de estas personas.

Cada uno de estos elementos -alimentación, salud y cuidados- es esencial para una buena nutrición. Por ejemplo, tanto las buenas prácticas de alimentación de lactantes como la nutrición dependen de tres factores: la disponibilidad de alimentos y acceso a los mismos, las prácticas sanitarias y los cuidados prestados en el hogar. Estos factores están también relacionados entre sí y las acciones que afectan a uno de ellos pueden tener consecuencias importantes en otro. Por ejemplo, la adopción de nuevas tecnologías agrícolas puede influir en la nutrición a través no sólo del suministro alimentario y de los ingresos, sino también de su repercusión en el saneamiento y la salud y en el tiempo disponible para proporcionar cuidados suficientes a los miembros del hogar. Las políticas de desarrollo que afectan a la economía y a la sociedad en conjunto no suelen incluirse en el ámbito de la nutrición como tal. Sin embargo, las repercusiones de estas políticas sobre el bienestar nutricional son considerables y pueden vigilarse a través de sus efectos en la alimentación, la salud y los cuidados.

Sin embargo, la pobreza es la causa principal de la mayoría de los casos de desnutrición. La desnutrición, tanto grave como crónica, y la mayor parte de las carencias de micronutrientes afectan primordialmente a los hogares pobres y desfavorecidos cuyos miembros no pueden producir o procurarse alimentos suficientes, que viven en medios marginales o faltos de condiciones higiénicas y sin suministro de agua potable y servicios básicos, que no tienen acceso a una educación e información apropiadas o que están socialmente desfavorecidos de algún otro modo. Por otro lado, la sobrealimentación y los desequilibrios dietéticos, que pueden dar lugar a enfermedades crónicas, traspasan muchas fronteras socioeconómicas. Además de afectar a los sectores más opulentos en todos los países, la sobrealimentación puede afectar también a grupos de ingresos más bajos en países con ingresos medios y altos.

---

* El contenido de este anexo fue tomado de la Conferencia Internacional sobre Nutrición: **Nutrición y Desarrollo: una evaluación mundial, 1992.** Capítulo dos.

A continuación se describen cada uno de los factores mencionados.

A. Consumo de alimentos

El contenido de nutrientes de los alimentos consumidos en relación con las necesidades, determinadas en función de la edad, sexo, nivel de actividad física y estado de salud, así como de la eficiencia de la utilización de nutrientes por el cuerpo, influye en el bienestar nutricional. Las enfermedades infecciosas afectan en particular a la ingestión alimentaria y a la utilización de los nutrientes. La relación sinérgica entre ingestión alimentaria insuficiente y enfermedad infecciosa es tan fuerte que es difícil evaluar la función de cada uno por separado.

Una dieta es satisfactoria cuando proporciona suficiente energía, proteínas, grasas, carbohidratos, micronutrientes (vitaminas y minerales) y otros componentes esenciales, como fibra dietética, suficientes para cubrir las necesidades corporales de un modo equilibrado, diversificado y culturalmente aceptable. Si la ingestión es demasiado baja, pueden producirse carencias nutricionales. Por otra parte, si la ingestión es excesiva, pueden surgir otros problemas relacionados con la nutrición. Para hacer frente al gasto energético del metabolismo, de la actividad, de la respuesta a las enfermedades y del crecimiento, es necesaria una ingestión suficiente de nutrientes. Durante el embarazo y la lactancia, aumentan las necesidades de nutrientes, inclusive energía y proteínas.

Todavía en el decenio de 1970 existía la creencia generalizada de que la carencia proteínica era la causa principal de la malnutrición, por lo que se hicieron esfuerzos considerables para aumentar el consumo de alimentos ricos en proteínas. Además, a menudo se prestó especial atención al fomento de proteínas de origen animal de "alta calidad". Ahora se sabe que las dietas basadas en cereales complementados con leguminosas tienen un contenido de aminoácidos que proporciona un nivel satisfactorio de proteínas, siempre que se consuma una cantidad de alimentos suficiente para cubrir las necesidades diarias de energía. De hecho, la carencia energética es un problema mucho más importante que la carencia proteínica entre las poblaciones donde el consumo insuficiente de alimentos da lugar a la malnutrición infantil.

Teniendo en cuenta que los lactantes y niños pequeños sólo pueden consumir un volumen limitado de alimentos de una sola vez, la densidad nutricional y energética de sus alimentos reviste especial importancia. Aun cuando los alimentos sean abundantes, la lactancia es el modo más económico y eficaz desde el punto de vista energético de proveer a las necesidades dietéticas de los niños de pecho. Durante los 4-6 primeros meses de vida, no se requieren más alimentos o líquidos que la leche materna, ni siquiera agua, para cubrir las necesidades nutricionales normales del lactante. Una ventaja importante, que puede tener consecuencias significativas para el estado nutricional del lactante, es la protección que proporciona la leche materna contra la infección.

Desde los 4-6 meses de edad -el momento preciso depende de las circunstancias de cada caso- los lactantes pueden empezar a recibir, además de la leche materna, una variedad de alimentos disponibles sobre el terreno, preparados de modo inocuo y con un alto contenido energético, para satisfacer sus nuevas necesidades nutricionales. Los alimentos voluminosos con una baja densidad energética pueden no proporcionar al niño calorías suficientes, a menos que se complementen con aceite. Se aconseja a las madres que sigan amamantando a sus hijos hasta los dos años, o incluso después si lo desean.

Una ingestión alimentaria excesiva y desequilibrada aumenta con frecuencia el riesgo de diversas enfermedades crónicas importantes, no transmisibles y relacionadas con la dieta, como la arterioesclerosis, enfermedades coronarias, hipertensión, apoplejía, diabetes y algunos tipos de cáncer. Además, otros factores como el consumo de alcohol y tabaco, la tensión nerviosa y un bajo nivel de actividad física debido a los cambios en estilo de vida, sobre todo en las zonas urbanas, agravan los problemas de una ingestión excesiva y desequilibrada. La predisposición genética constituye también un factor importante y la susceptibilidad a los efectos negativos de los diversos factores difiere de una persona a otra.

Al cambiar de un modo de vida rural a otro más urbano, las personas consumen a menudo alimentos que suelen tener un contenido más alto de proteínas, grasas y carbohidratos refinados y más bajo de carbohidratos complejos y fibra dietética. Estas tendencias del consumo de alimentos se corresponden a menudo con un aumento del acceso a una variedad mayor de alimentos en las zonas urbanas, y de su disponibilidad. El consumo de diversas frutas y hortalizas, carne, pescado, productos lácteos, aceites vegetales, azúcar y cereales refinados, tiende a ser mayor en general en las zonas urbanas, mientras que el de tubérculos, cereales enteros y secundarios y legumbres es menor. Sin embargo, las personas pobres que viven en zonas urbanas no pueden a menudo costearse la mayor variedad de alimentos ofrecidos y deben recurrir a un número limitado de productos de más bajo costo.

C. Disponibilidad de alimentos y acceso a los mismos

Una disponibilidad constante de alimentos a nivel nacional, regional y familiar es la base del bienestar nutricional. Por consiguiente, un requisito previo para mejorar la nutrición en la mayoría de los países de bajos ingresos con déficit de alimentos es intensificar la producción alimentaria. Además, la agricultura, incluidas la pesca y la silvicultura y las industrias rurales conexas, proporciona ingresos a los campesinos sin tierras y a sus familias, que a menudo se cuentan entre los grupos más vulnerables desde el punto de vista nutricional. La necesidad de aumentar la productividad y el nivel de vida de los pequeños productores y de las personas que se encuentran en una situación de desventaja en cuanto a suelo, clima o lejanía; la necesidad de mantener las ganancias de los productores para que puedan adoptar tecnologías que aumenten la productividad y les permitan hacer un uso óptimo de la mano de obra; y la necesidad de prestar apoyo suficiente a la agricultura dentro de un presupuesto para desarrollo ya limitados, son

algunos de los problemas más urgentes que es necesario abordar. Sólo aunando los esfuerzos para reducir la desigualdad social y la pobreza se podrán encontrar soluciones duraderas a los problemas nutricionales.

Los problemas nutricionales no están relacionados únicamente con el suministro global de alimentos. Con frecuencia el problema consiste en que los pobres no poseen el poder adquisitivo necesario para tener acceso a los alimentos que necesitan. Por consiguiente, aunque para cubrir las necesidades de una población en su conjunto es preciso disponer de cantidades suficientes de alimentos inocuos y nutritivos, también es esencial que sea suficiente el acceso de todos los hogares a estos suministros. El concepto de seguridad alimentaria en los hogares significa que éstos deben tener acceso material y económico a alimentos adecuados desde el punto de vista de la cantidad, calidad e inocuidad. Esto, a su vez, depende de que los hogares tengan acceso a los recursos -alimentos, ingresos y bienes- necesarios para asegurarles una dieta suficiente, sin correr el riesgo de perder dicho acceso. Un aumento de la producción de alimentos para consumo personal, como fuente de ingresos y para estabilizar los precios puede contribuir a mejorar la nutrición.

En los países en desarrollo, donde los dos tercios aproximadamente de la población viven en zonas rurales, la producción agrícola y pecuaria, la pesca y la silvicultura son fuentes directas de alimentos y proporcionan ingresos para comprar alimentos. Prácticamente todas las comunidades del mundo, por apartadas que estén, dependen en cierto grado de los mercados. Por tanto, las relaciones de intercambio, la eficiencia de los sistemas de comercialización, la existencia de precios justos para los productores y consumidores, la condición de los hogares como compradores o vendedores netos de alimentos y los bienes que poseen las familias, incluída la cantidad y calidad de las tierras de que disponen, son todos ellos factores importantes que determinan el estado nutricional. Entre los sectores más amenazados por la inseguridad alimentaria figuran los campesinos sin tierras y sus familias, quienes compran alimentos con unos salarios que a menudo son ocasionales e inciertos. En los países donde no se ha aplicado una reforma agraria necesaria, los arrendatarios de pequeñas explotaciones agrícolas constituyen otro grupo sumamente vulnerable. En las zonas urbanas donde la población compra la mayor parte de sus alimentos, los pobres son vulnerables a las fluctuaciones en los precios de los alimentos y a los cambios en las condiciones de empleo y en el volumen de sus ingresos.

La mejora de la nutrición de los hogares pobres está estrechamente relacionada con el aumento de sus ingresos y bienes. Sin embargo, la pobreza no sólo se caracteriza por ingresos bajos y bienes escasos que redundan en un volumen reducido de consumo, sino también por un nivel bajo de educación y vivienda y saneamiento precarios. La cuantía de los ingresos ordinarios y la educación (especialmente de la madre), así como las características socioculturales del grupo, que pueden influir en la adopción de decisiones, determinarán el grado en que un aumento de los ingresos se transformará en un incremento a corto plazo del consumo de alimentos y de los cuidados prestados en la familia. Cuando la madre controla los gastos del hogar, los niños resultan beneficiados.

El carácter estacional de la producción en los países en desarrollo influye también en el acceso a los alimentos, al determinar las diferentes modalidades de disponibilidad de los mismos, la afluencia al hogar de ingresos monetarios procedentes de las ventas de la cosecha y del trabajo agrícola remunerado y los períodos tanto de mayor demanda de mano de obra agrícola (y por consiguiente de gasto de energía) como de precios más altos de los alimentos. La característica estacional de la agricultura puede dar lugar a períodos de alteración del equilibrio energético, que a menudo coinciden con la incidencia de las enfermedades infecciosas. Cuando las precipitaciones anuales se concentran en una sola temporada, como sucede en Africa Occidental, la malnutrición es más grave durante la estación de lluvias, que precede a la cosecha, cuando las existencias de alimentos se han agotado. Por consiguiente, los niveles más bajos de ingestión estacional coinciden con un gasto elevado de energía en las actividades agrícolas, precios elevados de los alimentos, niveles altos de infección y, con frecuencia, un fuerte endeudamiento.

La combinación de cultivos, tanto básicos como secundarios y comerciales no alimentarios, influye en el acceso a los alimentos en las zonas rurales. Investigaciones recientes indican que la adopción de cultivos comerciales no alimentarios tienen en general efectos positivos en la nutrición, ya que aumenta los ingresos de los productores rurales y por consiguiente su capacidad para comprar alimentos en caso necesario. Aunque pueden producirse efectos perjudiciales como una disminución de la diversidad de cultivos alimentarios, un flujo desigual de dinero contante, riesgos relacionados con el mercado y la producción, reducción de la superficie o de la calidad de la tierra destinada a los cultivos alimentarios y desplazamientos de los ingresos monetarios de las mujeres a los hombres que trabajan, los beneficios de un aumento de los ingresos monetarios y del flujo de efectivo han sido en general positivos. Los cultivos comerciales suelen ser un complemento de los cultivos alimentarios, y los ingresos obtenidos de la venta de los primeros pueden utilizarse para complementar la producción de alimentos propios con alimentos obtenidos en el mercado.

El tipo de sistema agrícola aplicado repercute en el empleo, especialmente en el caso de los campesinos sin tierras que son a menudo los miembros más pobres y más vulnerables de la sociedad, desde el punto de visa nutricional. La creación de empleo y los ingresos provenientes del trabajo remunerado en las zonas rurales son factores que determinan esencialinente el estado nutricional de los pobres. El gasto energético en las actividades agrícolas y en el hogar presenta también un aspecto importante desde el punto de vista nutricional, ya que un elevado nivel de gasto energético puede dar lugar a la malnutrición. Las tecnologías que ahorran mano de obra podrían ser beneficiosas, pero no deberían desplazar a los trabajadores en zonas con un alto nivel de desempleo. Las prácticas agrícolas pueden influir también considerablemente en la nutrición debido a sus efectos sobre el medio ambiente y el estado de salud (como las consecuencias de la migración y el uso de plaguicidas) y sobre la prestación de cuidados y las prácticas de alimentación.

D. Calidad e inocuidad de los alimentos

Para asegurar el mantenimiento de la inocuidad y calidad de los alimentos durante la producción, manipulación, elaboración y envasado, es necesario un sistema eficaz de control de la calidad de los mismos. Unas medidas apropiadas de control de los alimentos contribuyen también a reducir las pérdidas de éstos y a fomentar una dieta sana. Además, las medidas para asegurar la calidad e inocuidad de los alimentos estimulan el comercio alimentario mundial y dan lugar a la creación de empleo, a un aumento de los ingresos y, en definitiva, a una mejoría del estado nutricional.

El control de calidad de los alimentos es importante tanto para la población rural como para la población urbana. Para mantener la inocuidad de los alimentos y conservar su calidad es necesario adoptar precauciones y controles que abarcan la totalidad de la cadena de producción de alimentos. La necesidad de impedir la contaminación microbiana y química de los alimentos es universal. Si los alimentos no se elaboran adecuadamente, los consumidores pueden verse expuestos a diversos contaminantes. Además, los alimentos elaborados han de prepararse y envasarse de tal modo que se asegure que cumplen las normas básicas relativas a la calidad e inocuidad de los alimentos que incluyen el enriquecimiento con los necesarios nutrientes cuando así proceda.

Los contaminantes presentes en el medio ambiente, como residuos de plaguicidas y de otras sustancias químicas agrícolas, suscitan también una preocupación general. Aunque su presencia en la mayoría de los alimentos se mantiene dentro de unos límites que se consideran inocuos, es necesario realizar esfuerzos para garantizar la calidad e inocuidad constantes de los alimentos con el fin de proteger a los consumidores y fomentar el comercio internacional.

La educación en materia de manipulación y elaboración higiénica de los alimentos es tan importante en la industria alimentaria como en el hogar. Unas precauciones sencillas pueden contribuir considerablemente a mantener inocuos los alimentos en el hogar, en los pequeños establecimientos y en los lugares donde se consumen. La educación y capacitación, respaldadas por unos códigos de prácticas bien aplicados, pueden conseguir resultados similares en la industria alimentaria. Es de particular importancia la educación del consumidor a través de distintos medios entre los que se incluyen los de comunicación social, el etiquetado con información sobre alimentos y nutrición y los programas de alimentación.

La calidad deficiente de los alimentos y las enfermedades de origen alimentario pueden tener consecuencias sociales y económicas importantes. Estas consecuencias son en ocasiones catastróficas, en particular para los países que cuentan con recursos limitados. Las enfermedades de origen alimentario pueden causar pérdidas de ingresos y de rendimiento en el trabajo y aumentar los gastos en asistencia médica. Los productos alimenticios con un contenido de contaminantes que supera los límites autorizados por los países importadores pueden ser rechazados. Además, la reputación de un país en lo que

respecta a la calidad deficiente de sus alimentos puede dar lugar a un descenso del comercio y de los ingresos de exportación, así como del turismo.

E. Malnutrición, infecciones y salubridad del medio ambiente

La buena salud y el saneamiento del medio son esenciales para una buena nutrición y sin embargo no están al alcance de la mayoría de la población mundial. La disponibilidad de agua limpia en cantidades suficientes, un saneamiento eficaz del medio ambiente, la higiene en las actividades domésticas, la lucha contra los vectores y la utilización de los servicios sanitarios son todos ellos elementos que contribuyen a la mejora del estado nutricional. Recíprocamente, las circunstancias que aumentan la exposición a riesgos para la salud aumentan los riesgos de malnutrición. Las enfermedades diarreicas, el sarampión, las enfermedades respiratorias agudas (ERA), la tuberculosis y, más recientemente, el Síndrome de Inmunodeficiencia Adquirida (SIDA) tienen repercusiones importantes en el estado nutricional. Entre las infestaciones parasitarias más destacadas desde el punto de vista nutricional están el paludismo, el anquilostoma, la ascariasis, la amebiasis y la esquistosomiasis.

La infección con el virus de inmunodeficiencia humana (VIH) -causante del SIDA- y las infecciones asociadas con éste, en especial la diarrea crónica, dan lugar a una pérdida de peso y a un deterioro nutricional tan evidentes que en un principio esta afección se conocía como la enfermedad de la delgadez. El número de personas infectadas con el VIH se duplicará en el próximo decenio. Cabe prever que los niveles de malnutrición aumentarán y tendrán repercusiones indirectas sobre la producción de alimentos, como consecuencia de la disminución de mano de obra disponible. Con el tiempo, la población general (seronegativa), en especial los huérfanos cuyos progenitores hayan muerto de SIDA, serán vulnerables a la malnutrición.

En las personas deficientemente nutridas la enfermedad y las dolencias tienden a ser más frecuentes, más graves y más prolongadas. En los episodios infecciosos acompañados de fiebre y después de ellos, las necesidades nutricionales son mayores, y aumentan en particular las necesidades energéticas. Las infecciones crónicas o la repetición frecuente de infecciones agudas pueden hacer casi imposible el mantenimiento de un estado nutricional adecuado, mediante el incremento de la ingestión alimentaria únicamente. A su vez, una nutrición escasa influye notablemente en la génesis de las enfermedades, al afectar negativamente a la integridad de los tejidos epiteliales y al sistema inmunitario.

Entre los mecanismos a través de los cuales las infecciones pueden ser perjudiciales para el estado nutricional de los niños pueden señalarse los siguientes: reducción de la ingestión de alimentos y agua debido a la anorexia; disminución de la absorción y de la ingestión de alimentos; aumento de las pérdidas de nutrientes y agua; aumento de las necesidades metabólicas y por consiguiente de las necesidades nutricionales; alteración de los conductos metabólicos y reducción intencional de la ingestión de alimentos o rechazo completo de los mismos. Puede haber problemas nutricionales específicos vinculados a

distintos estados patológicos. La deshidratación por diarrea es una causa destacada de mortalidad infantil. Determinados estados patológicos, y especialmente las enfermedades diarreicas y el sarampión, puede precipitar la aparición de carencias de vitamina A, que pueden ocasionar la ceguera y la muerte. La infestación por anquilostomas provoca pérdidas de hierro. El paludismo provoca inicialmente una anemia hemolítica, pero durante el período de recuperación de la enfermedad se produce en general una carencia de hierro. Las carencias de vitamina A, yodo, hierro y zinc repercuten todas ellas en el sistema inmunitario.

A menudo es difícil determinar si la causa principal del retraso del crecimiento del niño es la enfermedad infecciosa o la insuficiencia de la dieta. Lo que ocurre en realidad es que ambas cosas actúan de forma sinérgica, y que cada una de ellas agrava los efectos de la otra para producir lo que se ha denominado complejo de malnutrición e infección. Los efectos combinados de las enfermedades infecciosas y de los regímenes alimenticios inadecuados durante la enfermedad pueden no tener consecuencias graves para los niños bien nutridos. Para los niños con falta de peso, en cambio, los episodios de infección son más graves y prolongados. Para alcanzar mejoras duraderas del bienestar nutricional es decisivo romper esta asociación entre malnutrición e infección.

Las enfermedades transmitidas por los alimentos están muy generalizadas tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo. Las enfermedades graves de origen alimentario se deben a bacterias, virus y parásitos patógenos o a intoxicaciones graves causadas por contaminantes químicos. Se estima que estas infecciones dan lugar a 1 500 millones de casos de diarrea al año en niños menores de cinco años, de los que se deriva la muerte de más de 3 millones de ellos.

La OMS estima que hasta un 70 por ciento de todos los casos de diarrea tiene un origen alimentario. Los alimentos de destete contaminados con E. coli causan hasta el 25 por ciento de los casos de diarrea. La diarrea suele provocar desintegración de los tejidos y anorexia, con la siguiente subnutrición, especialmente en niños pequeños; además, algunos agentes patógenos pueden provocar aborto, parto prematuro o malformación del feto.

Las diarreas crónicas o recurrentes pueden también causar malnutrición proteinoenergética, anemia y carencia de vitamina A, especialmente en niños pequeños, lo que da lugar a defectos de crecimiento y trastornos del sistema inmunitario que reducen la resistencia a otras enfermedades infecciosas.

De todas las enfermedades, la diarrea (a menudo transmitida por los alimentos) es la que tiene mayores efectos negativos sobre el crecimiento de los lactantes. Las enfermedades de origen alimentario constituyen también un problema importante para la salud de los adultos. Las personas ancianas e inmunodeficientes (por ejemplo, los pacientes de cáncer y SIDA) son especialmente sensibles a los efectos de los agentes patógenos transmitidos por los alimentos sobre la salud.

El saneamiento del medio ambiente, el suministro de agua y la inocuidad de los alimentos son importantes factores determinantes del estado de nutrición y de salud. La contaminación de las fuentes de aprovisionamiento de agua depende de hábitos higiénicos tales como la eliminación de los excrementos y de las basuras, si bien la propia disponibilidad de agua es a menudo la variable más importante. La mejora del abastecimiento de agua y del saneamiento lleva consigo la disminución de las enfermedades diarreicas, la mejora de la situación nutricional y la reducción de la mortalidad infantil. Las repercusiones de esas mejoras dependen de otros factores, tales como los niveles de ingresos y de educación. Una importante ventaja de un suministro de agua potable en las proximidades de las viviendas es la reducción del tiempo y la energía empleados por las mujeres en su acarreo.

La inspección de los alimentos contribuye a proteger a los consumidores rurales y urbanos de los riesgos que plantean para la salud los alimentos perecederos que se comercializan a través de los sistemas locales de distribución. La carne procedente de animales enfermos, la leche mezclada con agua contaminada y la falta de refrigeración en las instalaciones lecheras de las zonas rurales representan riesgos graves para la salud. La contaminación de los alimentos que da lugar a enfermedades infecciosas, como fiebre tifoidea y diarrea aguda, puede redundar en un estado nutricional precario, especialmente en el caso de grupos vulnerables como los niños pequeños. Para evitar enfermedades de origen alimentario son necesarias unas prácticas de higiene y manipualción de los alimentos adecuadas en los hogares. En las zonas urbanas, donde el consumo de alimentos preparados en la vía pública es cada vez más frecuente, los organismos patógenos pueden introducirse en las materias primas e ingredientes a través de una manipulación incorrecta de los alimentos.

Las prácticas agrícolas tienen consecuencias importantes para la salud de las comunidades rurales. Por ejemplo, los sistemas de riego han ampliado los criaderos de los vectores patógenos del paludismo y de la esquistosomiasis. Cada vez más, entran en conflicto las demandas derivadas de la necesidad de agua para el riego y la necesidad de ese recurso esencial para el uso humano. El hecho es que el dilema ha de resolverse, dado que han de ponderarse los potenciales efectos perjudiciales del riego frente a las ventajas del aumento de los suministros de alimentos y de los ingresos que pueden derivarse del propio riego. Además, del uso inadecuado de sustancias químicas en la agricultura se derivan riesgos para la salud.

F. Estilos de vida y alimentación

Los estilos de vida sanos, que contribuyen a acentuar la sensación de bienestar de las personas, pueden actuar como amortiguadores respecto a las enfermedades. En ellos intervienen factores tales como: una dieta equilibrada, ejercicio físico regular; limitación de los estados de agotamiento y evitar el abuso del alcohol y del tabaco. El hábito de fumar tabaco sigue siendo en todo el mundo un problema para la salud, por estar directamente

relacionado con una mayor mortalidad por cáncer y con una mayor presencia de enfermedades cardíacas, y por sus efectos sobre el estado nutricional del feto.

Los datos de carácter demográfico reunidos en recientes estudios epidemiológicos confirman la importancia de la alimentación y de los estilos de vida en lo que atañe al cambio de las modalidades de malnutrición. El cambio de los perfiles de morbilidad y mortalidad en muchas zonas que están experimentando cambios sociales y económicos rápidos es característico de la relación dinámica entre los cambios de la alimentación, la disminución de las enfermedades infecciosas y la acentuación de los estilos de vida sedentarios. Es significativo al respecto el caso de la Europa oriental, donde estudios recientes ponen de manifiesto una disminución de la esperanza de vida en las zonas menos desarrolladas de la región, aun cuando sigan disminuyendo los índices de mortalidad infantil.

Aunque las enfermedades no transmisibles relacionadas con la dieta se observan sobre todo en poblaciones opulentas, están suscitando creciente preocupación entre clases pobres y medias de los países industrializados. Además, están empezando a plantear problemas de salud pública en numerosos países en desarrollo. En muchos de ellos, se ha registrado incluso un desplazamiento notable del interés desde los problemas de desnutrición hacia los problemas relacionados con una ingestión alimentaria excesiva y desequilibrada.

Los regímenes alimenticios que incluyen grandes cantidades de frutas, hortalizas, legumbres y cereales integrales llevan consigo una disminución de la aparición de esas enfermedades crónicas relacionadas con la alimentación. Las dietas que suponen menores riegos en relación con las enfermedades cardíacas y determinados cánceres son las que no tienen un contenido excesivo de calorías y grasas (especialmente grasas saturadas y colesterol), incluyen alimentos con cantidades suficientes de carbohidratos complejos y fibra dietética, así como vitaminas y minerales, y tienen un contenido moderado de sal.

La obesidad, relacionada a menudo con un exceso de aporte energético y de ingestión de grasas, aumenta el riesgo de hipertensión, apoplejía, diabetes y enfermedades coronarias. Un consumo excesivo de alcohol está asociado con diversos problemas de salud, así como con problemas sociales relacionados con la dependencia. En algunas personas, una ingestión elevada sal está relacionada con el aumento de la tensión arterial. Una ingestión elevada de grasas comestibles, especialmente grasas saturadas está vinculada con un nivel elevado de colesterol, que constituye un factor de riesgo para las enfermedades coronarias. La relación entre régimen alimenticio y cáncer está menos demostrada, aunque las pruebas existentes indican que las dietas ricas en grasas están relacionadas con algunos tipos de cáncer, como los de colon, próstata y mama. En algunas poblaciones, el cáncer de estómago está asociado con dietas que contienen grandes cantidades de alimentos ahumados y conservados en sal. Además, la frecuencia del consumo de azúcar y de otros carbohidratos refinados está estrechamente relacionada con la carie dental.

G. Disponibilidad de asistencia sanitaria y acceso a la misma

Son varios los servicios sanitarios que pueden mejorar el estado nutricional: la vacunación contribuye a romper la peligrosa asociación entre malnutrición e infección; los servicios terapeúticos acortan la duración de las enfermedades; la terapia de rehidratación oral reduce la gravedad y las consecuencias de las enfermedades diarreicas. Una alimentación apropiada durante la diarrea y después de esta acelera la recuperación. El riesgo, la gravedad y las secuelas de la diarrea durante los seis primeros meses de vida disminuyen considerablemente si los lactantes se alimentan exclusivamente con leche materna. La prestación de cuidados prenatales puede mejorar el peso al nacer. En el momento del nacimiento, las prácticas obstétricas ejercen una fuerte influencia sobre el inicio y establecimiento de la lactancia materna. Programas específicos de alimentación complementaria en relación con el hierro, vitamina A y yodo pueden constituir una intervención sanitaria eficaz.

La disponibilidad de servicios, personal capacitado, infraestructura y medicamentos esenciales, así como la disposición de la población para solicitar servicios sanitarios, determinan su utilización. Estos factores están relacionados entre sí y dependen del apoyo que reciba el personal sanitario, de su capacidad para trabajar y de su satisfacción en el empleo. La aceptación y calidad de los servicios sanitarios, su accesibilidad y la relación entre personal sanitario y pacientes son factores importantes que influyen en la utilización de los servicios.

Los servicios de salud primarios, secundarios y terciarios contribuyen esencialmente a prevenir la malnutrición y a mejorar la nutrición. Aunque la preocupación principal del paciente está relacionada con los servicios terapéuticos prestados en el centro sanitario local, para sostener una nutrición adecuada son necesarios otros elementos de la atención primaria de salud, como educación sanitaria, agua potable y saneamiento básico, servicios de higiene maternoinfantil, incluida planificación familiar, campañas de vacunación, lucha contra enfermedades endémicas y suministro de medicamentos esenciales. Los servicios de higiene maternoinfantil constituyen el elemento fundamental de los servicios sanitarios locales en lo que respecta a la nutrición. El establecimiento de una red de servicios de higiene maternoinfantil, en la que se preste especial atención a la práctica y promoción de la vigilancia del crecimiento infantil, es una de las medidas de salud pública más importantes para prevenir la desnutrición. Cuando se produce una falta de crecimiento, se identifican las causas -ya sean dietéticas o estén relacionadas con prácticas de alimentación o problemas socioeconómicos- y se adoptan las medidas apropiadas. Teniendo en cuenta las circunstancias económicas con que se enfrentan actualmente muchos países pobres, el número de personas atendidas por estos servicios de salud periféricos es muy bajo. Dadas las limitaciones financieras, servicios móviles de salud que eran frecuentes en el pasado se han visto obligados a disolverse. En ocasiones, las dificultades vigentes dan lugar a una degradación de la calidad de estos servicios. Todas estas circunstancias son factores de alto riesgo para la malnutrición.

Se ha reconocido que el número de personas asistidas por los servicios oficiales de salud en las comunidades es bajo. La esencia de la atención primaria de salud consiste en que las comunidades participan en los componentes fundamentales de su propia asistencia sanitaria, con el apoyo del centro de salud más cercano, y los organizan. Desde la Conferencia de Alma Ata, este proceso se ha ampliado hasta alcanzar a un número considerable de comunidades en casi todos los países, aunque es necesario llegar a más personas necesitadas. Muy a menudo esto se consigue mediante la creación de un comité de salud en las aldeas y la capacitación de trabajadores de salud en las comunidades. Otro factor que contribuye a determinar el estado nutricional es el grado de sensibilización de las comunidades respecto de las cuestiones sanitarias y su capacidad para elaborar un programa de salud a nivel comunitario, dado que todos los aspectos de la asistencia sanitaria repercuten sobre la nutrición. La existencia de estas actividades locales es un factor muy importante para la nutrición de los niños pequeños y de las madres.

H. Cuidados y nutrición en los hogares

Los cuidados constituyen en sí un elemento esencial de una buena salud y nutrición. Pueden darse casos de malnutrición aun cuando un hogar tenga acceso a cantidades y tipos de alimentos suficientes, así como a servicios de saneamiento y salud apropiados. Aunque unos ingresos suficientes, una mayor disponibilidad de alimentos y servicios de salud más amplios son requisitos necesarios para mejorar la nutrición, no aportarán mejoras a menos que los hogares estén en condiciones de valerse de ellos. Además de la necesidad de aumentar la aptitud de las familias para proporcionar cuidados a todos sus miembros, la mejora de la nutrición de los grupos desfavorecidos y vulnerables puede depender también de la capacidad y disposición de la sociedad para prestarles asistencia.

Los cuidados consisten en la dedicación, en el hogar y en la comunidad, de tiempo, atención y ayuda para cubrir las necesidades físicas, mentales y sociales de los niños en edad de crecimiento y de otros miembros de la familia. Estos cuidados redundan en el uso óptimo de los recursos humanos, económicos y de organización. Además, ofrecen la posibilidad de hacer el mejor uso posible de los recursos alimentarios del hogar destinados a la alimentación de los niños, especialmente en el contexto de nutrición infantil. Estos cuidados implican el uso eficaz de los recursos para proteger a los niños de las infecciones, atenderlos durante las enfermedades y prestar asistencia a otras personas que puedan ser incapaces de cuidar de sí mismas debido a su invalidez o ancianidad. De modo más general, incluyen la preocupación por el bienestar sicológico y emocional. Aunque constituyen objetivos en sí, pueden a su vez, beneficiar a la nutrición y la salud. Se considera que el apoyo emocional, incluido el sentimiento de seguridad, constituye un factor determinante de la nutrición infantil en las primeras fases de la vida.

Proporcionar cuidados personales en el hogar constituye un aspecto importante del comportamiento humano. El tipo de cuidados prestados depende de los recursos del hogar y de las actitudes de los que adoptan decisiones respecto del uso de dichos recursos. Para que las personas puedan proteger y mejorar su propio estado nutricional y el de aquellos

que tienen a su cargo, requieren una información básica sobre las necesidades nutricionales y sanitarias, así como sobre el modo mejor de satisfacerlas con los recursos disponibles. Además de medios económicos, las jefes de familia y dispensadoras de cuidados primarios necesitan también tiempo, energías y motivación para asegurar el bienestar equitativo de todos los miembros de la familia y poner en práctica sus conocimientos. Una buena nutrición depende de la disponibilidad de diversos alimentos, bienes y servicios, pero sobre todo de que las personas sean capaces de utilizarlos eficazmente.

Los conocimientos, actitudes y prácticas de los miembros de la familia, en particular del jefe de la misma y del dispensador de cuidados primarios, determinan en gran medida el estado nutricional de la familia. La malnutrición puede deberse a una comprensión deficiente de las necesidades nutricionales variables del organismo a lo largo del ciclo vital, así como el modo mejor para cubrir estas necesidades con los alimentos disponibles. Las modas y tabúes alimentarios, los hábitos alimentarios incorrectos, las técnicas precarias de preparación de los alimentos, así como una comprensión insuficiente de los riesgos para la salud y unas necesidades dietéticas y unos estados fisiológicos especiales, son todos ellos factores que contribuyen a una nutrición deficiente. Aunque ninguna de estas prácticas es fácil de cambiar, la educación en materia de nutrición puede ser una intervención apropiada y eficaz para ayudar a prevenir y corregir los problemas nutricionales.

Las personas que prestan cuidados pueden ser tanto la madre y el padre como otras personas. Sin embargo, es preciso señalar que, en muchos países, lo que determina esencialmente el tipo de alimentos que se consumen, el modo en que se preparan y la cuantía del apoyo emocional y la respuesta que se da a las necesidades de los niños pequeños es la índole de las actividades de la madre (es decir la combinación de tareas domésticas y actividades que generan ingresos), que tienen un carácter apremiante y limitan su tiempo. Todos estos aspectos de la vida diaria afectan el estado nutricional y, en las sociedades muy pobres, tienen una importancia crucial para prevenir la malnutrición infantil. Por consiguiente, es esencial tener en cuenta la función de la mujer y sus conocimientos, motivación, tiempo y control de los recursos, en particular los ingresos. Las madres que han recibido educación y disponen de recursos son más capaces de hacer frente a las enfermedades de sus hijos y a otros problemas. La posición subordinada de las mujeres en muchas sociedades puede ser también una causa importante de la malnutrición. Los niños y las mujeres figuran entre las primeras víctimas de la pobreza y la malnutrición en situaciones en que las creencias vigentes legitiman su posición de inferioridad.

La lactancia materna es una de las actividades más elementales e importantes relacionadas con la prestación de cuidados. Para el niño, la lactancia materna representa una combinación de acceso a los alimentos, protección contra las infecciones y recepción de cuidados afectuosos en una sola actividad. Para la madre, el amamantamiento significa un fortalecimiento de los lazos con su hijo y, cuando éste no recibe más líquidos o alimentos que la leche materna, contribuye a protegerla de otro embarazo en los seis primeros meses después del parto. El aumento del intervalo entre los nacimientos protege a su vez la salud y el estado nutricional de la madre y los de otros miembros de la familia.

El conjunto de actividades esenciales que viene a continuación es el proceso de destete, que tiene lugar entre los seis y los 24 meses. Los lactantes están expuestos a los riesgos nutricionales más graves, en forma de contaminación de los alimentos, menor densidad energética, alimentación menos frecuente y pérdida de la seguridad materna durante esta época. Esta responsabilidad se confía a veces a un hermano mayor que no es capaz de cuidar adecuadamente del lactante, lo que puede causar su malnutrición e incluso su muerte. La dureza de las condiciones de vida en las zonas rurales y urbanas pobres puede dar lugar a que los contactos entre la madre y el hijo sean escasos a partir del destete. Los conocimientos y la motivación del dispensador de cuidados afecta directamente al carácter de la respuesta de las necesidades de los niños. En este contexto, los problemas relacionados con los cuidados a las adolescentes pasan a menudo inadvertidos, aunque éstas constituyen también un grupo nutricionalmente vulnerable y necesitado de cuidados.

El nivel educacional de las madres, independientemente de los ingresos del hogar, está relacionado positivamente con un mejor estado nutricional de los niños y una tasa de mortalidad infantil más baja. Los efectos de la educación materna en la salud de los hijos están condicionados por una administración mejor de los recursos del hogar. La educación materna va asociada con frecuencia con un mayor uso de los servicios de atención de la salud, tasas de fecundidad más bajas y comportamientos más centrados en la prestación de cuidados a los niños. Al aumentar el nivel educacional, las mujeres tienen más poder dentro de la familia para asignar recursos destinados a los alimentos y a otros bienes necesarios para la salud y bienestar de sus hijos.

La asignación de los alimentos dentro del hogar es una cuestión importante y está directamente relacionada con las causas básicas del acceso a los alimentos y a los cuidados. De conformidad con las costumbres de ciertas sociedades, algunos miembros de la familia reciben más alimentos que otros en proporción con sus necesidades nutricionales. Por ejemplo, las investigaciones indican que en ciertos países los varones son objeto de un trato de favor.

Son numerosos los factores familiares y demográficos relacionados con la malnutrición infantil, como el tipo de vivienda y abastecimiento de agua, el orden de nacimiento, la edad de la madre, la edad del niño en el momento del destete y la presencia o ausencia de otros hermanos. Los nacimientos frecuentes pueden reducir las reservas nutricionales de una mujer. Cuando la ingestión de nutrientes de una mujer embarazada es limitada, lo primero que se cubren son las necesidades del feto. Además, la presencia de un gran número de niños pequeños en el hogar puede tener efectos negativos en éstos, independientemente de otros factores socioeconómicos.

I. Cuidados y nutrición en las comunidades

En los párrafos anteriores se ha subrayado la importancia de los cuidados prestados por las personas y familias para el bienestar nutricional. Sin embargo, las comunidades influyen también considerablemente sobre la nutrición. El estado nutricional es el resultado

de una compleja trama de factores sociales, económicos, demográficos y ambientales. Las sociedades tienen un instinto de supervivencia básico y uno de los elementos esenciales de esta supervivencia es una nutrición suficiente. Muchas comunidades, especialmente en los países en desarrollo, han de hacer frente a un entorno físico y económico muy riguroso. Su capacidad para actuar en este entorno depende en parte de sus recursos naturales, que pueden ser totalmente insuficientes. Por ejemplo, una aldea puede haberse establecido, por motivos históricos, en una tierra inadecuada para la agricultura, sumamente erosionada o agotada, o localizada en zonas infestadas con agentes o vectores de enfermedades. La supervivencia de la comunidad depende de su capacidad para superar esas limitaciones gracias a sus propios recursos, a la ayuda del Gobierno o a otros recursos externos.

El entorno económico puede ser igualmente problemático. Por ejemplo, las aldeas aisladas pueden tener dificultades para competir con otras situadas en zonas con mejores accesos a un mercado y tener que aceptar una disminución de los precios de algunos de sus productos primarios.

La aptitud de una comunidad para hacer frente a estos problemas depende de su propia estructura y organización, de la capacidad de sus dirigentes, de su disposición a cooperar con los demás y a velar por los intereses de la comunidad en conjunto. En las aldeas suele haber un gobierno, consejo u otra organización de carácter oficial u oficioso. La idoneidad de esta estructura y el estímulo y apoyo proporcionados por el centro más cercano del gobierno local tienen una influencia considerable sobre la capacidad de la comunidad para hacer frente a sus problemas ambientales e internos.

La organización social y la capacidad de dirección pueden repercutir también notablemente en el estado nutricional de la comunidad. Por ejemplo, unos dirigentes activos pueden organizar las tareas comunitarias necesarias para mantener los caminos y puentes de la aldea. Grupos de agricultores pueden facilitar los contactos comerciales con el mundo exterior, a fin de posibilitar la comercialización de sus productos y el acceso a los servicios gubernamentales.

Si existe una sensibilización suficiente con respecto a las cuestiones nutricionales, de salud o sociales, el comité de aldea, o grupos extraoficiales, especialmente organizaciones de mujeres de la comunidad, pueden en ocasiones identificar a las personas deficientemente nutridas, familias con problemas, personas desplazadas, campesinos sin tierras u otras familias desfavorecidas. En las comunidades bien organizadas, una organización local se ocupa de estos problemas. Si no existen organizaciones comunitarias de este tipo, es probable que el estado nutricional de los miembros de la comunidad, junto con otros indicadores de la calidad de vida, empeoren notablemente.

BIBILIOGRAFIA

Abdullah, M. & Wheeler. E. 1985. Seasonal variations and the intra-household distribution of food in a Bangladeshi village. Amer. J. Clin. Nutr. 41:1305-13.

Alderman, H. 1990. Nutritional status in Ghana and its determinants, social dimensions of adjustment in sub-Saharan Africa. Working paper no. 5. Washington, DC. World Bank.

Behrmann, J.R., Deolalikar, A.B.& Wolfe. B.L. 1988. Nutrients: impacts and determinants. World Bank Econ. Rev. 2(3): 299-320.

Berg, A. 1981. Malnourished people: a policy view. Washington, DC. World Bank.

Chambers, R., Longhurst, R. & Pacey. A., eds. 1981. Seasonal dimensions to rural poverty. London, Frances Pinter.

Chen, L., 1983. Interaction of diarrhoea and malnutrition. In. L. C. Chen & N. Scrimshaw, eds. Diarrhoea and malnutrition: interaction, mechanisms and interventions, p. 3-19. New York, Plenum Press.

Chen, L. Huq E & Huffman, S. 1981. A prospective study of the risk of diarrhoeal diseases according to the nutritional status of children. Amer. J. Epidemiol. 114: 284.

Haaga, J. G. & Mason, J. B. 1987. Food distribution within the family: evidence and implications for research and programmes. Food Policy 12(2): 146-160.

Heller, P. & Drake, W. 1979. Malnutrition, child morbidity and the family decision process. J. Dev. Econ., 6: 203-235.

Hornik, R. 1985. Nutrition education. ACC/SCN State-of-the-art review. Nutrition policy discussion paper no. 1 Geneva.

Kielmann A. et al. 1983. Child and maternal health services in rural India: the narangwal experiment. Integrated nutrition and health care, vol. 1. Baltimore, MD, Johns Hopkins Press.

Lipton, M. 1983. Poverty, undernutrition and hunger. World Bank staff working paper no. 597. Washington, DC.

Longhurst, R. 1984. The energy trap: work, nutrition and child malnutrition in northern Nigeria. Cornell international nutrition monograph series no. 13. Ithaca, NY.

Martorell, R., Leslie, J. & Moock, P. 1984. Characteristics and determinants of child nutritional status in Nepal. Amer. J. Clin. Nutr., 39: 74-86.

Mata, L.J. 1978. The children of Santa María Cauqué: a prospective field study of health and growth. The MIT Press international nutrition policy series no. 2. Cambridge, MA.

Rowland, M. et al. 1977. A quantitative study into the role of infection in determining nutritional status in Gambian village children. Brit. J. Nutr., 37: 441-450.

Rowland, M., Rowland, S. & Cole, T. 1988. Impact of infection on the growth of children for 0 to 2 years in an urban West African community. Amer. J. Clin. Nutr., 47:134-138.

Sahn, D.E., ed. 1989. Seasonal variability in Third World agriculture: the consequences for food security. Baltimore, MD, Johns Hopkins Press.

Sahn, D. 1990. Malnutrition in Côte d'Ivoire: social dimensions of adjustment in sub-saharan Africa. Working paper no., 3. Washington DC. World Bank.

Scrimshaw, N., Taylor C. & Gordon J. 1968. Interaction of nutrition and infection. Geneva, WHO.

Tomkins, A. 1981. Nutritional status and severity of diarrhoea among preschool children in rural Nigeria. Lancet, 1: 860-862.

Tomkins, A. & Watson, F. 1989. Malnutrition and infection: a review. ACC/SCN State-of-the-art series. Nutrition policy discussion paper no. 5. Geneva.

Wolfe, B. & Behrman, J. 1982. Determinants of child nutrition, health and nutrition in a developing country. J. Devel. Econ., 11:165-193.