고등학교

생명과학 Ⅱ

이준규
김재근
윤신선
최종훈
김선혜
정태실

머 리 말

21세기는 생명 과학의 시대라고 해도 과언이 아닐 정도로 생명 과학은 빠른 속도로 발전해가고 있다. 특히, 자연과 생태계에서부터 사람의 질병과 생명 공학 기술에 이르기까지, 다양한 생명 과학 분야는 현재 우리가 맞이하고 있는 여러 가지 사회적 문제와 관련성이 높으며, 따라서 생명 과학에 대한 이해는 현대 사회의 구성원으로서 모두가 가져야 할 보편적인 소양이 되어가고 있다.

2015년 개정 교육과정의 생명 과학 II는 생명 과학의 핵심 개념에 대한 이해를 바탕으로 학문적 호기심과 흥미를 함양하고, 개인과 사회의 문제를 창의적으로 해결할 수 있는 과학적 소양을 기르는 것을 목표로 하고 있다. 이를 위해 생명 과학 II는 '생명 과학의 역사', '세포의 특성', '세포 호흡과 광합성', '유전자의 발현과 조절', '생물의 진화와 다양성', '생명 공학 기술과 인간 생활'의 6개 단원으로 구성되었다.

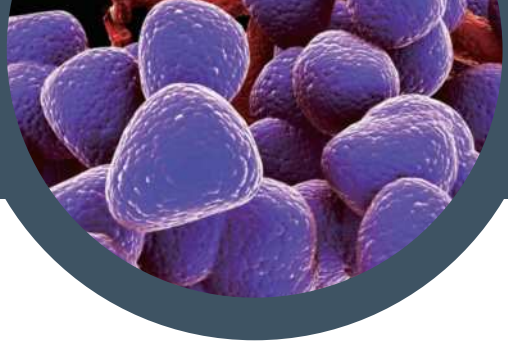
'생명 과학의 역사' 단원은 인류의 역사와 함께 발전해 온 생명 과학의 발전 과정에 대해 알아보고 생명 과학의 발전이 인간의 삶에 어떤 기여를 했는지 관심을 갖도록 구성하였다. '세포의 특성' 단원은 생명의 기본 단위인 세포에서 일어나는 다양한 생명 현상의 핵심 개념을 심도 있게 다루었으며, '세포 호흡과 광합성'은 미토콘드리아와 엽록체의 전자 현미경적 구조와 기능을 이해하고, 이를 토대로 세포 호흡과 광합성의 과정을 이해할 수 있도록 구성하였다. '유전자의 발현과 조절' 단원은 유전 물질의 복제와 정보 전달 시스템을 분자 수준에서 이해하고, 유전자의 발현과 조절 현상을 이해할 수 있도록 구성하였다. '생물의 진화와 다양성' 단원은 생물 상호 간의 진화적 연계성에 기초하여 분류, 생물 다양성 등을 체제적이고 종합적으로 다루었고, '생명 공학 기술과 인간 생활'은 생명 공학 기술의 원리와 활용, 그리고 생명 윤리 문제를 포함한 가치의 문제까지 폭넓게 다룸으로써 생명 공학 기술 발전의 산물들과 그 원리에 관심을 갖도록 구성하였다.

본 교과서에서는 단원마다 다양하게 시각화된 자료를 사용하여 내용을 가능한 한 쉽게 파악할 수 있도록 하였으며, 단순한 지식 전달뿐만 아니라 다양한 활동과 문제를 통해 사고력, 탐구 능력, 문제 해결력, 의사소통 능력, 참여와 평생 학습 능력 등의 과학과 핵심 역량을 기르고, 창의적 사고와 융합적 사고를 유도할 수 있도록 노력하였다.

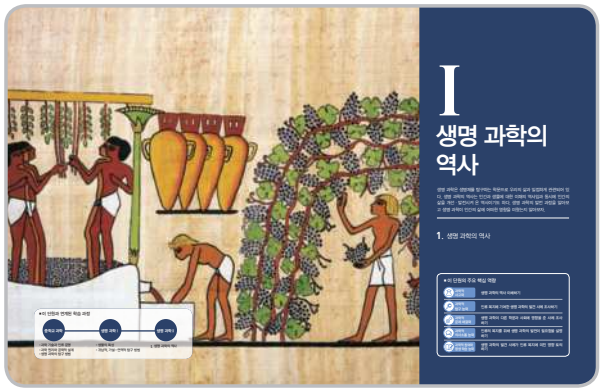
이 교과서를 통해 학생들이 생명 과학에 대한 관심과 흥미를 지니고, 과학적 소양을 함양하여 인류의 발전에 기여할 수 있는 창의적인 민주 시민으로 성장해 가길 진심으로 기대한다.

지은이 씀

이 책의 구성과 특징

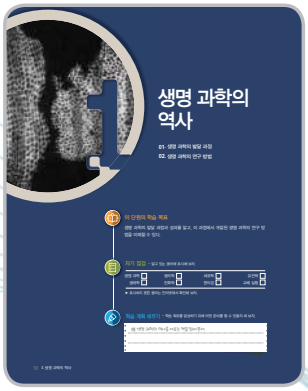


단원의 도입



| 대단원 도입 |

단원에서 배울 핵심 개념과 과학과 핵심 역량을 제시하였다.



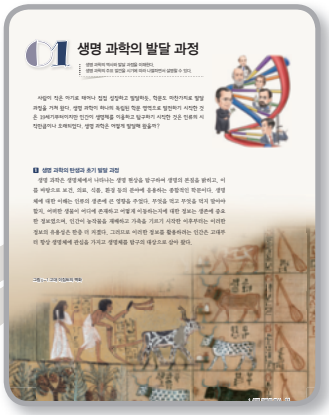
| 중단원 도입 |

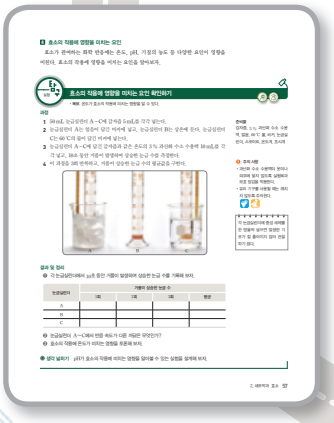
단원과 관련하여 알고 있는 내용을 점검하고, 자기 주도적으로 학습 계획을 세울 수 있도록 하였다.

단원의 본문

| 소단원 도입 |

학습 목표를 안내하고, 단원과 관련된 흥미로운 소재로 시작하였다.



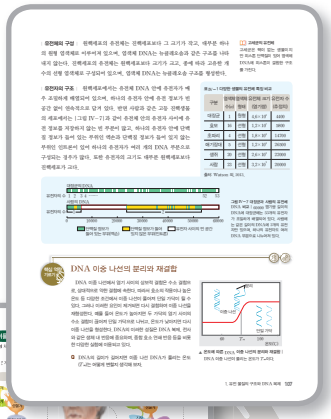


| 탐구 |

과학과 핵심 역량을 키울 수 있도록 실험, 자료 해석, 자료 조사, 모의실험, 모형 활동 등 다양하게 구성하였다.

과학과 핵심 역량 아이콘 > 과학적 사고력 | 과학적 탐구 능력 | 과학적 문제 해결력 | 과학적 의사소통 능력 | 과학적 참여와 평생 학습 능력

단원의 마무리



| 핵심 역량 기르기 |

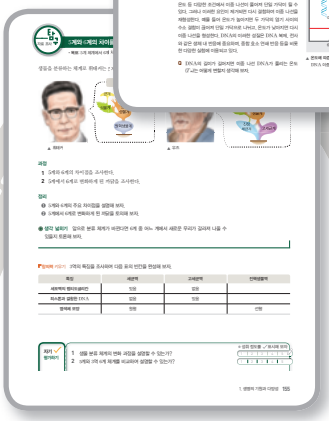
과학과 핵심 역량을 키울 수 있도록 다양한 자료를 제시하였다.

| 창의력 키우기 |

창의력을 키울 수 있는 다양한 문제를 제시하였다.

| 자기 평가하기 |

소단원의 학습 내용을 잘 이해했는지 스스로 평가할 수 있도록 하였다.

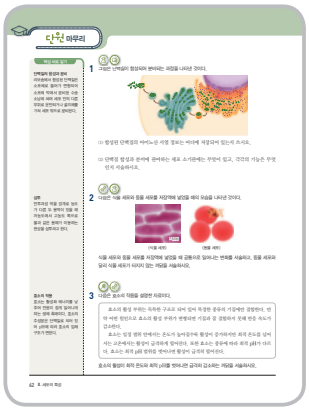


| 생명 과학 이야기 |

생명 과학과 관련된 다양한 읽을거리를 단원의 특성에 맞게 제시하고, 생각해 보기 문제로 사고력과 의사소통 능력 등을 기를 수 있도록 하였다.

| 개념 정리하기 |

핵심 내용 정리하기, 개념 확인하기, 개념 응용하기를 단계적으로 제시하여 자기 주도적으로 학습할 수 있도록 하였다.



| 단원 마무리 |

단원에서 배운 내용을 종합적으로 점검할 수 있도록 하였다.

탐구 안전 아이콘 > 냄새 맡지 말 것 | 날카로운 물체 주의 | 깨짐 주의 | 화상 주의 | 보안경 착용 | 마스크 착용 | 보호 장갑 착용

자기 주도 학습 도우미 > 보충 설명 | 용어 정리 | 과학자 | 연계 학습 | 주의 사항 | 궁금해요

이 책의 차례

I 생명 과학의 역사

1 생명 과학의 역사 • 10

01 생명 과학의 발달 과정 • 11

02 생명 과학의 연구 방법 • 16

개념 정리하기 • 20

단원 마무리 • 22

II 세포의 특성

1 세포의 특성 • 26

01 생명체의 구성 • 27

02 세포의 구조와 기능 • 33

개념 정리하기 • 44

2 세포막과 효소 • 46

01 세포막을 통한 물질의 출입 • 47

02 효소 • 54

개념 정리하기 • 60

단원 마무리 • 62

III 세포 호흡과 광합성

1 세포 호흡과 발효 • 66

01 물질대사와 세포 소기관 • 67

02 세포 호흡 • 70

03 발효 • 77

개념 정리하기 • 82

2 광합성 • 84

01 광합성 과정 • 85

02 광합성과 세포 호흡의 비교 • 94

개념 정리하기 • 96

단원 마무리 • 98

Ⅳ 유전자의 발현과 조절

1 유전체의 구조와 DNA 복제 · 102

01 유전 물질의 구조와 특성 · 103
02 DNA 복제 · 109
개념 정리하기 · 112

2 유전자 발현 · 114

01 유전자의 기능과 유전부호 · 115
02 전사와 번역 · 120
개념 정리하기 · 126

3 유전자 발현의 조절 · 128

01 유전자 발현 조절의 원리 · 129
02 세포 분화와 발생 · 133
개념 정리하기 · 138
단원 마무리 · 140

Ⅴ 생물의 진화와 다양성

1 생명의 기원과 다양성 · 144

01 생명의 기원과 진화 · 145
02 생물의 분류 체계 · 151
03 생물의 다양성 · 156
개념 정리하기 · 168

2 생물의 진화 · 170

01 진화의 증거 · 171
02 진화의 원리와 종분화 · 175
개념 정리하기 · 182
단원 마무리 · 184

Ⅵ 생명 공학 기술과 인간 생활

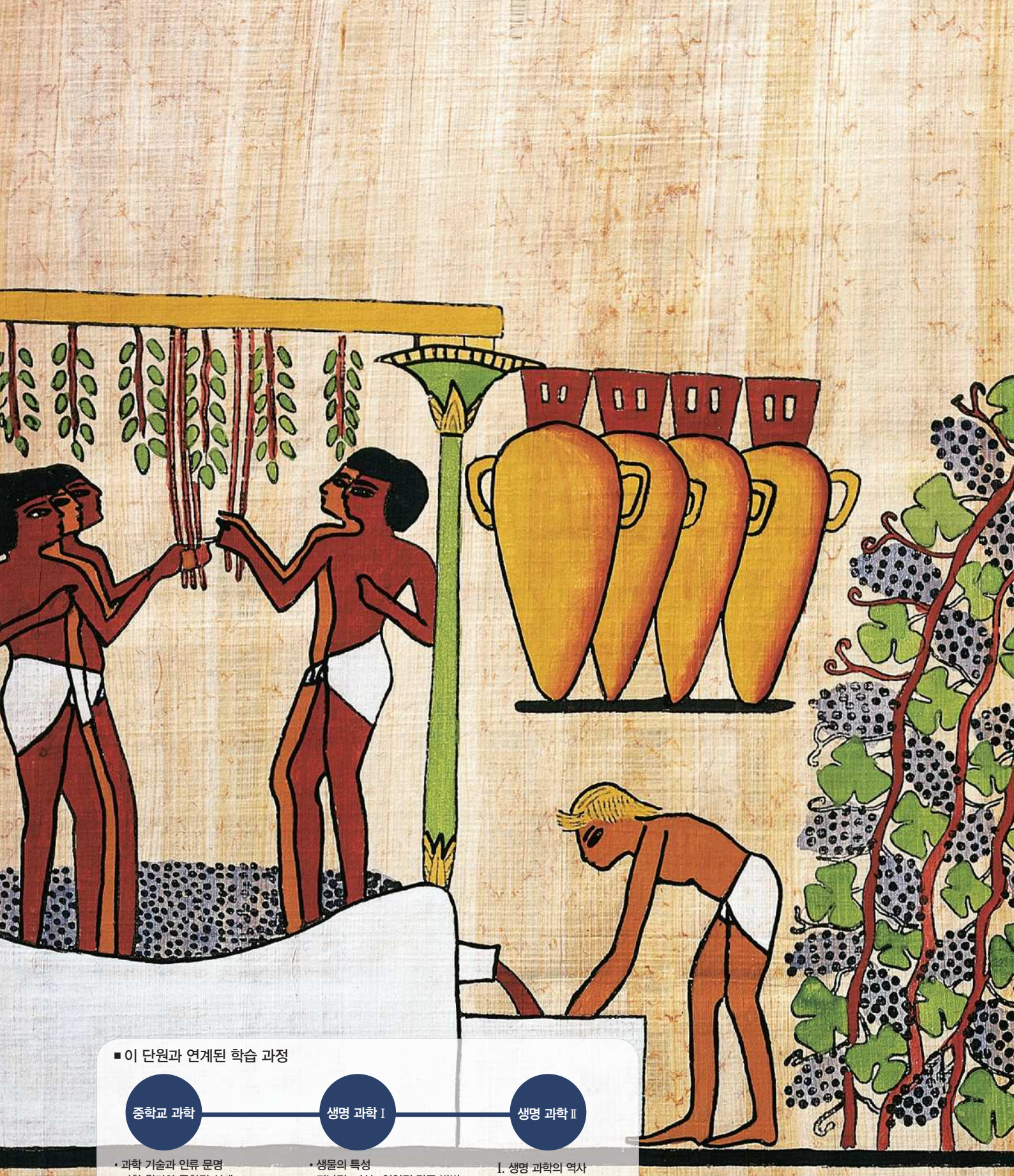
1 생명 공학 기술의 원리와 활용 · 188

01 유전자 재조합 기술 · 189
02 다양한 생명 공학 기술의 원리와 활용 · 197
개념 정리하기 · 204

2 생명 공학 기술과 생명 윤리 · 206

01 생명 공학 기술의 전망 · 207
02 생명 공학 기술과 생명 윤리 · 211
개념 정리하기 · 216
단원 마무리 · 218

부록 · 220



■ 이 단원과 연계된 학습 과정

중학교 과학

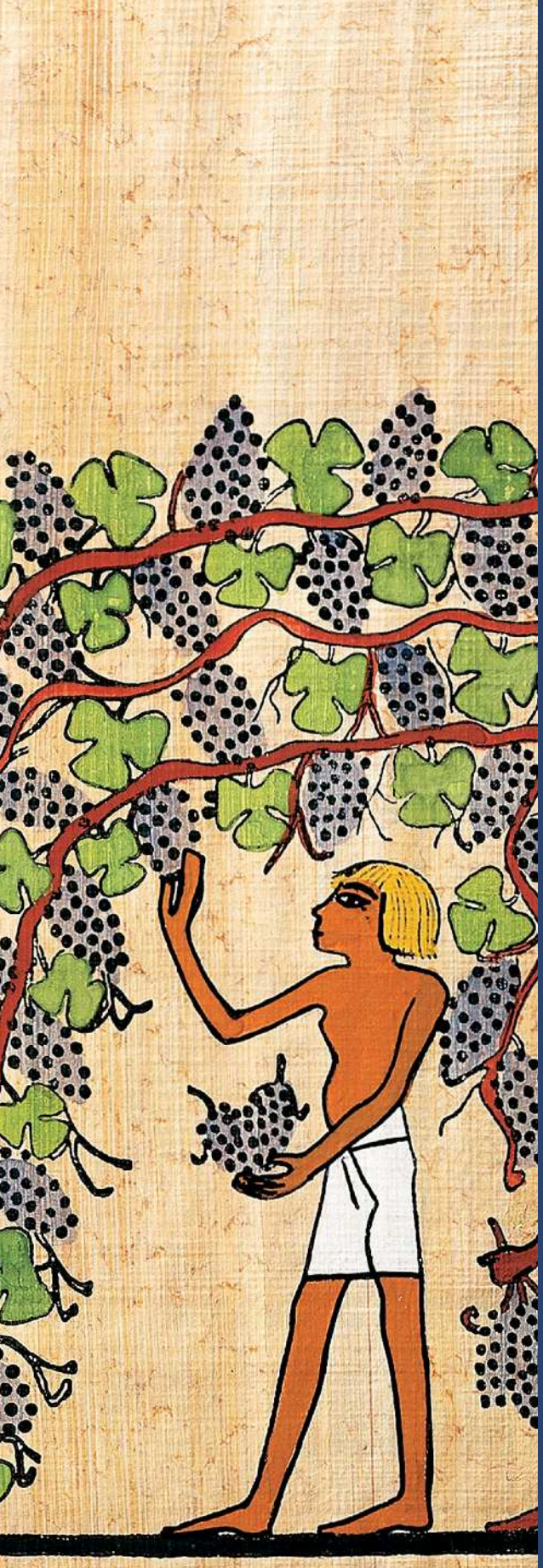
- 과학 기술과 인류 문명
- 과학 원리와 공학적 설계
- 생명 과학의 탐구 방법

생명 과학 Ⅰ

- 생물의 특성
- 귀납적, 가설-연역적 탐구 방법

생명 과학 Ⅱ

Ⅰ. 생명 과학의 역사



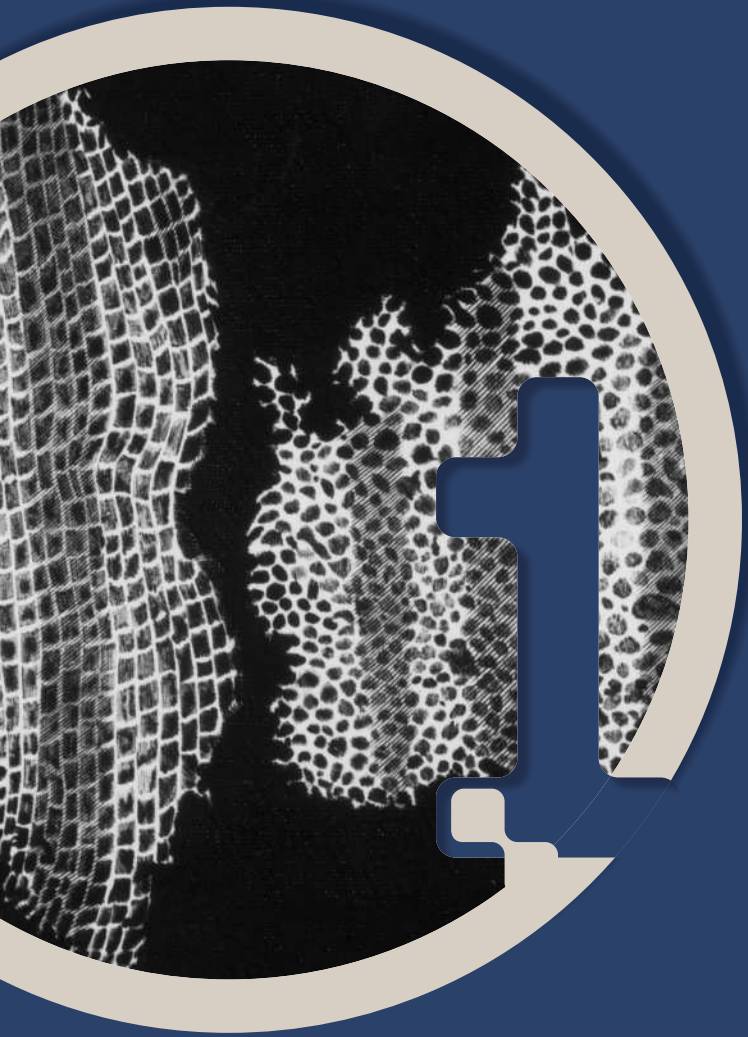
I 생명 과학의 역사

생명 과학은 생명체를 탐구하는 학문으로 우리의 삶과 밀접하게 관련되어 있다. 생명 과학의 역사는 인간과 생물에 대한 이해의 역사임과 동시에 인간의 삶을 개선 · 발전시켜 온 역사이기도 하다. 생명 과학의 발전 과정을 알아보고 생명 과학이 인간의 삶에 어떠한 영향을 미쳤는지 알아보자.

1. 생명 과학의 역사

■ 이 단원의 주요 핵심 역량

과학적 사고력	생명 과학의 역사 이해하기
과학적 탐구 능력	인류 복지에 기여한 생명 과학의 발견 사례 조사하기
과학적 문제 해결력	생명 과학이 다른 학문과 사회에 영향을 준 사례 조사하기
과학적 의사소통 능력	인류의 복지를 위해 생명 과학의 발전이 필요함을 설명하기
과학적 참여와 평생 학습 능력	생명 과학의 발견 사례가 인류 복지에 미친 영향 토의하기



생명 과학의 역사

01. 생명 과학의 발달 과정
02. 생명 과학의 연구 방법

이 단원의 학습 목표

생명 과학의 발달 과정과 성과를 알고, 이 과정에서 개발된 생명 과학의 연구 방법을 이해할 수 있다.

자기 점검 – 알고 있는 용어에 표시해 보자.

생명 과학 ☐	생리학 ☐	세포학 ☐	유전학 ☐
생태학 ☐	진화학 ☐	현미경 ☐	교배 실험 ☐

▶ 표시하지 못한 용어는 인터넷에서 확인해 보자.

학습 계획 세우기 – 학습 목표를 달성하기 위해 어떤 준비를 할 수 있을지 써 보자.

예 생명 과학의 역사를 다루는 책을 읽어 본다.

01 생명 과학의 발달 과정

- 생명 과학의 역사와 발달 과정을 이해한다.
- 생명 과학의 주요 발견을 시기에 따라 나열하면서 설명할 수 있다.

사람이 작은 아기로 태어나 점점 성장하고 발달하듯, 학문도 마찬가지로 발달 과정을 거쳐 왔다. 생명 과학이 하나의 독립된 학문 영역으로 발전하기 시작한 것은 19세기부터이지만 인간이 생명체를 이용하고 탐구하기 시작한 것은 인류의 시작만큼이나 오래되었다. 생명 과학은 어떻게 발달해 왔을까?

1 생명 과학의 탄생과 초기 발달 과정

생명 과학은 생명체에서 나타나는 생명 현상을 탐구하여 생명의 본질을 밝히고, 이를 바탕으로 보건, 의료, 식품, 환경 등의 분야에 응용하는 종합적인 학문이다. 생명체에 대한 이해는 인류의 생존에 큰 영향을 주었다. 무엇을 먹고 무엇을 먹지 말아야 할지, 어떠한 생물이 어디에 존재하고 어떻게 이동하는지에 대한 정보는 생존에 중요한 정보였으며, 인간이 농작물을 재배하고 가축을 기르기 시작한 이후부터는 이러한 정보의 유용성은 한층 더 커졌다. 그러므로 이러한 정보를 활용하려는 인간은 고대부터 항상 생명체에 관심을 가지고 생명체를 탐구의 대상으로 삼아 왔다.

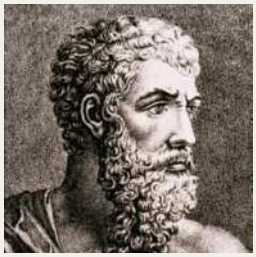
그림 I-1 고대 이집트의 벽화

고대

중세

근대

고대 문명이 출현한 중국과 인도, 메소포타미아와 이집트 등에서 생물에 관한 연구들이 진행되었으나 현대 생명 과학의 뿌리는 고대 그리스 시대로부터 시작되었다고 할 수 있다. 고대 그리스의 철학자인 아리스토텔레스(Aristoteles, B.C. 384~B.C. 322)는 540여 종의 동물을 분류하고 그 중 50여 종을 해부하였으며, 테오프라스토스(Theophrastos, B.C. 372?~B.C. 287?)는 『식물의 역사』라는 책에서 다양한 식물을 분류하는 방법을 제시하였다. 갈레노스(Galenos, 129?~199?)는 다양한 생물을 해부한 지식을 바탕으로 의학에 관한 서적을 남겼다.



▲ 아리스토텔레스

▲ 갈레노스

중세에 일어난 르네상스는 인간이 경험적이고 실증적인 사실이 중요함을 깨닫도록 해 주었으며, 이는 생명 과학에도 마찬가지 영향을 미쳤다. 베살리우스(Vesalius, A., 1514~1564)는 이러한 경험주의 철학을 바탕으로 인체를 직접 해부하면서 『인체의 구조에 관하여』를 써 코페르니쿠스(Copernicus, N., 1473~1543)의 『천구의 회전에 관하여』와 함께 과학 혁명의 견인차 역할을 하였다. 또한 하비(Harvey, W., 1578~1657)는 혈액과 혈관에 관한 실증적 연구로 갈레노스가 주장한 혈액 생성 이론이 틀리고, 혈액은 온몸을 순환한다는 사실을 밝혔다.

▲ 『인체의 구조에 관하여』

▲ 『천구의 회전에 관하여』

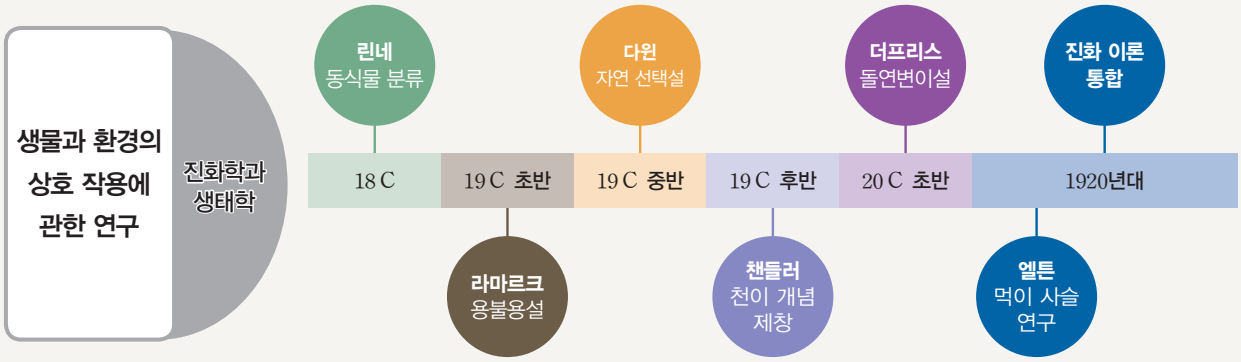
17세기 초에 개발된 현미경과 세포 염색법은 생명체에 대한 시야를 한층 넓히는 계기가 되었다. 훅(Hooke, R., 1635~1703)은 현미경을 이용해 생물을 관찰한 후 세포라는 용어를 최초로 사용하였으며, 레이우엔훅(Leeuwenhoek, A. van, 1632~1723)은 다양한 미생물을 관찰하였다. 슐라이덴(Schleiden, M., 1804~1881)과 슈반(Schwann, T., 1810~1882)은 다양한 동식물을 관찰한 후 생물의 가장 기본적인 단위가 세포임을 주장하는 세포설을 발표하였다.

▲ 훅의 현미경

▲ 레이우엔훅의 현미경

또한 이 시기에는 생물들을 분류하고 체계적으로 명명하는 학문이 발전하기 시작하였다. 린네(Linné, C. von, 1707~1778)는 4000여 종의 동물과 5000여 종의 식물을 분류하고 각각의 종명을 부여함으로써 현대 생물 분류학의 기초를 닦았다.

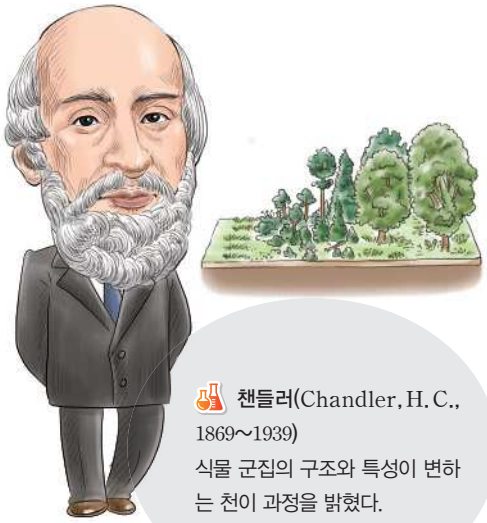
19세기로 들어서면서 생명 과학은 크게 생물과 환경이 어떻게 상호 작용하는지에 관심을 가지는 분야와 생명체의 구조와 기능에 관심을 가지는 분야로 양분되었으며, 각 분야는 세포학, 생리학, 미생물학, 생화학, 분자 생물학, 형태학, 발생학, 생태학, 진화학 등으로 세분화되었다.



2 생물과 환경의 상호 작용에 관한 연구 사례

진화학 | 19세기 중반에 많은 생명 과학자가 전 세계를 여행하면서 생물의 다양성과 분포에 관련한 다양한 정보를 얻었다. 훔볼트(Humboldt, A. von, 1769~1859)는 생명체와 자연환경의 상호 관계를 연구하여 생물 지리학의 초석을 쌓았다. 지리학의 발전과 다양한 화석의 발견은 생명 과학에 진화라는 개념이 형성될 수 있게 해 주었다. 라마르크(Lamarck, J. B. P. A., 1744~1829)는 용불용설을 바탕으로 하여 단순한 생물에서 인간과 같은 고등한 생물로 진화한다는 주장을 펼쳤고, 다윈과 월리스(Wallace, A. R., 1823~1913)는 자연 선택으로 인한 종의 분화를 주장하였다. 이후 유전학과 분자 생물학이 발달하면서 진화를 대립유전자의 빈도 변화와 관련지어 해석하기 시작하였으며, 진화의 다양한 요인을 연구하여 오늘날 종합적인 진화론으로 발전시켜 왔다.

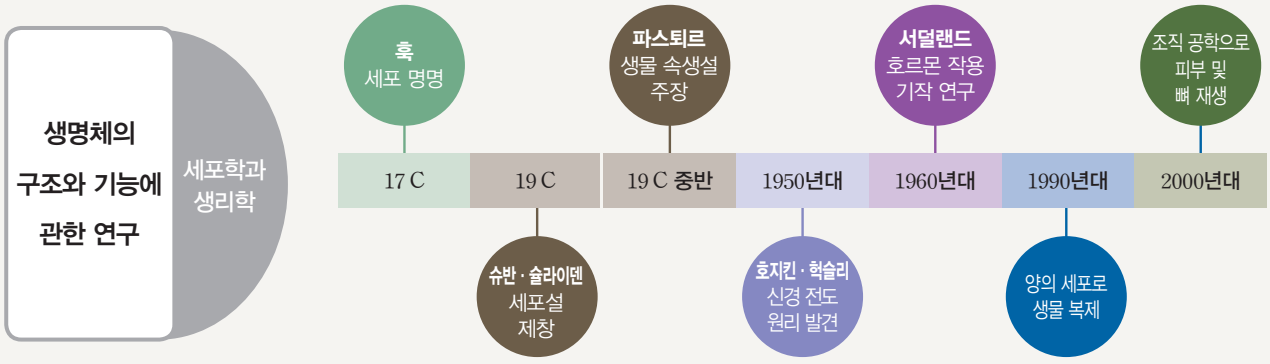
다윈(Darwin, C. R., 1809~1882)
비글호를 타고 항해하면서 관찰한 생물의 특성을 근거로 자연 선택으로 일어나는 진화를 설명하였다.



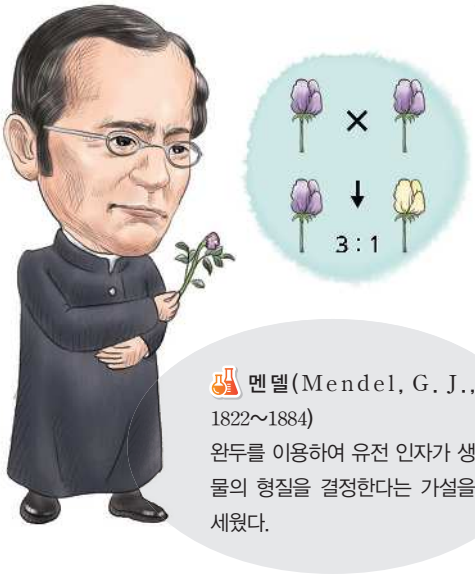
챈들러(Chandler, H. C., 1869~1939)
식물 군집의 구조와 특성이 변하는 천이 과정을 밝혔다.

생태학 | 20세기 초에 생태학은 생물 지리학을 토대로 태동하였다. 챈들러는 천이 개념을 제창하며 식물 생태학에 큰 영향을 끼쳤고, 허친슨(Hutchinson, G. E., 1828~1913)은 호수와 강의 생물 지리적 구조를 밝혔다. 엘튼(Elton, C. S., 1900~1991)은 동물의 먹이 사슬을 연구하였다.

20세기 중반부터 생물과 환경에 관한 다양한 개념들이 하나로 융합되면서 생태학이라는 생명 과학 분야가 출현하였다. 이후 진화적 개념이 추가되고 환경 문제가 접목되었으며, 국제적인 생명 과학 프로그램이 진행되면서 생태학은 빠르게 발전하고 있다.



파스퇴르(Pasteur, L., 1822~1895)
백조목 시험관을 이용하여 생물 속생설을 주장하였다.



멘델(Mendel, G. J., 1822~1884)
완두를 이용하여 유전 인자가 생물의 형질을 결정한다는 가설을 세웠다.

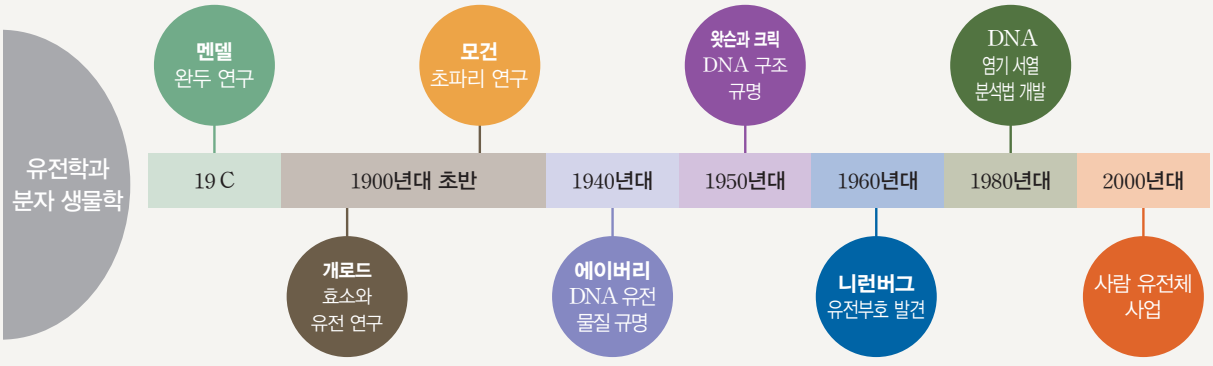
3 생명체의 구조와 기능에 관한 연구 사례

세포학과 생리학 | 19세기에 생명 과학자는 인간을 비롯해 동물과 식물 그리고 미생물에서 일어나는 물리 · 화학적 생명 현상을 밝혀 나가면서 생리학 분야를 발전시켰다.

세포가 분열하는 과정에 관한 연구가 진행되면서 핵과 유전 물질의 특성을 더 많이 알게 되었고, 세포 분열 과정을 연구하면서 밝혀낸 많은 사실은 발생학 발달에 영향을 주었다. 오늘날 진행되고 있는 동물 복제, 줄기세포, 암세포 등에 관한 연구는 세포 내에서 일어나는 물질대사와 세포와 세포 사이의 상호 작용을 이해하는 기초가 되었다.

19세기에 코흐(Koch, H. H. R., 1843~1910)는 세균을 배양하고 연구하는 방법을 고안하여 병의 원인을 규명하는 법을 정립하였으며, 파스퇴르는 생물이 무생물로부터 자연스럽게 생겨난다는 자연 발생설을 타파하고 생물에서 생물이 형성된다는 생물 속생설을 제안하였다. 호지킨(Hodgkin, A. L., 1914~1998)과 헉슬리(Huxley, A. F., 1917~2012)는 1950년대에 오징어 신경 연구로 신경 생리학 발달에 이바지하였으며, 서덜랜드(Sutherland, E. W., 1915~1974)는 1960년대에 호르몬 작용 기작을 밝혀내면서 내분비 생리학 발달에 기여하였다.

유전학과 분자 생물학 | 현대 유전학은 19세기 중반에 멘델의 연구로부터 시작되었다. 멘델의 유전 법칙이 받아들여지면서 멘델이 제안한 유전 인자의 정체에 관한 연구가 진행되었다. 세포학자들은 염색체를 유전 물질로 제안하였고, 20세기 초에 모건(Morgan, T. H., 1866~1945)은 초파리 연구로 염색체에 유전자가 존재함을 밝혔다.



20세기 중반부터 과학자들은 유전 물질의 물리 · 화학적 정체를 밝혀내려고 노력하였다. 형질 전환 실험으로 DNA가 유전 물질임이 밝혀졌고, 왓슨과 크릭은 DNA가 이중 나선 구조로 되어 있다는 사실을 밝혔다. 이러한 유전 물질의 규명은 이후 분자 생물학의 시대를 여는 계기가 되었다.

왓슨(Watson, J. D., 1928~)과 크릭(Crick, F. H. C., 1916~2004)
DNA를 X선 회절 분석한 사진으로 DNA의 이중 나선 구조를 밝혔다.

핵산과 단백질의 서열을 분석하는 방법이 발달하여 유전부호가 밝혀졌고, 현재까지 다양한 생물의 유전체가 분석되었다.

4 생명 과학과 인류의 삶

생명 과학이 일구어 낸 여러 성과와 이를 이용한 생명 과학 기술의 발달은 다른 학문과 사회에도 영향을 주었으며 인류의 삶에도 커다란 영향을 미쳤다.

진화학의 발달은 사회학 분야에 영향을 미쳐 사회 진화론과 사회 생물학의 기초를 제공하였으며, 심리학 분야에도 영향을 미쳐 진화 심리학의 기초를 제공했다. 유전학과 분자 생물학의 발달은 농축산업과 식품학에 영향을 미쳐 더 좋은 작물과 가축을 육종하고 안전한 양질의 식품을 섭취하는 데 필요한 기초 지식을 제공했다. 또한 분자 생물학은 법의학 분야에 활용되어 현장에 남겨진 작은 생체 조직을 이용해 범인을 찾거나 신원을 확인하기 힘든 사람의 신원을 파악하는 데 이바지하였다.

이처럼 생명 과학의 발전은 생명 과학 자체의 발전에만 머무르는 것이 아니라 다양한 분야의 학문과 기술에 영향을 미쳤으며 이러한 여러 학문과 기술의 발달은 인류의 삶을 풍요롭게 만들어 주었다.

자기 평가하기

✸ 성취 정도를 ✓ 표시해 보자

1 생명 과학을 여러 분야로 나누어 설명할 수 있는가?
1 | 2 | 3 | 4 | 5

2 생명 과학이 다른 학문에 영향을 미친 사례를 들 수 있는가?
1 | 2 | 3 | 4 | 5

02 생명 과학의 연구 방법

- 생명 과학의 연구 방법을 예를 들어 설명할 수 있다.
- 생명 과학의 연구 방법이 어떻게 생명 과학 발달에 기여했는지 설명할 수 있다.

새로운 연구 방법의 도입과 활용은 생명 과학의 발전에 큰 역할을 했다. 생명 과학의 여러 분야에 활용되는 다양한 연구 방법은 생명 과학 발전에 어떤 기여를 했을까?

예로부터 인류는 자신을 비롯한 주변 생명체를 눈으로 보고, 손으로 만져 보거나 냄새를 맡는 등 오감을 이용해 관찰했다. 하지만 이러한 관찰 행위만으로 얻을 수 있는 정보의 양과 깊이는 제한적일 수밖에 없었다. 그러므로 단순 관찰을 넘어서는 연구 방법의 개발은 생명 현상을 더 깊이 탐구할 수 있게 해 주었다.

생명체를 관찰하고 처리하며 보존하고 배양하는 등의 연구 방법이 개발되고 활용되면서 생명 과학은 한 차원 높은 연구가 가능해졌다. 이렇게 얻어진 연구 성과는 다시 생명 과학의 연구 방법을 발전시키는 데 기여하였다. 또한 생명 과학뿐만 아니라 물리학, 화학, 수학 등의 성과 역시 생명 과학의 연구 방법 발전에 크게 기여하였다.

연계 학습
현미경
▶ Ⅱ. 세포의 특성 34쪽

1 세포학과 생리학의 연구 방법 사례

생명체는 모두 세포라는 기본 구조로 되어 있으므로 세포를 이해하는 것은 생명체를 이해하는 기본이다. 크기가 매우 작아 눈으로는 직접 보기 어려운 세포를 연구하기 위해서는 확대하여 관찰하는 연구 방법이 필요하다. 현미경과 세포 염색법은 세포를 관찰하고 연구하는 데 중요한 연구 방법이다. 광학 이론과 유리 세공 기술의 발전은 더 정밀한 현미경의 개발을 가능하게 하였다. 또한 20세기 중반에 개발된 전자 현미경으로 가시광선을 이용한 광학 현미경으로는 관찰할 수 없었던 초미세 구조를 관찰할 수 있게 되어, 세포에 관한 연구가 한층 깊어질 수 있었다.

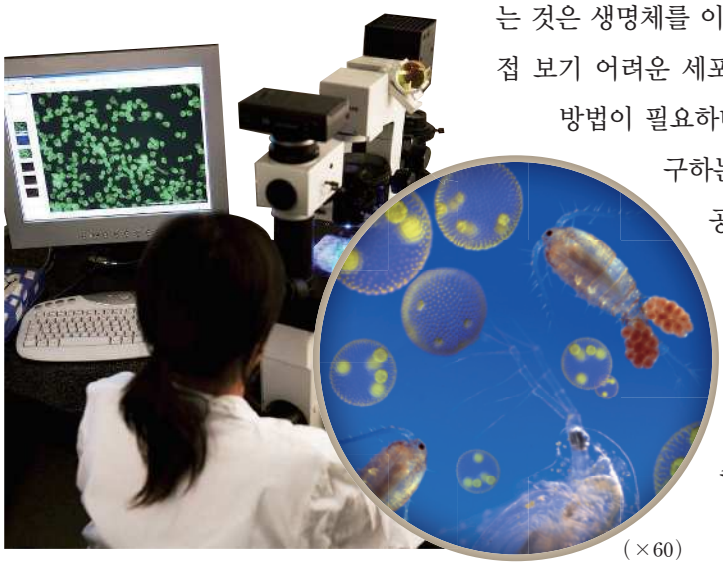


그림 Ⅰ-2 광학 현미경(좌)과 광학 현미경으로 관찰한 물속 플랑크톤(우)

동물에서 발생하는 전기적 현상을 측정하는 기술은 생체 내 신호 전달을 이해하는 데 중요한 연구 방법이다. 호지킨과 헉슬리는 동물의 신경과 전위를 측정할 수 있는 도구를 이용해 막전위의 변화를 관찰하였고, 이를 토대로 신경 전도는 세포 내외의 이온의 양과 이온 통로가 열리고 닫히는 것과 관련이 있음을 밝혔다.

그림 I−3 호지킨(좌)과 헉슬리(우)

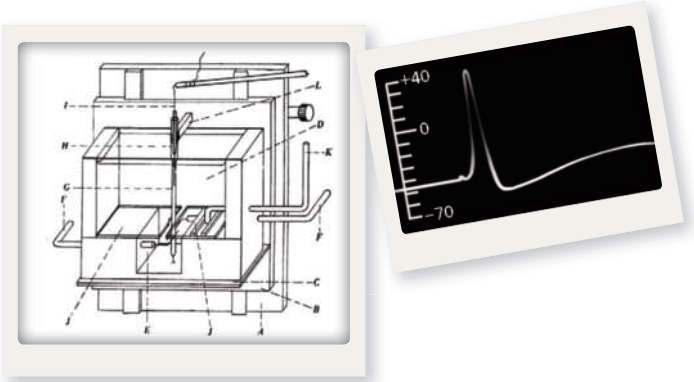


그림 I−4 생체 내 신호 전달을 연구하는 데 이용된 실험 장치(좌)와 결과(우)
출처: Hodgkin 외, 1945.

2 유전학과 분자 생물학의 연구 방법 사례

생명 과학자는 인위적으로 두 생물을 교배시켜 자손의 형질을 관찰하는 교배 실험으로 조상으로부터 자손에게 정보가 어떻게 전달되는지를 이해할 수 있었다. 또한 교배 실험으로 유전자 사이의 거리를 알아내고, 유전자 지도를 작성할 수 있었다.

DNA의 물리 · 화학적 성질이 밝혀지면서 DNA를 생명체 밖에서도 조작할 수 있게 되었다. 중합 효소 연쇄 반응은 짧은 시간에 다량으로 핵산을 얻는 방법이다. 중합 효소 연쇄 반응으로 분자 생물학 연구의 재료인 DNA와 RNA를 다량으로 얻을 수 있고, 특정 유전병을 진단할 수 있다.

또 |그림 I−6|과 같이 DNA 염기 서열 분석법으로 알아낸 유전체의 염기 서열로 생명체가 가지는 수많은 정보를 밝혀낼 가능성이 높아졌다.

연계 학습

중합 효소 연쇄 반응
▶ Ⅵ. 생명 공학 기술과 인간 생활 195쪽

DNA 염기 서열 분석법
▶ Ⅵ. 생명 공학 기술과 인간 생활 215쪽

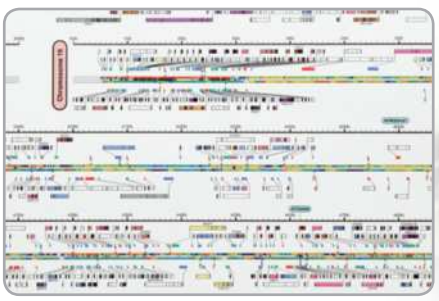


그림 I−5 사람의 16번 염색체 속 유전 정보

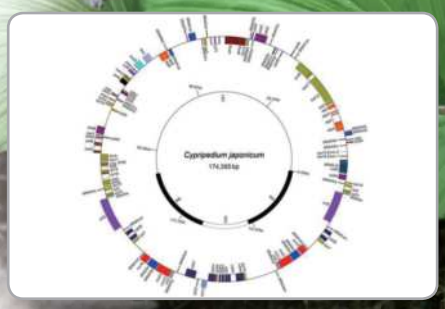


그림 I−6 광릉요강꽃의 유전자 지도

그림 I−7 광릉요강꽃

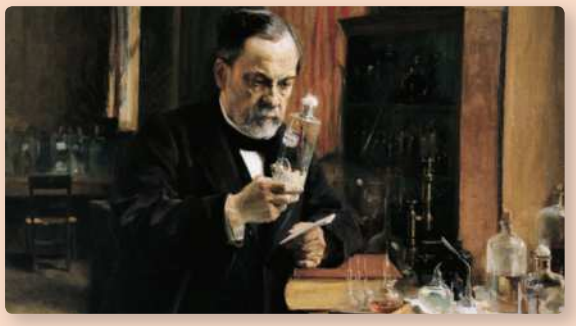
탐구 자료 조사

인류의 복지에 기여한 생명 과학의 발견 사례

• **목표**: 여러 가지 생명 과학의 발견 사례가 인류의 복지에 크게 기여했음을 알 수 있다.

활동

1 다음은 인류의 복지에 기여한 생명 과학의 발견 사례이다. 제시한 사례 중 하나를 선택하여 발견 과정과 그 과정에서 사용한 연구 방법을 알아보자.



파스퇴르의 백신 연구

파스퇴르는 오랜 기간 방치하여 독성이 약화된 콜레라균을 닭에게 주사한 후 독성이 강한 콜레라균을 주사하면 닭이 콜레라균에 저항성을 가진다는 것을 발견하고 약화시킨 병원체를 '백신'이라고 명명하였다.

란트슈타이너의 혈액형 연구

란트슈타이너(Landsteiner, K., 1868~1943)는 다양한 사람의 혈액을 섞은 후 응집 반응을 확인하여 혈액형의 종류를 밝혀냈다. 이러한 혈액형의 발견은 이후 안전한 수혈을 가능하게 하였다.

2 선택한 발견 사례가 인류 복지에 미친 영향을 토의해 보자.

3 인류의 복지에 기여한 생명 과학의 발견 사례는 무엇이 있는지 찾아보자.

4 조사한 결과를 바탕으로 하여 조사한 발견 사례와 연구 방법이 과학, 기술, 사회에 어떤 영향을 미쳤는지 글로 적어 보자.

정리

❶ 인류의 복지에 기여한 생명 과학의 발견 사례에는 어떠한 것이 있는가?

❷ 조사한 발견 사례가 인류의 복지에 어떻게 기여하였는가?

생각 넓히기 생명 과학의 발달이 향후 가져다줄 인류의 복지에는 어떠한 것들이 있을지 생각해 보자.

자기 평가하기

✱ 성취 정도를 ✓ 표시해 보자

1 생명 과학의 연구 방법의 예를 2가지 이상 들 수 있는가? 1 | 2 | 3 | 4 | 5

2 생명 과학의 연구 방법이 생명 과학의 발달에 어떻게 기여하였는지 설명할 수 있는가? 1 | 2 | 3 | 4 | 5

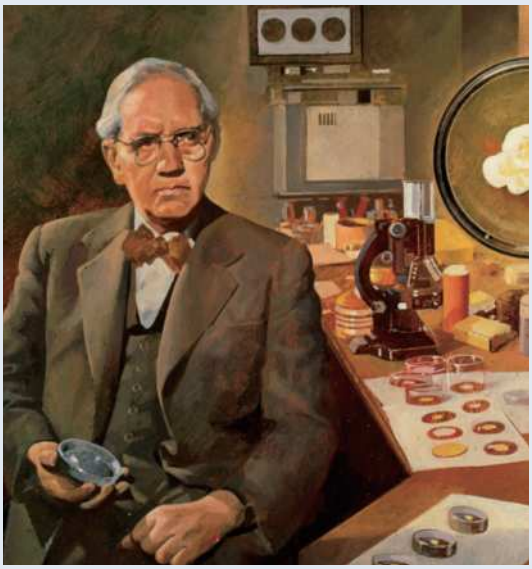
우연은 준비된 자에게 미소 짓는다.

루이 파스퇴르는 생물이 비생물로부터 자연스럽게 생겨난다고 생각한 자연 발생설을 반증하고, 생물 속생설을 증명하였으며 저온 살균법과 다양한 백신을 개발한 생명 과학자이다. 닭 콜레라를 연구하던 파스퇴르는 휴가 내내 방치하여 약화된 콜레라균을 닭에게 주사하였을 때 콜레라를 일으키지 않는다는 것을 발견하고 새롭게 배양한 독성이 강한 콜레라균을 추가로 닭에게 주사하였지만 새롭게 배양한 콜레라균도 닭에서 콜레라를 일으키지 않았다.

이로써 파스퇴르는 약화한 콜레라균을 닭에게 주사하면 콜레라에 저항성이 생긴다는 것을 알았고, 이처럼 약화한 항원을 '백신'이라고 불렀다. '소에서 얻은 물질'이라는 의미를 지닌 '백신'이라는 이름은 종두법으로 천연두를 예방한 제너를 기리기 위해 붙여진 것이다. 파스퇴르는 우연히 휴가 동안 방치한 콜레라균에서 백신을 발견한 것에 대해 '우연은 준비된 자에게 미소 짓는다.'는 유명한 말을 남겼다.

세렌디피티

과학사를 돌아보면 과학자들의 열정과 연구가 우연한 사건으로 비약적 발전을 한 사례를 찾아볼 수 있다. 이처럼 우연으로부터 중대한 발견이나 발명이 이루어지는 것을 세렌디피티라고 한다. 세렌디피티는 영국의 18세기에 문필가 호러스 월폴(Walpole, H., 1717~1797)이 '세렌딥(스리랑카의 옛 이름)의 세 왕자'라는 동화에서 왕자들이 우연한 기회에서 지혜를 얻는 모습을 보고 만들어 낸 단어이다.



▲ 플레밍

생명 과학에서 가장 대표적인 세렌디피티는 플레밍(Fleming, Sir A., 1881~1955)의 페니실린 발견이다. 세균 배지에 곰팡이가 자라는 것은 자주 있는 일이지만 희귀한 푸른곰팡이가 자라는 것은 쉽게 일어나지 않는다. 세균을 연구하던 플레밍의 세균 배지에 푸른곰팡이(페니실륨)의 포자가 떨어진 것은 흔히 일어나지 않는 매우 우연한 사건이었다. 플레밍은 푸른곰팡이가 자란 부위에서 세균이 자라지 못한다는 사실을 발견하였고 페니실린으로 숙주 세포에 영향을 주지 않으면서 세균을 죽일 수 있다는 사실을 알아내어 세균을 죽이기 위해서는 숙주도 죽여야만 한다는 당시 상식을 뒤집었다. 이후 옥스퍼드 대학의 체인과 플로리 연구팀은 임상적으로 사용 가능한 페니실린을 분리 정제하였고, 이 페니실린은 제2차 세계 대전에서 사용되어 수백만 명의 생명을 구할 수 있었다.

생각해 보기 과학사에서 발견되는 우연한 사건을 위대한 발견으로 바꿀 수 있었던 세렌디피티에는 어떠한 것들이 있는지 조사해 보자.

개념 정리하기

핵심 내용 정리하기

1 생명 과학의 탄생과 발달

1. 생명 과학과 인간

(1) ❶ : 생물에서 나타나는 생명 현상을 탐구하여 생명의 본질을 밝히고 다양한 분야에 응용하는 종합 학문

(2) 생명 과학과 인간 : 태초부터 인간은 생물을 이용하는 법과 생물에 대한 호기심을 가지고 생명체를 탐구

2. 고대의 생명 과학

인물	연구
❷	수백여 종의 동물을 관찰 분류 해부
테오프라스토스	『식물의 역사』라는 책에서 식물 분류법을 제시
갈레노스	다양한 생물을 해부하고 의학에 대한 서적 집필

3. 중세의 생명 과학

인물	연구
베살리우스	인체를 해부하면서 『인체의 구조에 관하여』라는 책 집필
하비	혈액은 순환한다는 사실을 실험적으로 증명

4. 근대의 생명 과학

인물	연구
❸	세포라는 용어를 최초로 사용
레이우엔훅	발달한 현미경을 개발하여 다양한 미생물을 관찰하고 기록
린네	수천 종의 동물과 식물을 분류하고 각각의 학명을 부여

2 생물과 환경의 상호 작용 연구 사례

1. 진화학

인물	연구
훔볼트	생명체와 자연환경의 상호 관련성 밝힘
다윈, 월리스	자연 선택으로 진화가 일어남을 주장

2. 생태학

인물	연구
챈들러	생태적 천이 개념을 제창
허친스	호수와 강의 생물 지리적 구조를 밝힘
엘턴	동물의 먹이 사슬에 관해 연구

3 생명체의 구조와 기능에 관한 연구 사례

1. 세포학과 생리학

인물	연구
코흐	병의 원인을 규명하는 법을 정립
❹	백신을 개발하고, 생물 속생설 증명
호지킨과 헉슬리	신경 생리학 발달에 기여
서덜랜드	호르몬의 작용 기작을 밝힘

2. 유전학과 분자 생물학

인물	연구
멘델	완두 연구로 유전 법칙을 발견
모건	초파리 연구로 유전자가 염색체에 존재함을 밝힘
❺	DNA 이중 나선 구조를 밝힘

4 생명 과학과 인류의 삶

- 생명 과학의 발달은 다른 학문과 사회 등 다양한 분야에 영향을 미침

5 생명 과학의 연구 방법

1. 세포학과 생리학의 연구 방법 사례

- 현미경은 세포학 연구의 기본적인 연구 방법임
- 전위를 측정하는 연구 방법은 신경 생리학 분야에서 이용되는 연구 방법

2. 유전학과 분자 생물학의 연구 방법 사례

- 인위적으로 두 생물을 교배하는 교배 실험은 유전학 연구에 사용되는 주요 연구 방법임
- 중합 효소 연쇄 반응과 같은 핵산을 다루는 연구 방법은 분자 생물학의 기본적인 연구 방법임

정답 | ❶ 생명 과학 ❷ 아리스토텔레스 ❸ 훅 ❹ 백스터 ❺ 왓슨과 크릭

개념 확인하기

1 생명 과학자들과 그들의 연구를 옳게 연결하시오.

(1) 다윈 • • ㉠ 『식물의 역사』 책 저술
(2) 테오프라스토스 • • ㉡ 자연 선택설 주장
(3) 린네 • • ㉢ 현미경으로 미생물 관찰
(4) 왓슨과 크릭 • • ㉣ 수천 종의 동식물 분류
(5) 레이우엔훅 • • ㉤ DNA 구조 규명

2 다음은 생명 과학의 여러 분야를 나타낸 것이다.

ㄱ. 진화학 ㄴ. 생리학
ㄷ. 생태학 ㄹ. 유전학

각 학문이 연구하는 내용에 따라 분류하여 표에 쓰시오.

생물과 자연환경의 상호 작용에 관한 연구	생명체의 구조와 기능에 관한 연구

3 다음 글의 ( ) 안에 들어갈 알맞은 말을 쓰시오.

(㉠)의 발달은 사회 진화론과 사회 생물학, 진화 심리학에 기초를 제공하였으며, (㉡)의 발달은 법의학 분야에 영향을 미쳐 생체 조직을 이용해 범인을 잡는 데 기여하였다.

4 생명 과학의 연구에 관련된 설명 중 옳은 것은 ○, 옳지 않은 것은 ×표를 하시오.

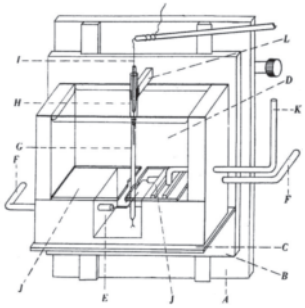
(1) 린네는 동물과 식물을 분류한 고대의 생명 과학자이다. ····· ( )
(2) 모건은 초파리 연구로 염색체에 유전자가 존재함을 밝혔다. ····· ( )
(3) DNA 염기 서열 분석법은 분자 생물학의 주요 연구 방법 중 하나이다. ····· ( )

개념 응용하기

1 그림은 파스퇴르가 양을 이용해 연구하는 모습을 나타낸 것이다.

파스퇴르가 이 연구를 수행한 까닭과 연구를 통해 무엇을 알아냈는지 서술하시오.

2 그림은 호지킨과 헉슬리가 연구에 사용한 실험 장치를 나타낸 것이다.



호지킨과 헉슬리가 동물 신경을 연구하여 무엇을 알아냈는지 서술하시오.

3 인류가 생명체에 관심을 가지면서 생명 과학이 태동할 수 있었던 까닭을 서술하시오.

단원 마무리

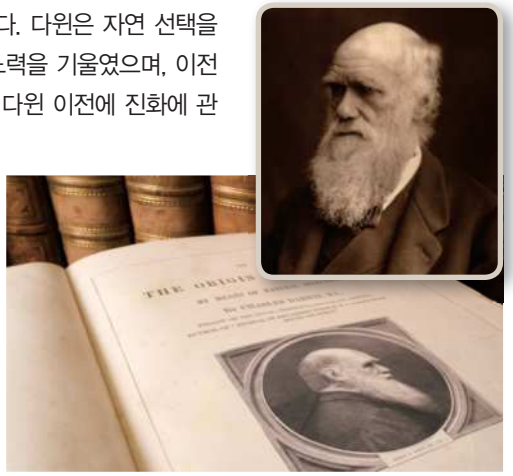
핵심 바로 알기

자연 선택설
다윈은 자연 선택설을 주장하였다.

페니실린의 발견
페니실린은 인간에게는 해를 끼치지 않고 세균만을 죽이는 항생제이다.

사회 생물학
사회 생물학의 창시자인 윌슨(Wilson, E. O., 1929~)은 곤충의 사회적 행동을 설명할 수 있다면, 사람을 포함한 다른 동물의 사회적 행동도 이해할 수 있다고 보았다.

1 그림은 다윈과 그가 저술한 『종의 기원』이다. 다윈은 자연 선택을 통한 진화를 고안하기 위해 스스로 많은 노력을 기울였으며, 이전 진화와 관련된 연구를 참고하기도 하였다. 다윈 이전에 진화에 관한 어떤 연구가 있었는지 서술하시오.



2 다음은 플레밍이 페니실린을 발견한 과정이다.

> 1928년에 플레밍은 포도상 구균 배지에서 독감 바이러스에 관한 연구를 하던 중 우연히 발생한 푸른곰팡이 주위의 포도상 구균이 사라진 것을 발견했다. 이후 푸른곰팡이의 배양물을 800배로 묽게 하여도 포도상 구균의 증식을 방지할 수 있다는 사실을 발견하고 이 물질을 페니실린이라고 명명하였다.

플레밍이 발견한 항생제가 인류 복지에 어떤 기여를 했는지 서술하시오.

3 다음은 사회 생물학에 관한 설명이다.

> 사회 생물학은 사회적 행동의 생물학적 기초에 관해 연구하는 학문이다. 사람을 포함한 동물의 사회적 행동이 자연 선택을 주요인으로 하는 진화 결과 형성된 것이라는 생각에 바탕을 두고 있으며, 사회 생물학에 동물 행동학과 생리학 등 관련 분야의 연구를 더해 확장되고 있다.
>
> 사회 생물학자는 동물의 사회적 행동이 수백만 년에 걸쳐 유전자와 환경 사이에 이루어진 상호 작용의 산물이라는 관점에서 여러 가지 실험을 수행하였으며, 이를 통해 사회성 진화의 근본적인 원리들을 도출하고, 그 지식을 인간의 연구에 적용하였다.

(1) 사회 생물학의 기반이 된 생명 과학의 분야는 무엇인지 쓰시오.

(2) 사회 생물학과 같이 생명 과학이 타 학문에 영향을 미친 사례가 무엇이 있는지 서술하시오.

4 다음은 과학 혁명과 관련한 설명이다.

중세에는 과학이 크게 발전하지 못했다. 이 시대에는 과학적 조사나 실험보다는 권위자들의 저작을 읽고 그들의 말을 진리로 받아들이도록 하는 데 그쳤다. 이러한 중세 과학은 합리성과 경험을 중시하고 종교에 대한 권위에 의문을 품기 시작하면서 전환점을 맞이했다.

16~17세기에 베이컨, 갈릴레오, 데카르트, 코페르니쿠스, 베살리우스 등의 과학자들은 자연 현상에 의문을 품고 실증적 방식으로 이를 규명하는 연구를 천문학, 역학, 의학 등에서 진행하였다.

이처럼 기존의 방식을 혁명적으로 뒤엎고 새로운 방향으로 과학이 변화한 것을 과학 혁명이라고 한다.

(1) 중세 과학이 과학적 조사와 실험을 강조하지 않은 까닭을 설명하시오.

(2) 과학 혁명이 일어날 수 있었던 철학적, 문화적, 역사적 배경은 무엇인지 서술하시오.

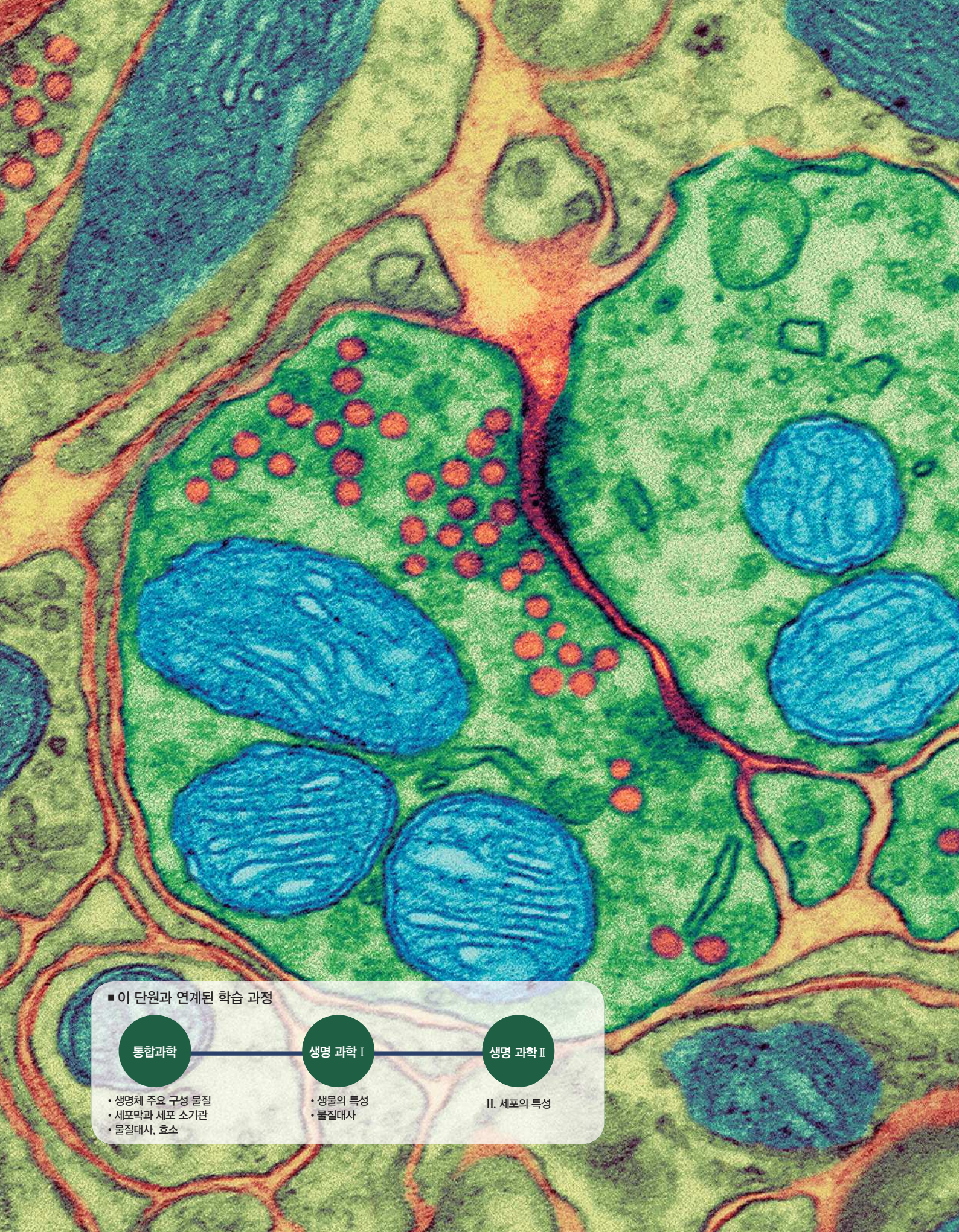
(3) 과학 혁명을 촉발한 코페르니쿠스와 베살리우스의 책과 그 책이 다룬 내용을 찾아 서술하시오.

핵심 바로 알기

르네상스와 과학 혁명
중세 이후 르네상스 시대에 과학 혁명이 일어났다.

✱성취 정도를 ✓표시해 보자

1	고대, 중세, 근대 각각에서 주요한 생명 과학 연구를 한 가지씩 들 수 있다.	1 | 2 | 3 | 4 | 5
2	생명 과학의 발달이 다른 학문에 미친 영향을 설명할 수 있다.	1 | 2 | 3 | 4 | 5
3	생명 과학의 발견이 인류의 복지에 미친 영향을 조사하였다.	1 | 2 | 3 | 4 | 5
4	생명 과학에서 연구 방법의 개발이 필요함을 설명할 수 있다.	1 | 2 | 3 | 4 | 5

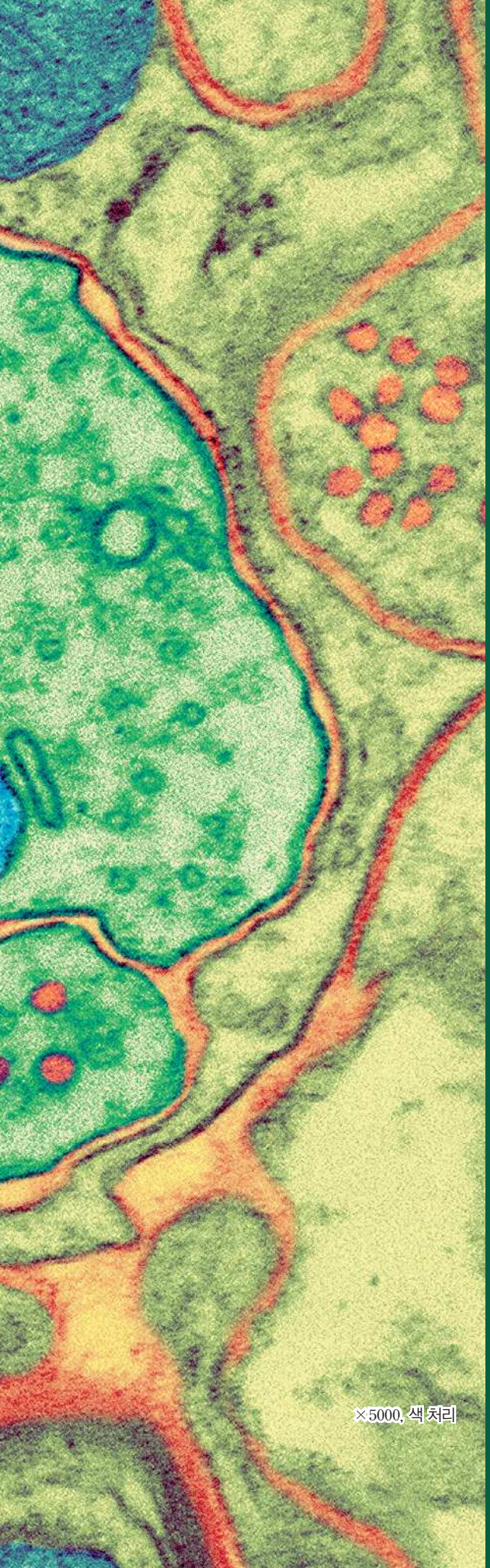


■ 이 단원과 연계된 학습 과정

통합과학
- 생명체 주요 구성 물질
- 세포막과 세포 소기관
- 물질대사, 효소

생명 과학 Ⅰ
- 생물의 특성
- 물질대사

생명 과학 Ⅱ
- Ⅱ. 세포의 특성



×5000, 색 처리

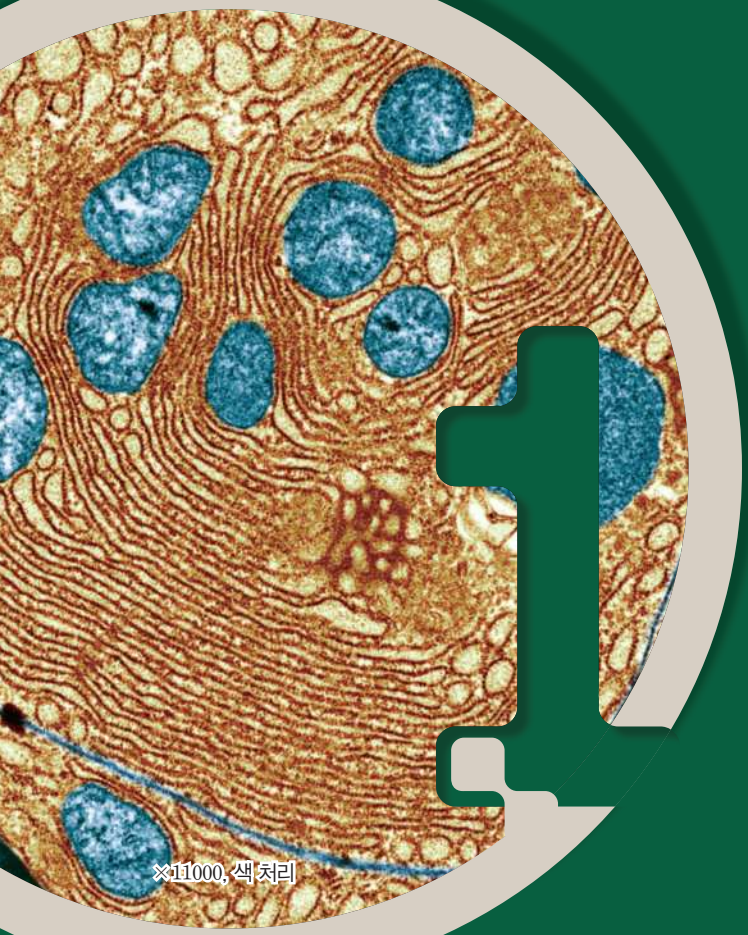
Ⅱ 세포의 특성

세포는 외부로부터 물질과 에너지를 받아들여 생명체 내에서 이용할 수 있는 에너지 형태로 전환하고, 다양한 생명 활동에 이용한다. 생명 활동을 수행하는 가장 작은 단위인 세포를 구성하는 주요 물질과 세포의 특성을 알아보자.

1. 세포의 특성
2. 세포막과 효소

■ 이 단원의 주요 핵심 역량

과학적 사고력	단백질이 합성되어 세포 밖으로 분비되는 과정 이해하기
과학적 탐구 능력	효소의 작용에 영향을 미치는 요인을 실험으로 확인하기
과학적 문제 해결력	동물 세포와 식물 세포에서 삼투에 따라 일어나는 형태 변화 비교하기
과학적 의사소통 능력	리포솜의 다양한 활용 가능성 토론하기
과학적 참여와 평생 학습 능력	실생활에서 효소가 활용되는 사례 조사하여 발표하기



×11000, 색 처리

세포의 특성

01. 생명체의 구성
02. 세포의 구조와 기능

이 단원의 학습 목표

생명체를 구성하는 물질의 종류와 특성을 이해하고, 동물과 식물의 유기적 구성을 비교할 수 있다. 원핵세포와 진핵세포의 차이점을 알고, 다양한 세포 소기관의 기능을 설명할 수 있다.

자기 점검 – 알고 있는 용어에 표시해 보자.

세포 ☐	기관 ☐	세포막 ☐	핵 ☐
지질 ☐	단백질 ☐	핵산 ☐	탄수화물 ☐

▶ 표시하지 못한 용어는 통합과학 교과서 '자연의 구성 물질' 단원에서 확인해 보자.

학습 계획 세우기 – 학습 목표를 달성하기 위해 어떤 준비를 할 수 있을지 써 보자.

예 생명체를 구성하는 물질에는 어떤 것이 있는지 알아본다.

01 생명체의 구성

생명체를 구성하는 물질의 구조와 기능을 설명할 수 있다.
생명체의 유기적 구성을 이해하고, 동물과 식물의 유기적 구성을 비교할 수 있다.

길을 걷다 보면 여러 개의 블록이 모여 보도를 구성하는 것을 볼 수 있다. 여러 세포가 모여 개체를 구성하는 것은 블록이 모여 보도를 구성하는 것과 어떤 점이 다를까?

1 생명체의 구성 물질

생물의 종류는 매우 다양하지만 여러 생물을 구성하는 원소는 거의 비슷하다. 생명체를 구성하는 원소들은 작은 분자나 이온의 형태로 존재하기도 하지만 대부분 서로 결합하여 탄수화물, 단백질, 지질, 핵산 등의 고분자 물질을 이룬다.

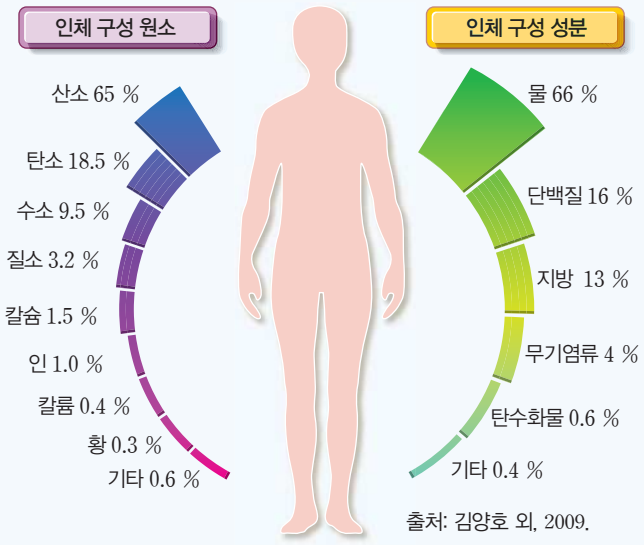
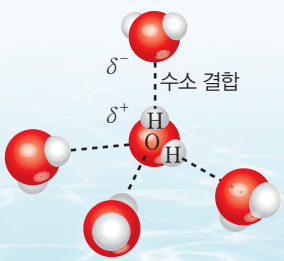


그림 Ⅱ-1 인체의 구성 원소와 구성 성분(체중비 %)

수소 결합
분자 안에 전기 음성도가 강한 F, O, N와 공유 결합을 한 H가 있을 때 작용하는 분자 사이의 인력이다. 물 분자 사이의 수소 결합을 끊는 데 많은 에너지가 소비되므로 물은 비열과 기화열이 크다.

물 | 물은 생명체를 구성하는 물질 중 구성 비율이 가장 높은 성분으로 혈액, 림프액 등 체액의 주성분이며, 극성을 띤다.

물은 각종 영양소를 비롯한 여러 종류의 물질을 녹이는 용매로 작용하며, 체내로 흡수된 양분, 호르몬, 산소, 노폐물 등을 운반한다. 또 체내의 화학 반응과 체온 유지 등에 관여한다. 물은 극성을 띠는 물 분자 사이에 형성되는 수소 결합 때문에 기화열과 비열이 커서 체온을 일정하게 유지하는 데 도움을 준다.



탄수화물 | 탄수화물은 우리 몸에서 에너지를 얻는 데 주로 이용되는 물질로 탄소, 수소, 산소로 이루어지며, |그림 Ⅱ-2|와 같이 단당류, 이당류, 다당류로 구분된다.

단당류는 탄수화물의 구성단위로 포도당, 과당, 갈락토스 등이 있다. 이당류는 단당류 2개가 결합한 것으로 엿당, 설탕, 젖당 등이 있다. 다당류는 생명체의 구성 성분이 되거나 에너지 저장 물질로 이용되며, 주로 수백에서 수천 개의 단당류가 결합한 것이다. 다당류인 셀룰로스는 식물의 세포벽을 구성하고, 녹말은 식물에서, 글리코젠은 동물에서 에너지 저장 물질로 이용된다.

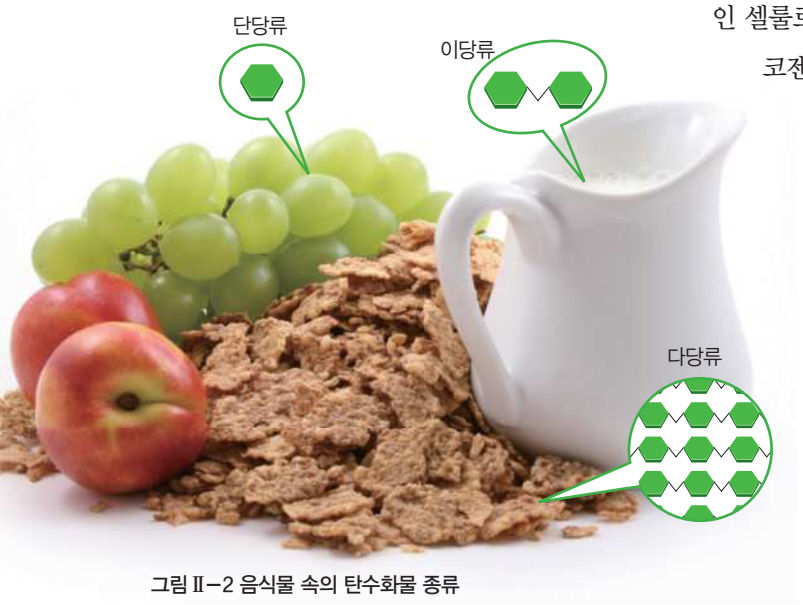


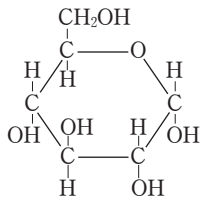
그림 Ⅱ-2 음식물 속의 탄수화물 종류

▲ 식물 세포벽의 셀룰로스(색 처리)

▲ 간에 저장된 글리코젠(색 처리)

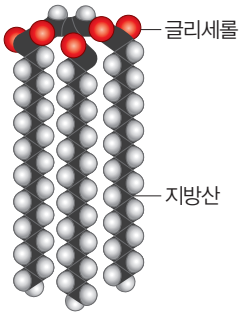
포도당의 구조

포도당은 생물체 내에서 중요한 역할을 하는 단당류로, 분자식은 $C_6H_{12}O_6$이다. 광합성의 주요 최종 산물이며 대다수 생물의 에너지원이다.

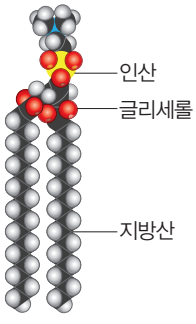


지질 | 지질은 물에는 잘 녹지 않고 알코올이나 에테르와 같은 유기 용매에 잘 녹는 물질로 주로 탄소, 수소, 산소로 이루어지며, 구성 성분이나 화학 구조에 따라 |그림 Ⅱ-3|과 같이 중성 지방, 인지질, 스테로이드 등으로 구분된다.

중성 지방은 글리세롤 1분자와 지방산 3분자가 결합한 화합물로 생명체 내에서 에너지 저장 물질로 이용된다. 또 피부밑의 지방층을 구성하여 체온 유지에 중요한 역할을 한다. 인지질은 글리세롤 1분자에 지방산 2분자와 인산이 결합한 화합물로 세포막이나 핵막과 같은 생체막의 주요 구성 성분이다. 스테로이드는 탄소로 구성된 고리 화합물 4개가 연결된 구조로 콜레스테롤, 성호르몬, 부신 겉질 호르몬 등이 있다.



▲ 중성 지방



▲ 인지질

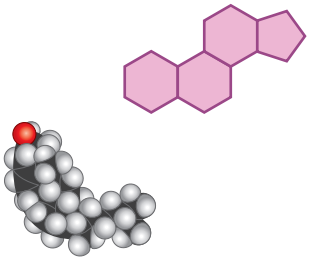

▲ 스테로이드

그림 Ⅱ-3 지질의 종류

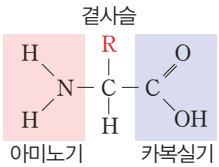
| 단백질 | 단백질은 우리 몸을 구성하는 주성분으로 물 다음으로 많은 양을 차지하고, 탄소, 수소, 산소, 질소로 구성되며, 황을 함유하는 것도 있다. 단백질은 효소, 호르몬, 항체, 근육, 헤모글로빈 등의 성분이며, 생명체 내의 화학 반응과 생리 작용을 조절하고, 방어 작용에 관여한다.

단백질은 20종의 아미노산으로 구성되며, 수많은 아미노산이 |그림 Ⅱ-4|와 같이 펩타이드 결합으로 연결되어 있다. 이처럼 여러 개의 아미노산이 연결된 것을 폴리펩타이드라고 한다.

그림 Ⅱ-4 펩타이드 결합

아미노산 기본 구조

아미노산은 탄소 원자에 아미노기($-NH_2$), 카복실기($-COOH$), 수소 원자, 곁사슬(R)이 결합된 구조이다. 곁사슬의 종류에 따라 20종으로 구분된다.



단백질을 구성하는 아미노산의 종류와 수, 배열 순서에 따라 단백질의 구조가 결정되고, 단백질의 구조에 따라 기능이 결정된다. |그림 Ⅱ-5|와 같이 하나의 폴리펩타이드는 단백질을 구성하는 아미노산 사이의 상호 작용으로 꼬이고 구부러지고 접혀서 특정한 형태의 입체 구조를 나타낸다. 이러한 폴리펩타이드는 대부분 구형이며, 세포에 들어 있는 대부분의 효소가 이에 해당한다. 이와 같은 폴리펩타이드는 둘 또는 그 이상이 모여 특정 기능을 나타내는 하나의 집합체를 구성하기도 한다. 대표적인 예는 척추동물의 적혈구 속에 들어 있어 산소 운반 역할을 하는 헤모글로빈이다. 헤모글로빈은 2개의 α 사슬과 2개의 β 사슬, 총 4개의 폴리펩타이드로 구성된다.

펩타이드

- 다이펩타이드: 2분자의 아미노산이 결합한 것
- 트라이펩타이드: 3분자의 아미노산이 결합한 것
- 폴리펩타이드: 여러 분자의 아미노산이 결합한 것

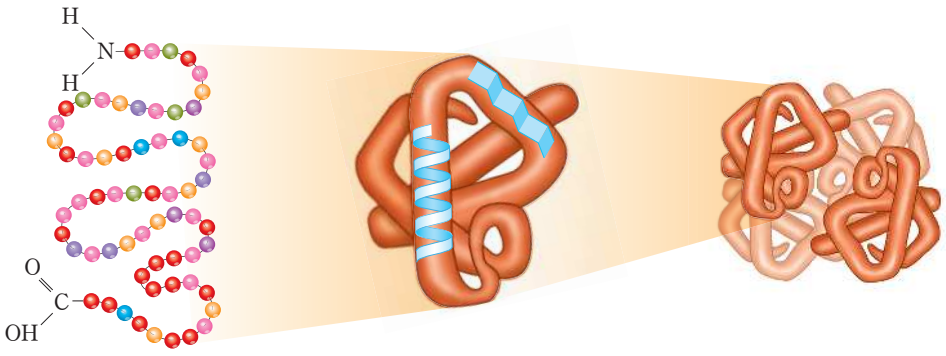


그림 Ⅱ-5 단백질의 구조

창의력 키우기 체중을 줄이거나 멋진 몸을 만들기 위해 운동과 더불어 저열량 식단으로 식이 요법을 할 때 단백질 섭취를 강조한다. 그 까닭은 무엇인지 생각해 보자.

연계 학습
DNA의 구조
▶ Ⅳ. 유전자의 발현과 조절 105쪽

핵산 | 핵산은 생명체 내에서 유전 정보를 저장하거나 전달하는 물질로 탄소, 수소, 산소, 질소, 인으로 구성되며, DNA와 RNA가 있다. |그림 Ⅱ-6|과 같이 DNA는 이중 나선 구조이며 유전 정보를 저장한다. RNA는 단일 가닥이며 유전 정보에 따라 단백질을 합성하는 과정에 관여하고, 일부 바이러스에서는 유전 정보를 RNA에 저장한다.

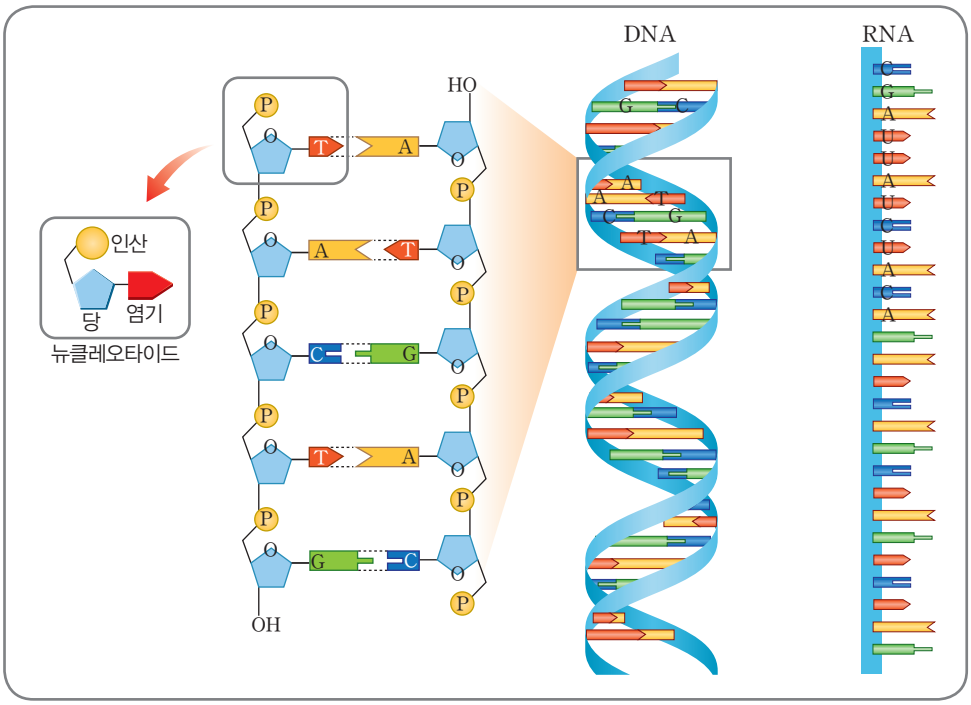


그림 Ⅱ-6 DNA와 RNA 구조

뉴클레오타이드의 당
- DNA(deoxyribonucleic acid): 디옥시리보스
- RNA(ribonucleic acid): 리보스

핵산의 구성단위는 뉴클레오타이드이다. 뉴클레오타이드는 인산, 당, 염기로 구성되며, 뉴클레오타이드의 구성 성분인 당에는 리보스와 디옥시리보스 두 가지가 있다. DNA는 디옥시리보스를 가지는 디옥시리보뉴클레오타이드로 연결된 핵산이고, RNA는 리보스를 가지는 리보뉴클레오타이드로 연결된 핵산이다. 염기는 질소 원자를 가지고 있는 유기 화합물로, DNA를 구성하는 염기는 아데닌(A), 타이민(T), 구아닌(G), 사이토신(C)이고, RNA를 구성하는 염기는 타이민 대신 유라실(U)이 있다.

구분	DNA	RNA
당	디옥시리보스	리보스
염기	A, G, C, T	A, G, C, U
구조	이중 나선	단일 가닥
기능	유전 정보 저장	단백질 합성에 관여

표 Ⅱ-1 DNA와 RNA 비교

2 생명체의 유기적 구성

세균과 같은 단세포 생물은 하나의 세포가 생존에 필요한 모든 생명 활동을 수행한다. 그러나 동물이나 식물과 같은 다세포 생물은 서로 다른 기능을 하는 수많은 세포가 모여 하나의 개체를 이루고 생명 활동을 수행한다. 다세포 생물에서 세포는 서로 유기적으로 조직되어 정교한 체제를 이룬다. 개체는 여러 종류의 기관이 모여 이루어지며, 각 기관은 서로 연관된 여러 조직이 모여 특정 기능을 수행한다. 조직은 고유한 기능을 지닌 분화된 세포 중 형태나 기능이 연관된 세포가 모여 구성된다.

동물의 구성 | 동물에서 하나의 개체는 기능적으로 공통성을 가지는 몇 개의 기관으로 구성된 여러 기관계로 이루어진다. 동물의 기관계에는 소화계, 순환계, 호흡계, 배설계, 신경계, 면역계, 생식계, 내분비계 등이 있다.

기관계를 구성하는 각 기관은 여러 조직으로 이루어진다. 동물의 조직에는 상피 조직, 결합 조직, 근육 조직, 신경 조직이 있다.

상피 조직은 몸 바깥을 덮고, 몸 안의 기관과 내강을 둘러싸고 있으며, 일부는 분비샘을 형성한다. 결합 조직은 다른 조직을 결합시키거나 지지하는 조직으로 힘줄, 뼈, 인대, 혈액, 지방 조직 등이 있다. 근육 조직은 몸의 움직임을 만들어내는 조직으로 골격근, 심장근, 내장근이 있다. 신경 조직은 자극을 수용하여 전달한다.

? 섭취한 음식물을 작게 분해하여 흡수하는 역할을 하는 소화계는 어떤 기관들로 이루어지는가?

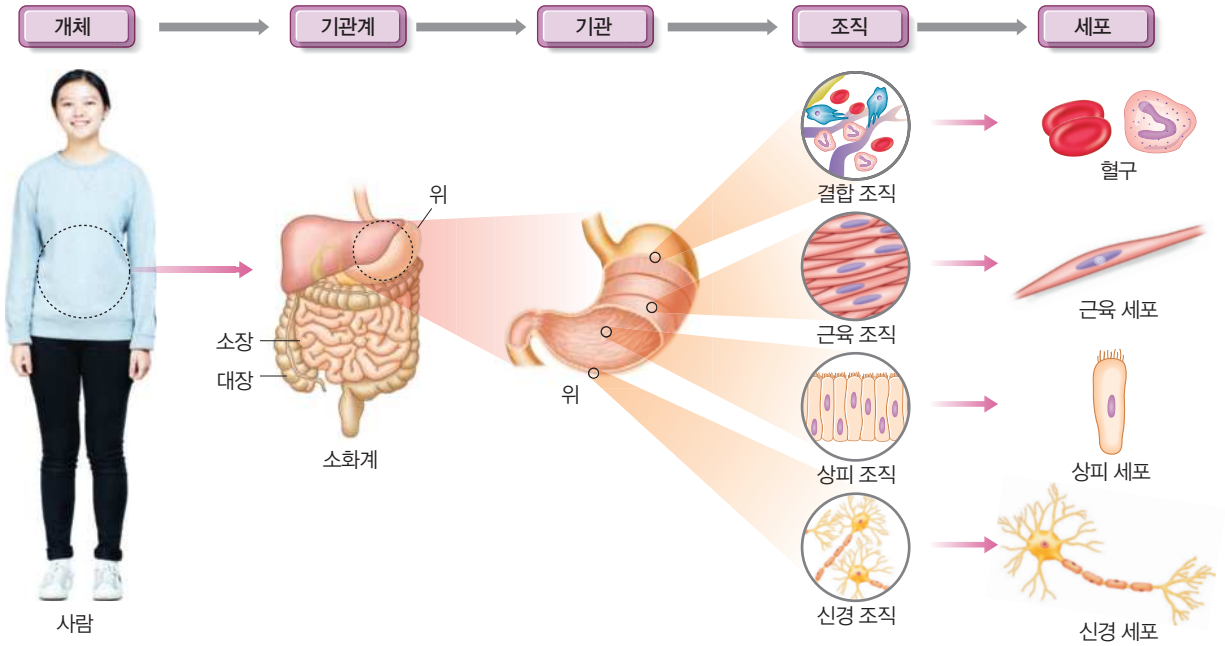


그림 Ⅱ-7 동물의 구성 단계

식물의 조직계
조직계는 몇 가지 조직이 모여 통합적 기능을 수행하는 단계로 식물에만 있다.
- 표피 조직계: 수분 출입 조절 및 보호 기능을 하며 표피, 공변세포, 큐티클층, 뿌리털 등으로 구성된다.
- 관다발 조직계: 물질 이동 통로 및 지지 기능을 하며 물관, 체관, 형성층 등으로 구성된다.
- 기본 조직계: 양분의 합성과 저장 기능을 하며 울타리 조직, 해면 조직 등으로 구성된다.

식물의 구성 | 식물에서 하나의 개체는 서로 다른 기능을 하는 여러 기관으로 이루어진다. 식물의 기관에는 뿌리, 줄기, 잎과 같은 영양 기관과 꽃, 열매와 같은 생식 기관이 있다.

식물의 각 기관은 여러 조직이 모여 통합적으로 기능을 수행하는 조직계로 이루어지며, 식물의 조직계는 기능에 따라 표피 조직계, 관다발 조직계, 기본 조직계로 구분된다. 조직계를 구성하는 조직은 기능이 같거나 모양이 비슷한 세포가 모여 이루어지며, 분열 조직과 영구 조직으로 구분된다.

분열 조직은 세포 분열이 왕성하게 일어나는 생장점과 형성층이 있다. 분열 조직으로부터 분화되어 분열 능력이 없는 영구 조직은 표피 조직, 울타리 조직, 해면 조직, 물관 조직, 체관 조직 등이 있다.

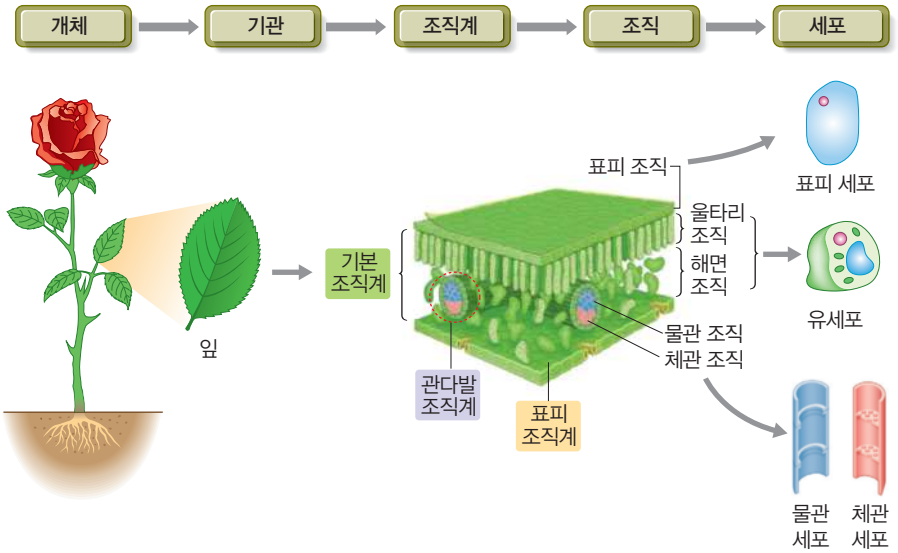


그림 Ⅱ-8 식물의 구성 단계

식물과 동물의 구성 단계 비교

자기 평가하기

1 생명체를 구성하는 물질의 예를 들고, 그 특징을 설명할 수 있는가?
2 동물과 식물의 구성 단계를 비교하여 공통점과 차이점을 설명할 수 있는가?

✱ 성취 정도를 ✓ 표시해 보자
1 2 3 4 5
1 2 3 4 5

02 세포의 구조와 기능

- 세포를 연구하는 다양한 방법을 설명할 수 있다.
- 원핵세포와 진핵세포의 차이점을 이해하고, 세포 소기관의 기능을 설명할 수 있다.

×600

대부분의 세포는 크기가 매우 작아 육안으로는 볼 수 없고 현미경으로 관찰해야 한다. 세포는 어떻게 발견되었을까? 또 세포 소기관의 미세 구조를 관찰하고 기능을 연구하려면 어떤 방법을 이용해야 할까?

1 세포의 연구

지구상의 생물은 모두 세포로 이루어져 있다. 달걀이나 개구리 알과 같이 육안으로도 볼 수 있는 큰 세포를 제외하고, 대부분의 세포는 크기가 매우 작아 현미경을 사용해야 관찰할 수 있다. 현미경은 1590년경에 네덜란드의 얀선 부자가 최초로 고안했다고 알려진다.

훅은 1665년에 자신이 만든 현미경으로 참나무의 껍질을 관찰하여 벌집 모양의 구조를 발견하고 이를 세포라고 명명하였다. 그러나 훅이 관찰한 것은 살아 있는 세포가 아니라 죽은 세포의 세포벽이었다.

슐라이덴은 '모든 식물은 세포로 이루어져 있다.'라고 주장하고, 슈반은 '모든 동물은 세포로 이루어져 있다.'라고 주장하여 1839년에 '모든 생물이 세포로 이루어져 있다.'는 세포설이 제기되었다. 1855년에 피르호(Virchow, R., 1821~1902)는 '모든 세포는 세포로부터 생성된다.'라고 주장하였고, 이후 여러 연구의 결론을 모아 세포설이 확립되었다.

세포설

- 모든 생물은 세포로 구성되어 있다.
- 세포는 생물의 구조적, 기능적 단위이다.
- 모든 세포는 세포로부터 생성된다.

2 세포의 연구 방법

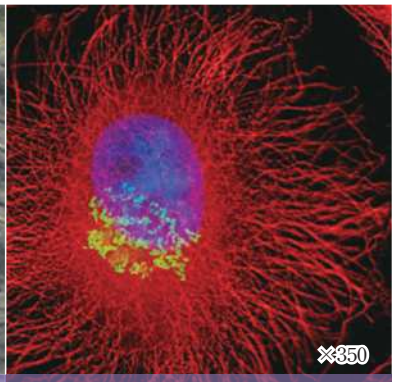
해상력
가까이 있는 두 점을 구별할 수 있는 최소한의 거리를 해상력이라고 한다.

현미경 | 광학 현미경에서는 가시광선이 렌즈를 통과하면서 굴절되어 상이 확대된다. 사람 눈은 해상력이 200 μm인데 비해 광학 현미경은 해상력이 0.2 μm로, 광학 현미경을 이용하면 세포의 모양, 크기, 세포 소기관을 관찰할 수 있다. 또 특정 세포 성분을 염색하면 더 정확한 관찰이 가능하다. 광학 현미경에는 일반적인 광학 현미경 외에 시료 자체의 다양한 밀도 차이를 이용하여 염색하지 않고 살아 있는 세포를 관찰하는 데 유용한 위상차 현미경과 형광 물질을 이용하여 세포 내 특정 물질의 위치를 확인하는 데 유용한 형광 현미경 등 다양한 종류가 있다.

전자 현미경은 가시광선보다 파장이 짧은 전자선을 이용하므로 광학 현미경보다 해상력이 높아 광학 현미경으로 관찰하기 어려운 세포의 미세 구조 연구에 유용하다. 전자 현미경에는 투과 전자 현미경(TEM)과 주사 전자 현미경(SEM)이 있다. 얇게 자른 시료에 전자선을 투과시켜 단면의 영상을 형성하는 투과 전자 현미경은 세포 내부의 미세 구조 관찰에 유용하다. 금속으로 코팅한 시료 표면에 전자선을 쏘아 반사시켜 입체 영상을 형성하는 주사 전자 현미경은 세포의 외부 형태와 표면 연구에 유용하다.

그림 Ⅱ-9 주사 전자 현미경(SEM)

▲ 위상차 현미경으로 관찰한 잎의 기공



▲ 형광 현미경으로 관찰한 세포

▲ 주사 전자 현미경으로 관찰한 염색체

▲ 투과 전자 현미경으로 관찰한 HIV

그림 Ⅱ-10 여러 가지 현미경으로 관찰한 상

세포 분획법 | 세포 분획법은 균질기로 파쇄한 세포나 조직을 단계적으로 원심 분리하여 크기와 밀도에 따라 세포 소기관을 분리하는 방법이다. |그림 Ⅱ-11|과 같이 세포 분획을 하면 비교적 크고 무거운 핵이 가장 먼저 분리되고, 세포벽을 제거한 식물 세포는 엽록체, 미토콘드리아, 소포체, 리보솜 등의 순서로 분리된다. 세포 분획법을 이용하여 세포 소기관을 종류별로 분리하면 각각의 기능을 연구할 수 있다.

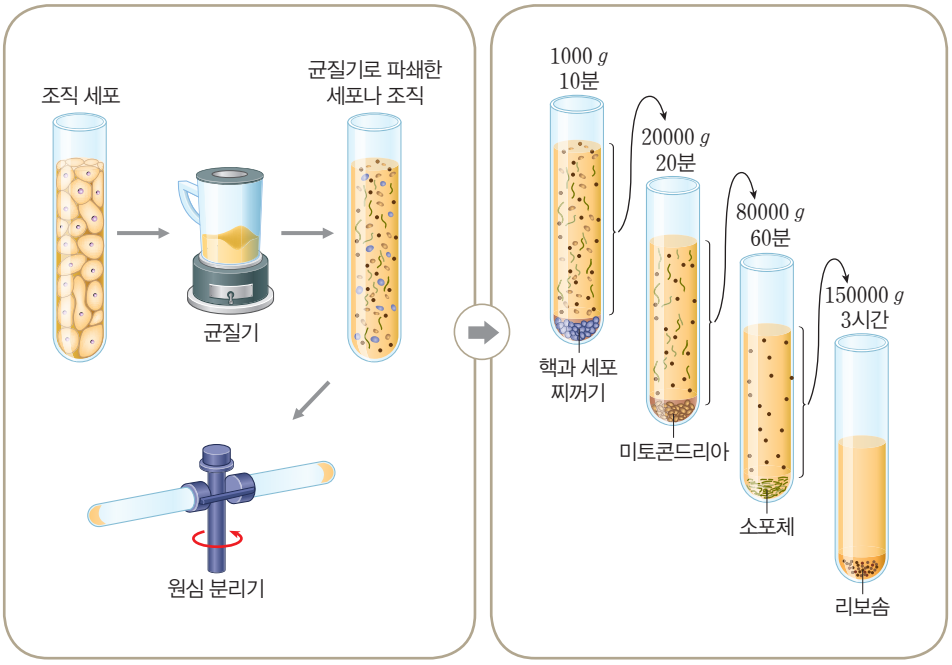


그림 Ⅱ-11 세포 분획법

원심 분리기의 속도
원심 분리기의 속도는 중력 가속도(g)의 배율로 나타낸다. 즉, 1000 g는 중력 가속도의 1000배에 해당하는 힘이다.

자기 방사법 | 자기 방사법은 방사성 동위 원소가 포함된 화합물을 세포에 넣고 시간 경과에 따라 동위 원소에서 방출되는 방사선을 추적하여 세포 안에서 물질의 이동 경로나 변화를 알아내는 방법으로, ^{3}H, ^{14}C, ^{32}P, ^{35}S 등의 방사성 동위 원소가 주로 사용된다. 예를 들어 ^{14}C로 표지된 이산화 탄소를 식물 세포에 주입하고 추적하면, 세포 내 광합성 과정과 생성물을 연구할 수 있다.

동위 원소
원자 번호는 같으나 질량이 다른 원소

방사성 동위 원소
동위 원소 중 방사선을 방출하는 원소

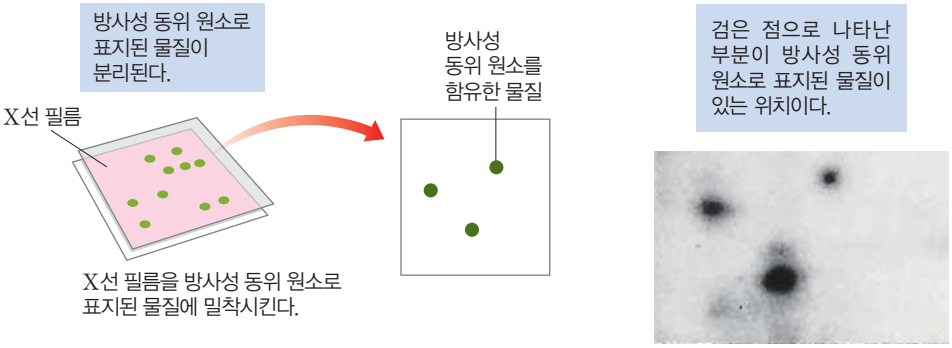


그림 Ⅱ-12 자기 방사법

▲ X선 필름에 현상하여 얻은 결과

출처: Pavón and Esteban, 1999.

3 원핵세포와 진핵세포

세포는 기본적으로 세포막으로 둘러싸여 있고, 유전 물질인 DNA와 단백질을 합성하는 리보솜이 있다. 세포는 막으로 둘러싸인 핵과 세포 소기관의 유무에 따라 원핵세포와 진핵세포로 구분할 수 있다.

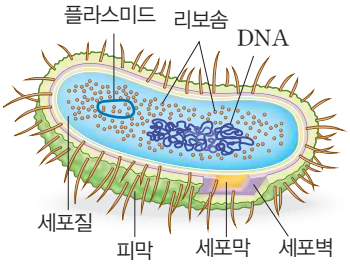


그림 Ⅱ-13 원핵세포

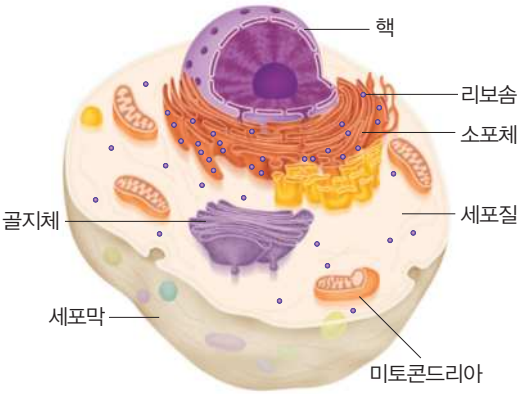


그림 Ⅱ-14 진핵세포(동물 세포)

연계 학습
세균, 고세균
▶ Ⅴ. 생물의 진화와 다양성
156쪽~157쪽

세균에는 |그림 Ⅱ-13|과 같이 동물 세포나 식물 세포와 달리 막으로 둘러싸인 핵이 없다. 이처럼 핵막이 없어 유전 물질이 세포질에 존재하는 세포를 원핵세포라고 한다. 원핵세포는 미토콘드리아, 골지체, 소포체, 엽록체 등 막으로 둘러싸인 세포 소기관이 없으며, 진핵세포보다 유전 물질의 양이 적고 원형의 DNA를 갖는다. 원핵세포의 리보솜은 진핵세포와 비교하여 크기가 작고, 구성하는 단백질과 RNA의 종류가 다르다. 또한 원핵세포는 주로 펩티도글리칸으로 구성된 세포벽을 가지고 있어 세포의 변형과 파괴를 방지하고, 세포의 모양을 유지한다.

진핵세포는 |그림 Ⅱ-14|와 같이 막으로 둘러싸인 핵과 여러 세포 소기관이 있다. 핵 안에 존재하는 선형의 DNA는 히스톤 단백질을 감아 뉴클레오솜을 이루며 염색체를 구성한다. 진핵세포로 구성된 식물의 세포벽은 셀룰로스가 주성분이며, 버섯이나 곰팡이의 세포벽은 키틴이 주성분이다.

4 세포의 구조와 기능

진핵세포의 내부 구조는 핵과 세포질로 구분되며, 세포질에는 생명 활동을 수행하는 다양한 세포 소기관이 있다. 막으로 둘러싸인 핵, 미토콘드리아, 소포체, 골지체, 리소좀과 막으로 둘러싸여 있지 않은 리보솜은 식물 세포와 동물 세포에 공통으로 존재하고, 엽록체, 액포, 세포벽은 식물 세포에만 존재한다. 여러 세포 소기관은 고유한 기능을 수행하면서 서로 유기적으로 작용하여 다양한 세포 내 생명 활동을 수행한다.

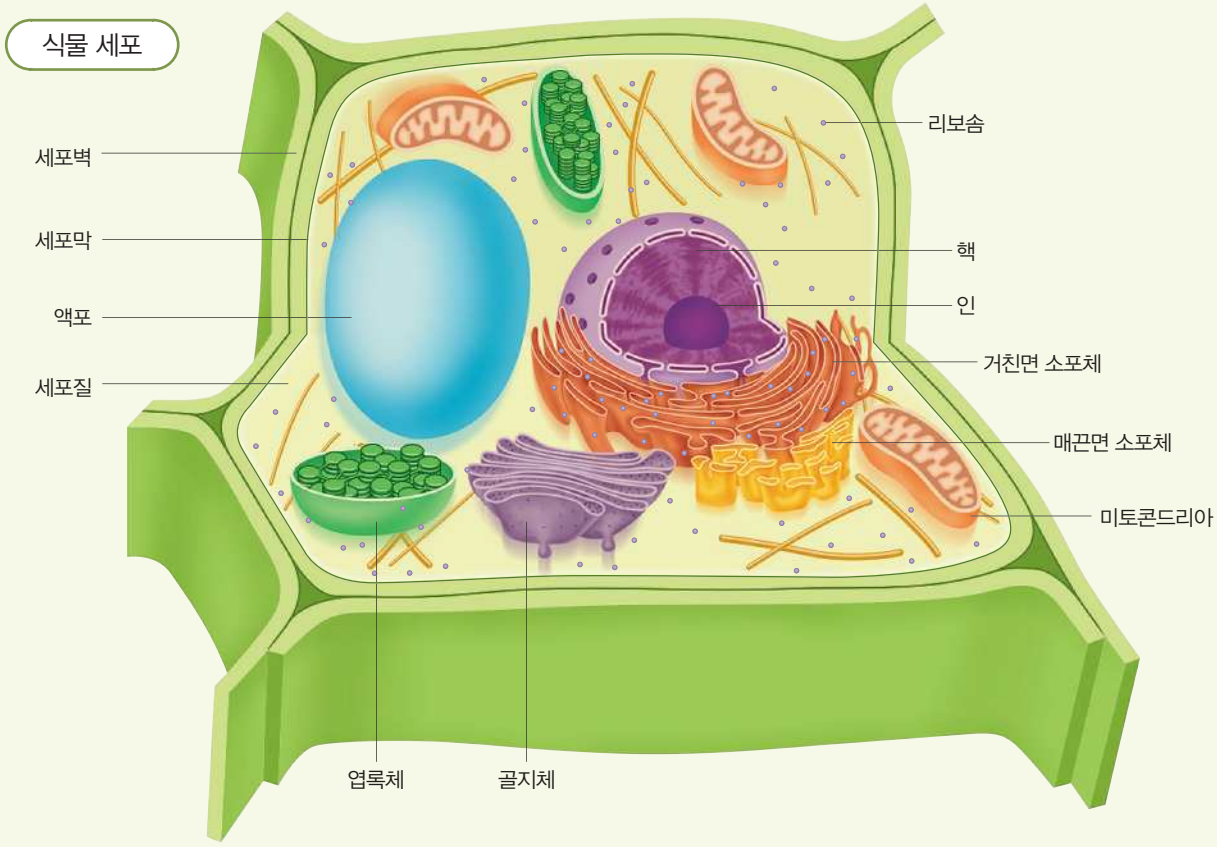


그림 Ⅱ-15 식물 세포의 구조

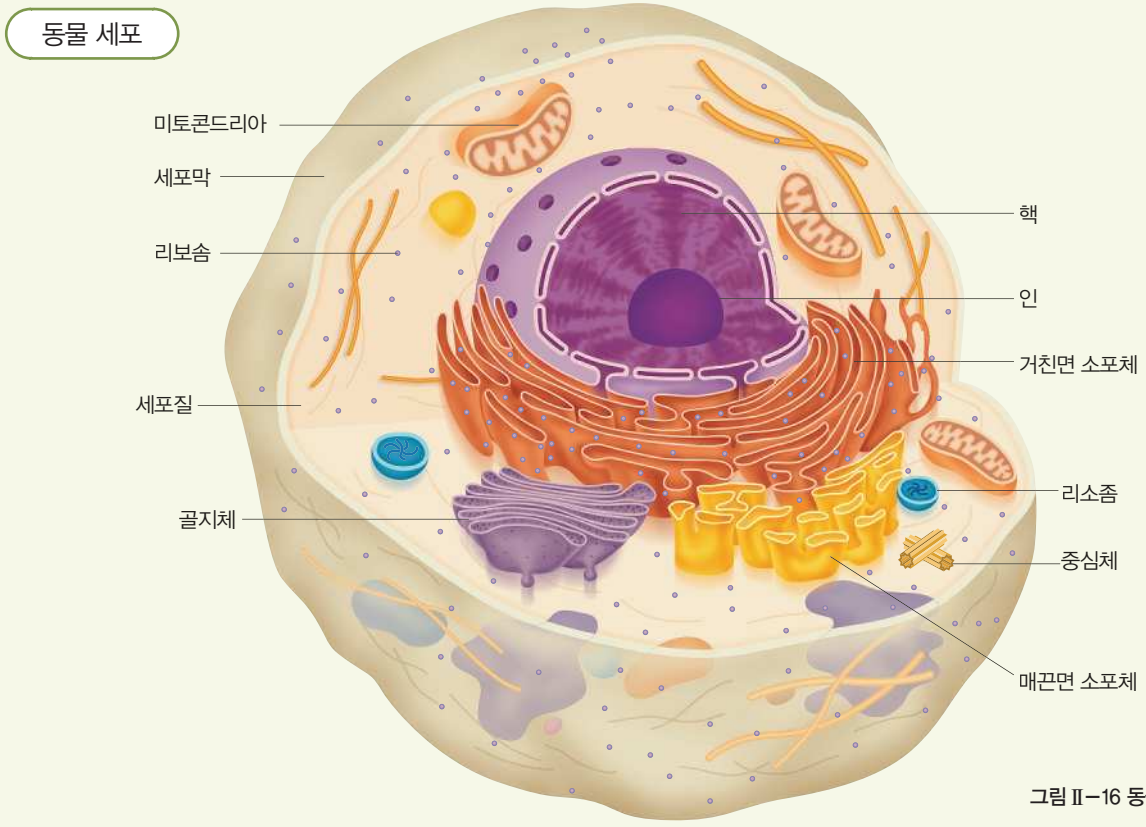


그림 Ⅱ-16 동물 세포의 구조

| 생명 활동의 중심–핵 | 핵은 세포의 생명 활동을 조절하는 중심으로 유전 물질인 DNA가 있으며, 형질의 발현과 유전 현상에 관여한다. 핵은 |그림 Ⅱ–17|과 같이 내막과 외막의 2중막으로 이루어진 핵막으로 둘러싸여 세포질과 구분되며, 핵공은 핵과 세포질 사이의 물질 출입을 조절한다. 핵 속에는 염색체와 인이 있는데, 염색체는 DNA와 히스톤 단백질로 이루어져 있고 인은 리보솜을 구성하는 RNA(rRNA)를 합성한다.

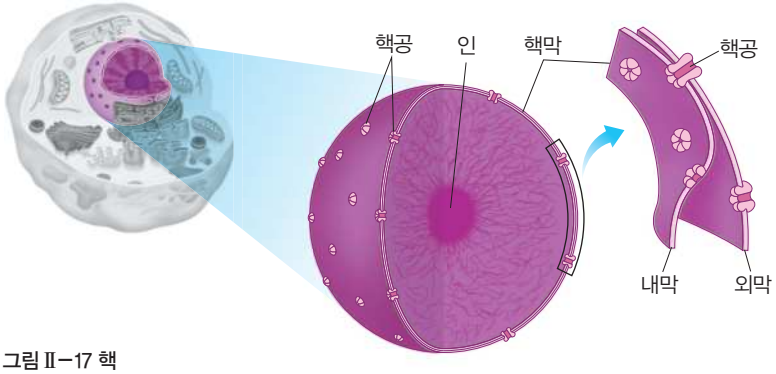
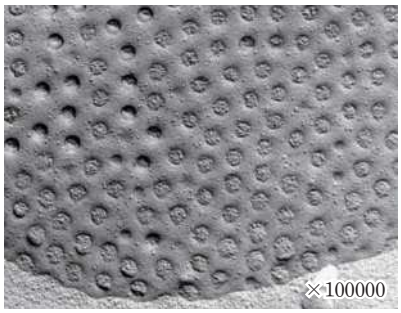
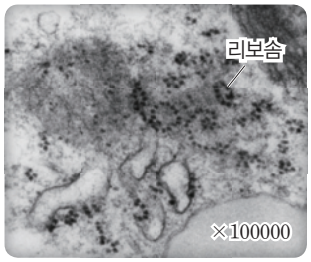


그림 Ⅱ–17 핵

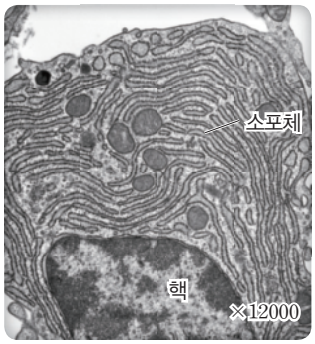


▲ 핵막의 SEM 사진

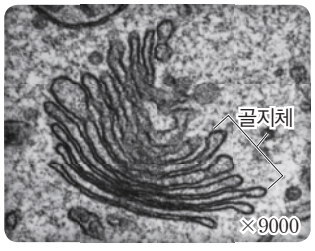


| 물질의 합성과 수송 |

≫ 리보솜 리보솜은 막으로 둘러싸여 있지 않은 알갱이 모양의 작은 세포 소기관이다. RNA와 단백질로 이루어지며, 크기가 다른 2개의 단위체로 구성된다. 리보솜은 DNA의 유전 정보에 따라 세포질에서 여러 가지 단백질을 합성하는 역할을 하며, 소포체에 붙어 있거나 세포질에 자유롭게 떠다닌다.



≫ 소포체 소포체는 납작한 주머니가 복잡하게 연결된 막으로 이루어진 구조물로, 핵막과 연결되어 있다. 소포체는 표면에 리보솜이 붙어 있는 거친면 소포체와 리보솜이 붙어 있지 않은 매끈면 소포체로 구분된다. 매끈면 소포체는 인지질과 스테로이드 같은 지질을 합성하고, 독성 물질을 해독하며, Ca^{2+}을 저장한다. 거친면 소포체는 리보솜에서 합성되어 들어온 단백질의 변형과 운반에 관여한다. 소포체에 붙어 있는 리보솜에서 합성된 단백질은 소포체 내부로 들어가 골지체를 거쳐 세포 밖으로 분비되거나 막에 삽입되기도 하고, 리소좀과 같은 다른 세포 소기관으로 운반되기도 한다.



≫ 골지체 골지체는 단일막으로 된 납작한 주머니인 시스터나가 여러 겹으로 겹쳐 있는 구조로, 소포체로부터 수송된 단백질을 변형하여 세포 밖으로 분비하거나 세포의 다른 곳으로 운반하는 역할을 한다. 분비 기능이 활발하게 일어나는 소화샘이나 내분비샘 세포에는 골지체가 잘 발달되어 있다.

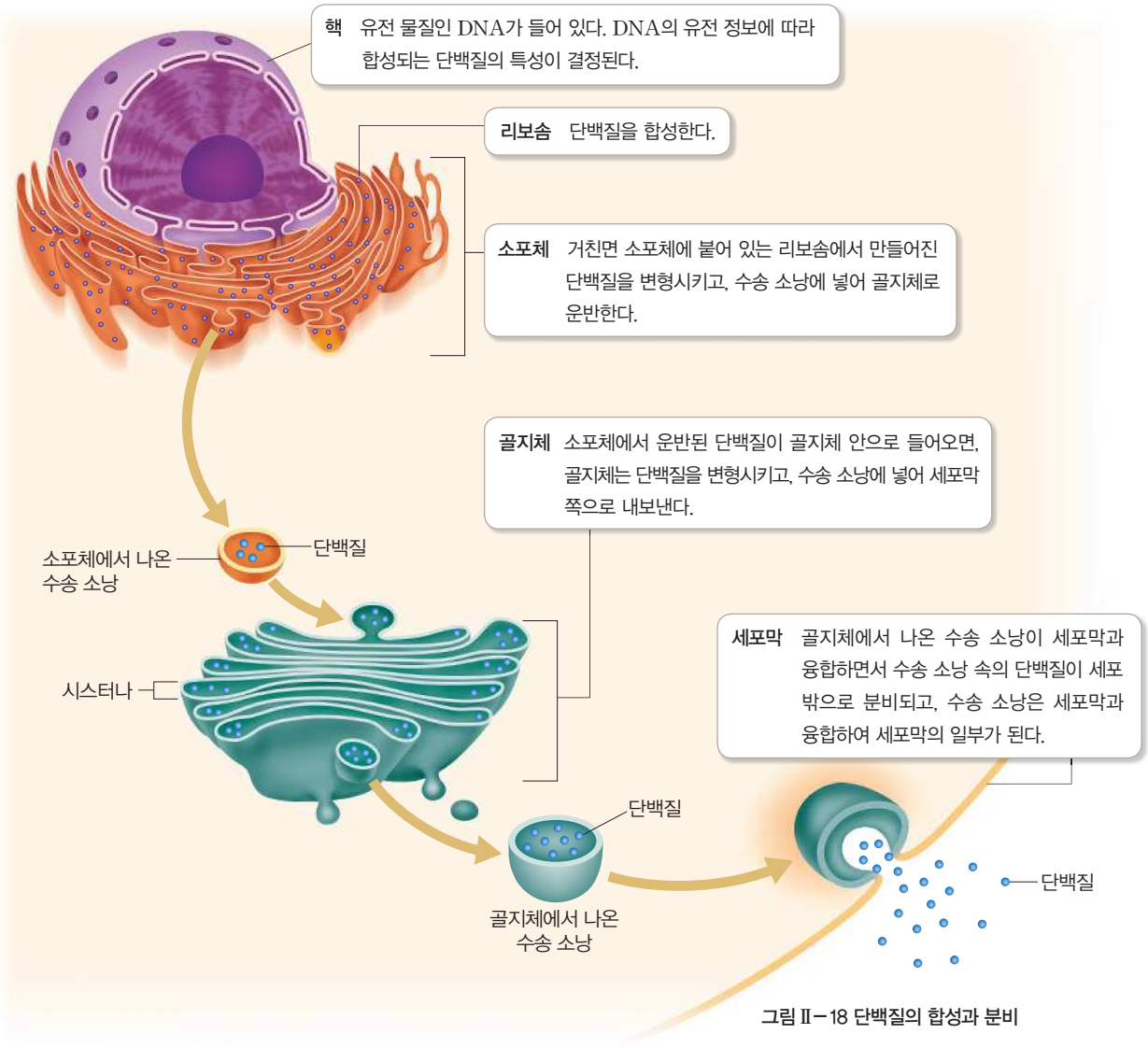


그림 Ⅱ－18 단백질의 합성과 분비

핵심 역량 기르기

단백질의 합성과 분비

단백질은 핵에 있는 DNA의 유전 정보에 따라 리보솜에서 합성된다. 리보솜에서 합성된 단백질은 거친면 소포체 안으로 들어가 변형된 후 수송 소낭에 담겨 골지체로 운반되고, 골지체 안으로 들어온 단백질은 골지체를 통과하면서 단계적으로 변형된 후 수송 소낭으로 들어간다. 이후 수송 소낭이 세포막과 융합되면서 세포 밖으로 분비되거나 리소좀 등 세포 내 다른 부위로 운반된다.

핵	→	리보솜	→	거친면 소포체	수송 소낭	골지체	수송 소낭	분비 또는 운반
DNA의 유전 정보		단백질 합성		단백질 변형, 운반		단백질 변형, 운반		

Q 세포질에 떠다니는 리보솜과 거친면 소포체에 붙어 있는 리보솜에서 합성한 단백질의 차이는 무엇인지 생각해 보자.

연계 학습
세포 호흡 장소
▶ Ⅲ. 세포 호흡과 광합성 68쪽
광합성 장소
▶ Ⅲ. 세포 호흡과 광합성 69쪽

| 에너지 전환 |

≫ 미토콘드리아 미토콘드리아는 |그림 Ⅱ-19|와 같이 내막과 외막의 2중막으로 둘러싸인 세포 소기관으로, 영양소를 분해하여 에너지를 얻는 세포 호흡이 일어난다. 미토콘드리아의 내막은 크리스타라고 하는 안쪽으로 주름진 구조를 형성하고, 내막 안쪽의 기질에는 고유의 DNA와 리보솜이 있어 독립적인 복제와 증식을 할 수 있다. 미토콘드리아는 에너지 소비가 큰 세포에 많이 존재한다.

≫ 엽록체 식물과 조류에서 발견되는 엽록체는 |그림 Ⅱ-20|과 같이 내막과 외막의 2중막으로 둘러싸인 세포 소기관으로, 빛에너지를 흡수하여 화학 에너지로 전환하는 광합성이 일어난다. 엽록체의 내막 안쪽에는 틸라코이드라는 둥글고 납작한 원반 모양의 구조물이 쌓여 그라나라는 층 구조를 이루며, 틸라코이드 막에는 빛을 흡수하는 광합성 색소와 ATP를 생산하는 막단백질이 존재한다. 그라나를 제외하고 기질로 채워진 공간은 스트로마라고 하며, 포도당 합성에 관여하는 다양한 효소가 들어 있다. 엽록체도 스트로마에 고유의 DNA와 리보솜이 있어 미토콘드리아처럼 독립적인 복제와 증식을 할 수 있다.

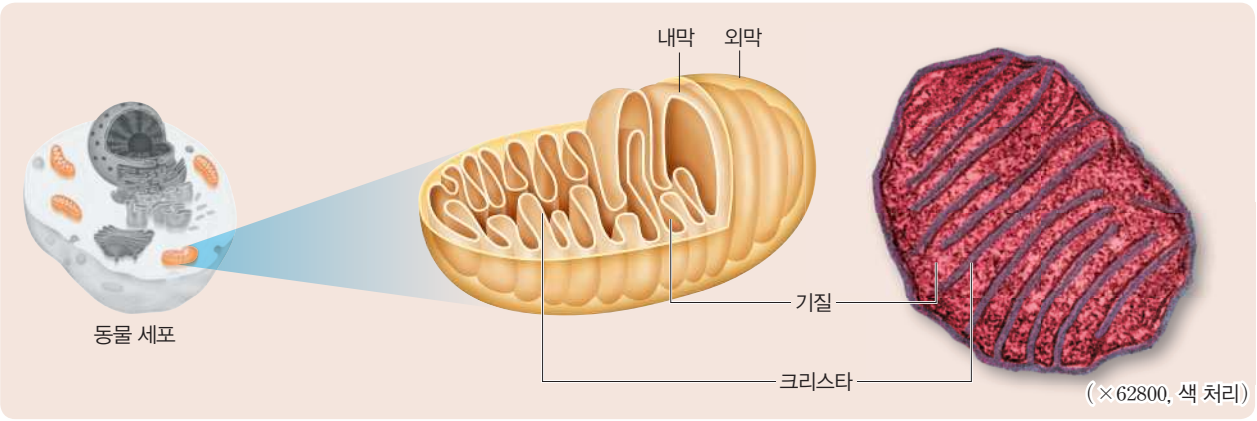


그림 Ⅱ-19 미토콘드리아

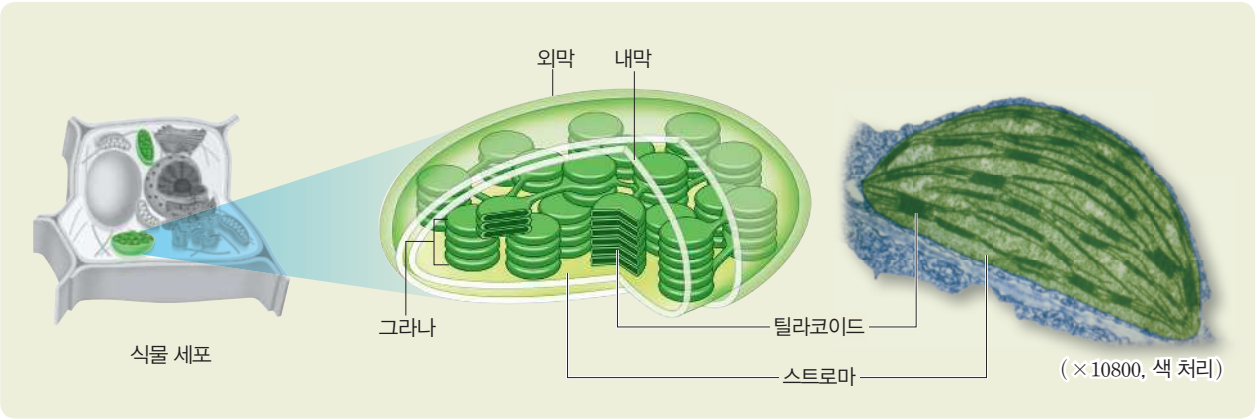


그림 Ⅱ-20 엽록체

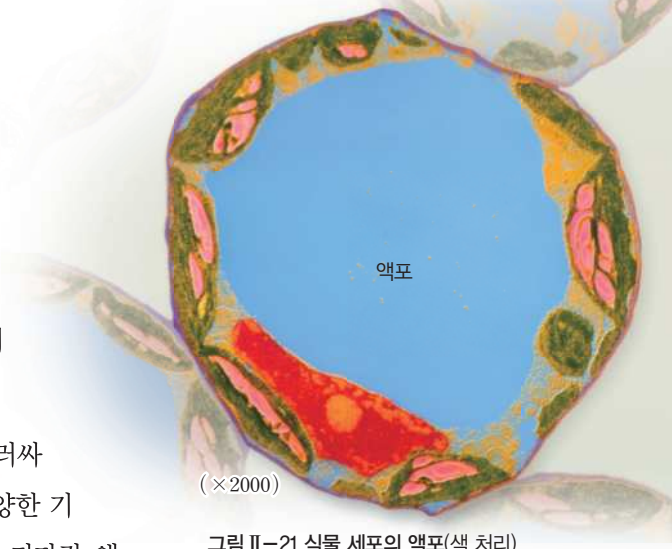


그림 Ⅱ-21 식물 세포의 액포(색 처리)

물질의 분해와 저장

≫ 리소좀 리소좀은 단일막으로 둘러싸인 작은 주머니 모양의 세포 소기관으로, 다양한 가수 분해 효소가 들어 있어 세포내 소화가 일어난다. 세포 안으로 들어온 이물질과 손상된 세포 소기관은 리소좀에서 분해된다.

≫ 액포 액포는 소포체와 골지체로부터 만들어진 단일막으로 둘러싸인 주머니 모양의 세포 소기관이다. 액포는 세포의 종류에 따라 다양한 기능을 수행하며, 성숙한 식물 세포에는 작은 액포가 합쳐져 형성된 커다란 액포가 발달한다. 액포는 식물 세포 내부의 수분량과 삼투압을 조절하며, 식물 세포의 형태 유지, 노폐물이나 유기물 저장 등 다양한 역할을 한다.

세포의 형태 유지 및 보호

≫ 세포막 세포를 둘러싼 세포막은 |그림 Ⅱ-22|와 같이 인지질과 단백질로 구성되어 있으며 유동성을 나타내고, 세포 안팎의 물질 출입을 조절한다. 인지질은 인산이 있는 머리와 지방산이 있는 꼬리를 가진다. 극성을 띠는 인산은 물과 잘 섞이는 친수성을 나타내고, 지방산은 물과 섞이지 않는 소수성을 나타낸다. 따라서 인지질은 물로 둘러싸인 세포 내외 환경에서 머리 부분은 세포 안쪽과 바깥쪽의 물을 향하고, 꼬리 부분이 서로 마주하는 2중층을 형성한다. 세포막을 관통하거나 표면에 붙어 있는 막단백질은 물질 수송, 효소, 신호의 수용과 전달 등 세포의 생명 활동에 필요한 다양한 기능을 한다.

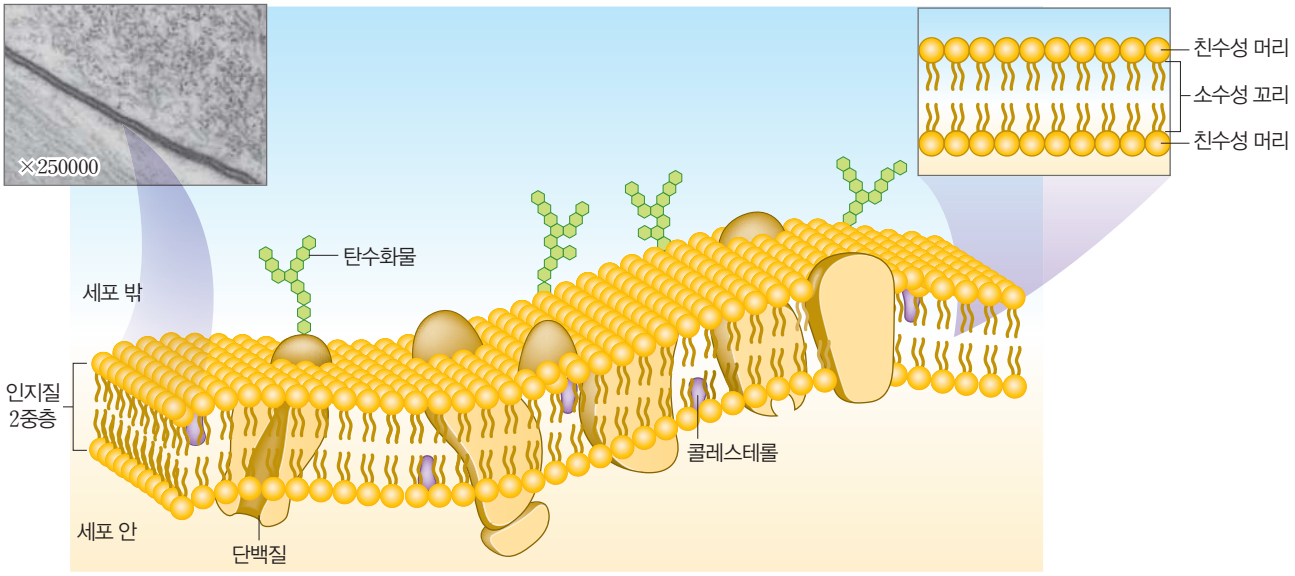


그림 Ⅱ-22 세포막 | 세포막은 주로 인지질 2중층과 막단백질로 구성된다.

≫ 세포벽　세포벽은 세포막보다 두껍고 단단하여 세포를 보호하고, 형태를 유지하는 기능을 한다. 어린 식물 세포에서는 비교적 얇은 1차 세포벽이 형성되고, 세포가 성숙하면서 |그림 Ⅱ-23|과 같이 세포막과 1차 세포벽 사이에 1차 세포벽보다 두껍고 단단한 2차 세포벽이 형성된다.

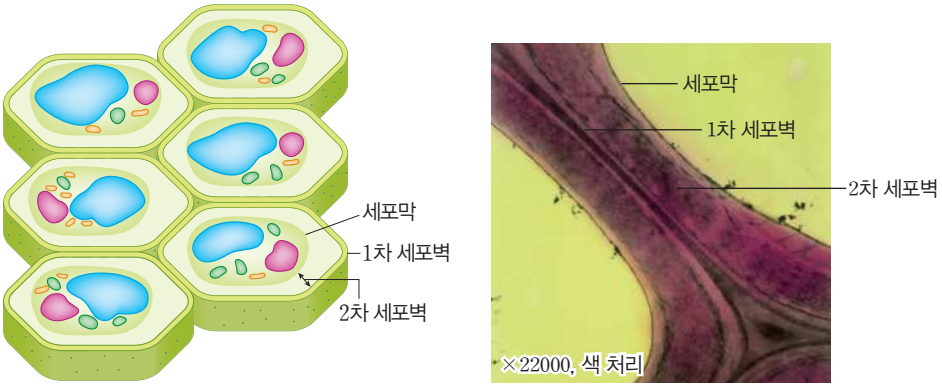
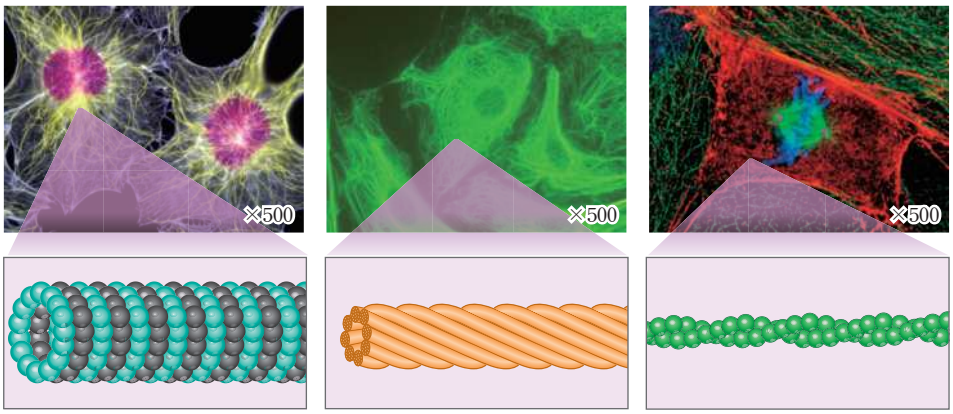


그림 Ⅱ-23 세포벽의 구조

≫ 세포 골격　세포 골격은 단백질로 구성된 섬유들이 세포질 내에 퍼져 있는 구조로, 세포를 지지하거나 모양을 유지하는 역할을 한다. 세포 골격은 |그림 Ⅱ-24|와 같이 미세 소관, 중간 섬유, 미세 섬유로 이루어지며, 염색체 이동, 섬모와 편모 형성, 세포 소기관 고정, 근육 수축, 세포질 유동 등에 관여한다.



▲ 미세 소관(보라: 핵, 노랑: 미세 소관)　▲ 중간 섬유　▲ 미세 섬유(파랑: 염색체, 초록: 방추사, 빨강: 미세 섬유)

그림 Ⅱ-24 세포 골격

자기 평가하기

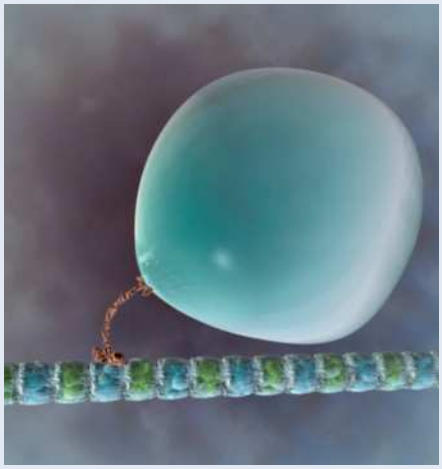
✱ 성취 정도를 ✓ 표시해 보자

1 세포 연구에 사용되는 현미경, 세포 분획법, 자기 방사법을 설명할 수 있는가? 1 2 3 4 5
2 원핵세포와 진핵세포의 공통점과 차이점을 비교하여 설명할 수 있는가? 1 2 3 4 5
3 단백질이 합성되어 세포 밖으로 분비되는 과정을 설명할 수 있는가? 1 2 3 4 5

운동 단백질 _ 키네신

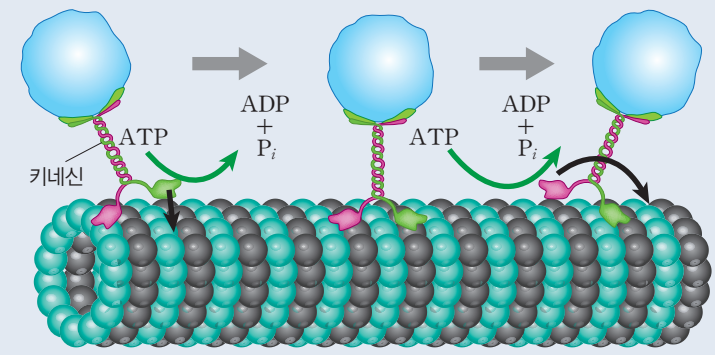
키네신은 진핵세포에서 발견된 운동 단백질의 한 종류로 1985년에 미국 매사추세츠 주에 있는 우즈홀 해양 생물학 연구소의 베일(Vale, R., 1959~)과 시츠(Sheetz, M., 1946~)가 확인하였다. 그들은 '움직임'을 뜻하는 그리스어 '키네인'에서 이름을 따 키네신이라고 이름을 붙였다.

세포 안에서 일부 물질은 확산으로 운반되지만, 운동 단백질이 운반하는 것도 있다. 키네신은 물질을 운반하는 데 적합한 구조로 되어 있다. 키네신의 한쪽 말단 부분은 다른 분자와 결합하는 데 용이하여 화물차로 치면 화물이 부착되는 짐칸 역할을 하고, 다른 쪽 말단 부분은 미세 소관을 타고 걸어가는 데 적합한 구조로 특화되어 있어 바퀴와 같은 역할을 한다. 미세 소관은 튜불린이라는 단백질로 이루어져 있으며 중심체에서 뻗어 나와 세포 소기관이 이동하는 선로 역할을 한다. 키네신은 튜불린을 따라 걸으며 필요한 곳으로 물질을 전달한다.



▲ 키네신

키네신은 ATP를 가수 분해할 때 나오는 에너지를 이용하여 다음 결합 자리까지 움직인 후 결합하는 것을 반복함으로써 미세 소관 위를 움직이며 물질을 운반한다. 키네신이 ATP와 결합하면 분자 모양이 변하여 발을 들어 올려 앞쪽으로 이동하고, ATP가 분해되어 ADP가 방출되면 원래 상태로 돌아가 발이 튜불린에 붙는다. 이처럼 ATP 결합과 ADP 방출을 반복함으로써 키네신은 튜불린을 따라 이동하여 물질을 운반한다. 이러한 물질 운반의 예로 뉴런에서 신경 전달 물질의 운반 과정을 들 수 있다. 흥분의 전달 과정에서 뉴런의 신경 세포체에서 합성된 신경 전달 물질은 키네신이 시냅스까지 운반하여 시냅스 틈으로 방출한다.



생각해 보기 키네신이 운반하는 물질의 예로 뉴런의 신경 전달 물질 외에 어떤 것이 있을지 알아보자.

개념 정리하기

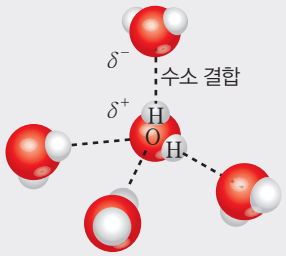
핵심 내용 정리하기

1 생명체의 구성

1. 생명체의 구성 물질

(1) 물

- 생명체를 구성하는 물질 중 가장 많으며, 극성을 띤다.
- 여러 물질을 운반하고, 녹이는 용매로 작용한다.
- ❶ _____과 비열이 높아 체온을 일정하게 유지하는 데 도움을 준다.



(2) **탄수화물**: 탄소, 수소, 산소로 구성되며, 생명체의 구성 성분이 되거나 에너지 저장 물질로 이용된다.

- 단당류: 포도당, 과당, 갈락토스 등
- 이당류: 엿당, 설탕, 젖당 등
- 다당류: 셀룰로스, 녹말, 글리코젠 등

(3) **지질**: 물에는 잘 녹지 않고 유기 용매에 잘 녹으며, 주로 탄소, 수소, 산소로 구성된다.

- 중성 지방: 에너지 저장 물질, 체온 유지
- ❷ _____: 핵막과 세포막 등 생체막의 구성 성분
- 스테로이드: 콜레스테롤, 성호르몬, 부신 겉질 호르몬 등

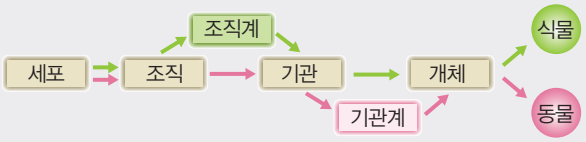
(4) 단백질

- 탄소, 수소, 산소, 질소로 구성되며, 효소, 호르몬, 항체, 근육, 헤모글로빈 등 몸을 구성하는 성분이다.
- 수많은 ❸ _____이 펩타이드 결합으로 연결되어 있다.

(5) 핵산

- 탄소, 수소, 산소, 질소, 인으로 구성되며, 유전 정보를 저장하거나 전달한다.
- DNA와 RNA가 있으며, 구성단위는 인산, 당, 염기가 결합된 ❹ _____이다.

2. 생명체의 유기적 구성



2 세포의 구조와 기능

1. 세포의 연구 방법

(1) **현미경**: 상을 확대하여 세포의 구조를 연구한다.

(2) **세포 분획법**: 세포 소기관을 크기와 밀도에 따라 분리하는 방법으로, 각각의 기능을 연구하는 데 이용된다.

(3) ❺ _____: 방사성 동위 원소에서 방출되는 방사선을 추적하여 세포 내 물질의 이동 경로나 변화를 연구한다.

2. 원핵세포와 진핵세포

구분	원핵세포	진핵세포
핵	없음	있음
막으로 된 세포 소기관	❻ _____	있음
리보솜	있음	있음
DNA	원형 DNA가 세포질에 존재함	선형 DNA가 핵 안에 존재함
세포벽 성분	펩티도글리칸 (세균)	셀룰로스(식물) 또는 키틴 (곰팡이, 버섯)

3. 세포의 구조와 기능

핵	유전 정보를 가지고 있으며, 형질 발현과 유전에 관여
리보솜	❼ _____의 합성 장소
소포체	핵막에 연결되어 있으며, 지질의 합성과 단백질의 변형과 운반에 관여
골지체	❽ _____로부터 수송된 단백질의 변형과 운반에 관여
미토콘드리아	2중막 구조로, 세포 호흡으로 에너지 생산
엽록체	2중막 구조로, 빛에너지를 화학 에너지로 전환하는 광합성 장소
리소좀	가수 분해 효소가 있어 세포내 소화에 관여
액포	식물 세포 내부의 수분량과 삼투압 조절, 노폐물이나 유기물 저장에 관여
세포막	세포 안팎의 물질 출입을 조절
세포벽	세포를 보호하고 형태를 유지
세포 골격	세포를 지지하거나 모양을 유지하며, 미세 소관, 중간 섬유, 미세 섬유로 구성

정답 | ❶ 기화열 ❷ 인지질 ❸ 아미노산 ❹ 뉴클레오타이드 ❺ 자기 방사법 ❻ 없음 ❼ 단백질 ❽ 소포체

개념 확인하기

1 다음 설명에 해당하는 생명체의 구성 물질을 보기에서 찾아 쓰시오.

(1) 유전 정보를 저장한다. ····· (　　)

(2) 인체를 구성하는 물질 중 가장 비율이 높다. ····· (　　)

(3) 주된 에너지원으로 이용된다. ····· (　　)

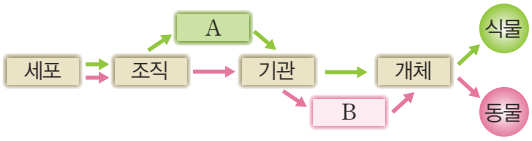
(4) 효소와 항체의 성분이다. ····· (　　)

보기

ㄱ. 물　　ㄴ. 탄수화물

ㄷ. 핵산　　ㄹ. 단백질

2 그림은 각각 식물과 동물의 구성 체제를 나타낸 것이다.



구성 단계 A와 B 각각의 명칭과 해당하는 예를 쓰시오.

3 다음 설명 중 옳은 것은 ○, 옳지 않은 것은 ×표를 하시오.

(1) 투과 전자 현미경을 이용하면 세포의 입체 구조를 관찰할 수 있다. ····· (　　)

(2) 자기 방사법을 이용하면 세포 내 물질 이동 경로를 알 수 있다. ····· (　　)

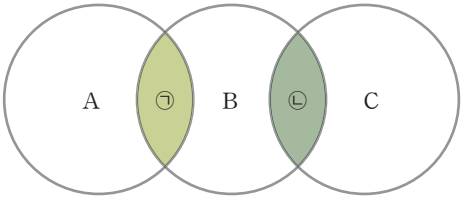
(3) 세포 분획법으로 세포 소기관을 크기와 밀도에 따라 분리할 수 있다. ····· (　　)

4 다음 글의 (　　) 안에 들어갈 알맞은 말을 쓰시오.

납작한 주머니가 복잡하게 연결된 소포체는 핵막과 연결되어 물질 수송에 관여한다. 표면에 리보솜이 붙어 있는 (　　)는 단백질의 변형과 운반에 관여하고, 리보솜이 붙어 있지 않은 (　　)는 지질의 합성과 독성 물질의 해독에 관여한다.

개념 응용하기

1 그림은 인체를 구성하는 물질 A~C의 공통적인 특징 ㉠과 ㉡을 나타낸 것이다.



특징 ㉠은 뉴클레오솜의 구성 성분을, 특징 ㉡은 세포막의 구성 성분을 나타낼 때, A~C에 해당하는 물질을 각각 쓰시오. (단, A~C는 각각 단백질, DNA, 인지질 중 하나이다.)

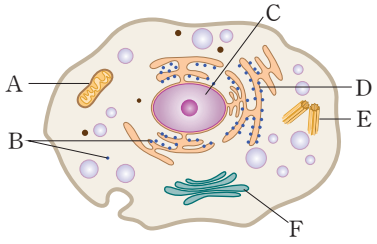
2 표는 세포 A~C에서 핵막과 리보솜, 세포벽의 존재 여부를 나타낸 것이다.

세포	A	B	C
핵막	○	×	○
리보솜	○	○	○
세포벽	×	○	○

(단, ○는 있음, ×는 없음)

표에 주어진 특징을 근거로 A~C 각각에 해당하는 세포를 쓰시오. (단, A~C는 각각 대장균, 사람의 상피 세포, 소나무의 표피 세포 중 하나이다.)

3 그림은 동물 세포의 구조를 나타낸 것이다.



핵에 존재하는 유전 정보를 이용하여 단백질이 합성되어 세포 밖으로 분비되는 과정에 관여하는 세포 소기관의 기호를 순서대로 나열하시오.

×750, 색처리

세포막과 효소

01. 세포막을 통한 물질의 출입

02. 효소

이 단원의 학습 목표

물질의 특성에 따라 세포막을 통한 출입 방법이 다름을 이해하고, 물질대사를 촉매하는 효소의 특성과 작용을 설명할 수 있다.

자기 점검 – 알고 있는 용어에 표시해 보자.

세포막 ☐	확산 ☐	삼투 ☐	능동 수송 ☐
촉매 ☐	효소 ☐	pH ☐	물질대사 ☐

▶ 표시하지 못한 용어는 통합과학 교과서 '생명 시스템' 단원에서 확인해 보자.

학습 계획 세우기 – 학습 목표를 달성하기 위해 어떤 준비를 할 수 있을지 써 보자.

예 세포막의 기능을 알아본다.

01 세포막을 통한 물질의 출입

세포막을 통해 물질이 출입하는 다양한 현상을 이해할 수 있다.
확산, 삼투, 능동 수송을 비교하여 차이점을 설명할 수 있다.

놀이동산에 들어가려면 입장권이나 자유 이용권을 구매해야 한다. 이와 마찬가지로 세포막을 경계로 많은 물질이 선택적으로 통과한다. 서로 다른 특성을 가진 다양한 물질은 어떤 방법으로 세포막을 통과하는 것일까?

1 세포막의 선택적 투과성

세포는 세포막으로 둘러싸여 있으므로 생명 현상을 유지하기 위해서 물질대사에 필요한 물질은 세포 안으로 들어오고, 노폐물은 세포 밖으로 배출된다. 이 과정에서 물질의 특성에 따라 세포막을 통한 물질의 이동이 선택적으로 일어난다. 즉, |그림 Ⅱ-25|와 같이 산소나 이산화 탄소와 같이 크기가 작은 분자나 소수성인 물질은 인지질 2중층을 쉽게 통과하지만, 포도당이나 아미노산과 같이 크기가 큰 분자나 이온과 같이 친수성인 물질은 인지질 2중층을 직접 통과하기 어려워 막단백질의 도움을 받아 세포막을 통과한다. 이러한 세포막의 특성을 선택적 투과성이라고 한다.

창의력 키우기 세포막이 인지질 2중층으로만 이루어지면 포도당이나 아미노산과 같은 큰 물질이나 이온과 같은 친수성 물질은 세포막을 어떻게 통과할지 생각해 보자.

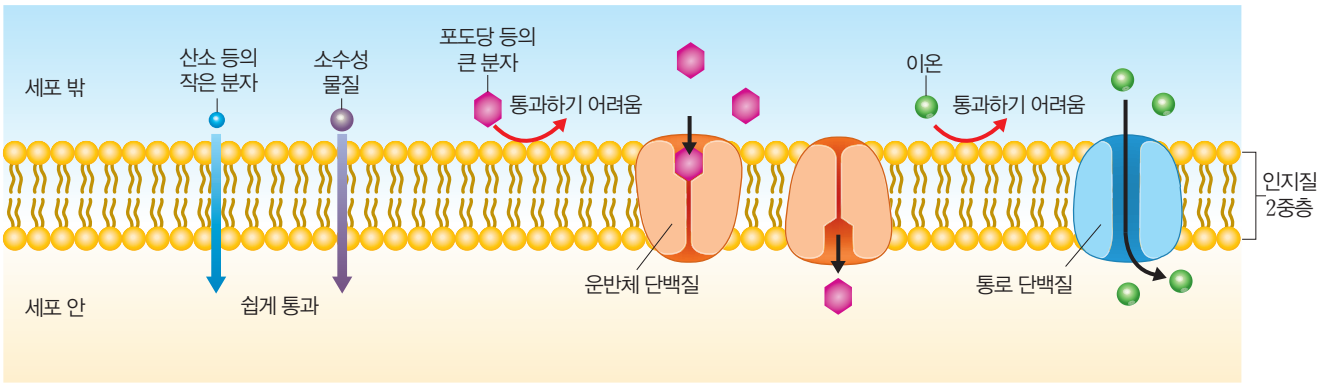


그림 Ⅱ-25 세포막의 투과성

그림 Ⅱ-26 확산 | 두 병 사이를 분리하고 있던 유리판을 제거하면 오른쪽 병의 브로민 기체가 왼쪽 병으로 고루 확산된다.

2 확산과 삼투

확산 | 음식을 할 때 집 안에 음식 냄새가 퍼지는 것은 냄새 분자가 농도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 퍼지기 때문이다. 이와 같은 현상을 확산이라고 하며, 에너지를 소비하지 않는다. 세포에서도 산소와 이산화 탄소 등의 작은 분자는 세포막을 직접 통과하여 농도 기울기를 따라 확산되는데, 이를 단순 확산이라고 한다. 폐포와 모세 혈관, 모세 혈관과 조직 세포 사이에서 산소와 이산화 탄소가 교환될 때는 단순 확산으로 이동한다.

삼투 | 물은 투과하지만, 용질은 투과하지 못하는 반투과성 막을 경계로 농도가 다른 설탕 용액을 U자관에 넣으면 시간이 지나면서 농도가 높은 쪽의 물 높이가 높아진다. 이는 |그림 Ⅱ-27|과 같이 용질인 설탕 분자는 반투과성 막을 통과하지 못하지만 용매인 물 분자는 반투과성 막을 통과하여 물 분자의 농도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 확산되기 때문이다. 이처럼 반투과성 막을 경계로 용매의 농도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 용매가 이동하는 현상을 삼투라고 하며, 삼투에 따라 반투과성 막이 받는 압력을 삼투압이라고 한다. 삼투는 에너지를 소비하지 않으며, 삼투압은 용액의 농도 차이가 클수록 크다.

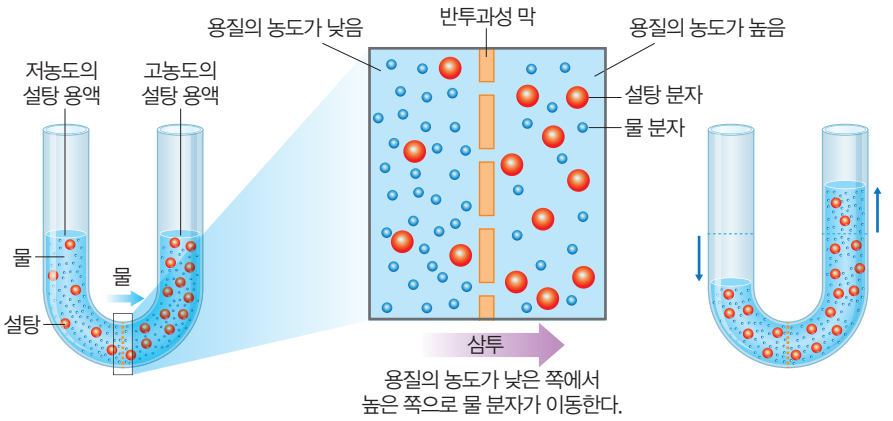


그림 Ⅱ-27 삼투

세포 안과 밖에는 모두 물이 있다. 물은 세포막을 통과할 수 있지만, 대부분 물질은 세포막을 통과하지 못한다. 이러한 비투과성 용질의 농도가 세포질과 같아 세포의 부피를 변화시키지 않는 수용액을 등장액, 용질의 농도가 세포질보다 높아 세포가 쭈그러드는 수용액을 고장액, 용질의 농도가 세포질보다 낮아 세포가 팽창하는 수용액을 저장액이라고 한다.

|그림 Ⅱ-28|과 같이 동물 세포인 적혈구를 생리식염수와 같은 등장액에 넣으면 정상 상태가 유지되지만, 고장액에 넣으면 적혈구 속의 물이 밖으로 빠져나가 적혈구가 쭈그러들고, 증류수와 같은 저장액에 넣으면 적혈구 속으로 물이 들어와 막이 팽창하다 터지는 용혈 현상이 나타난다.

탐구 실험

막을 통한 물질의 이동

• **목표**: 다양한 농도의 용액에서 식물 세포의 막을 통해 일어나는 물질의 이동 결과를 알 수 있다.

양파 표피 세포를 다양한 농도의 용액에 넣었을 때 막을 통한 물질의 이동 결과 나타나는 현상을 관찰해 보자.

준비물

양파, 증류수, 0.9 % 소금물, 2 % 소금물, 비커, 스포이트, 받침유리, 덮개유리, 칼, 핀셋, 현미경

주의 사항

- 칼을 사용할 때는 손이 베이지 않도록 주의한다.
- 유리 기구를 사용할 때는 깨지지 않도록 주의한다.

과정

1. 양파 안쪽의 비늘잎에 가로, 세로 각 1 cm 크기의 칼집을 내어 핀셋으로 벗긴다.
2. 벗겨 낸 양파 비늘잎을 증류수, 0.9 % 소금물, 2 % 소금물이 담긴 비커에 각각 1조각씩 넣고 10분 동안 담가 둔다.
3. 각 비커에서 양파 조각을 꺼내 받침유리 위에 올려놓고 덮개유리를 덮어 현미경 표본을 만든다.
4. 각 현미경 표본을 관찰하고, 양파 세포의 모양을 그린다.

▲ 증류수에 담근 양파 세포 ▲ 0.9 % 소금물에 담근 양파 세포 ▲ 2 % 소금물에 담근 양파 세포

결과 및 정리

❶ 관찰한 양파 표피 세포의 모양으로 보아 등장액에 해당하는 용액은 무엇인가? 또 그 까닭은 무엇인가?

❷ 동물 세포와 달리 양파 표피 세포의 세포막이 터지지 않는 까닭은 무엇인가?

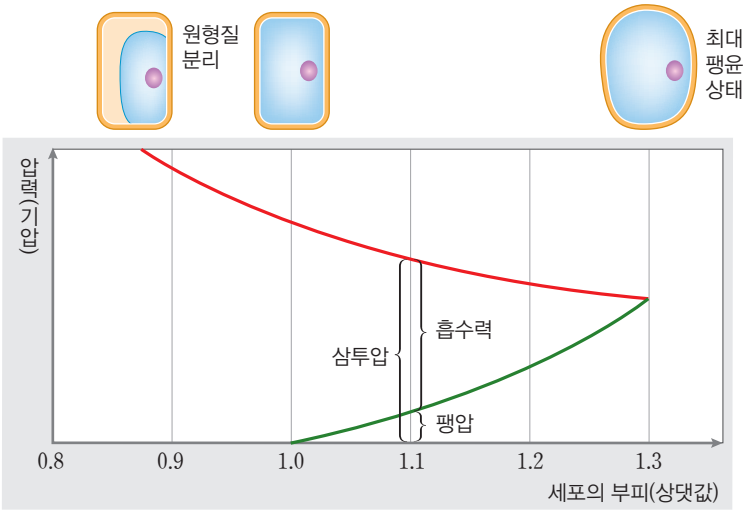
생각 넓히기 2 % 소금물에 담가 둔 양파 표피 세포를 증류수로 옮겨 넣으면 어떤 변화가 일어날지 생각해 보자.

그림 Ⅱ-28 동물 세포(적혈구)와 식물 세포(양파 세포)의 삼투

식물 세포를 등장액에 넣으면 동물 세포처럼 정상 상태가 유지된다. 그러나 식물 세포를 고장액에 넣으면 세포 밖으로 물이 빠져나가 세포질의 부피가 줄어들면서 세포막이 세포벽으로부터 분리되어 떨어진다. 이러한 현상을 원형질 분리라고 한다. 원형질 분리가 일어난 세포를 저장액으로 옮기면 물이 세포 안으로 들어와 원래 부피로 되돌아오는 원형질 복귀가 일어난다. 세포 안으로 계속해서 물이 들어오면 세포의 부피가 점점 커지지만 동물 세포와 달리 식물 세포는 세포벽이 있어 세포가 팽창해도 터지지 않는다. 이때 세포벽에 가해지는 압력을 팽압이라고 한다.

식물 세포가 물을 흡수하는 힘인 흡수력은 삼투압과 팽압의 차이로 나타낸다. 고장액에서 식물 세포의 원형질 분리가 일어날 때 흡수력은 삼투압과 같다. 이 식물 세포를 저장액에 넣으면 물을 흡수하므로 삼투압은 점점 감소하고 팽압은 증가하여 흡수력이 점점 감소한다. 삼투압과 팽압이 같아지면 팽압은 최대가 되고 흡수력은 0이 되어 물이 더는 흡수되지 않는다. 이때를 최대 팽윤 상태라고 한다.

▲ 팽압이 감소하여 시든 식물



출처: Duca, 2015.

그림 Ⅱ−29 식물 세포의 삼투압, 팽압, 흡수력의 관계 | 원형질 분리가 일어난 식물 세포를 저장액에 넣은 다음 나타나는 세포의 부피 변화와 삼투압, 팽압, 흡수력의 관계를 나타낸 것이다.

3 막단백질을 통한 물질의 이동

촉진 확산 | 크기가 큰 분자나 친수성 분자는 단순 확산과 같은 방식으로 세포막을 직접 통과하지 못하고 막단백질을 통과하여 이동한다. 이처럼 막단백질을 통과하여 농도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 물질이 이동하는 현상을 촉진 확산이라고 한다. 촉진 확산에는 |그림 Ⅱ−30|과 같이 특정 분자나 이온이 세포막을 통과하도록 통로 역할을 하는 통로 단백질과 특정 물질이 단백질과 결합하면 단백질의 구조가 변하여 물질을 운반하는 운반체 단백질, 두 가지 형태의 수송 단백질이 관여한다.

뉴런에서 Na^+과 K^+은 통로 단백질을 통과하여 이동하고, 포도당이나 아미노산은 운반체 단백질을 통과하여 이동한다.

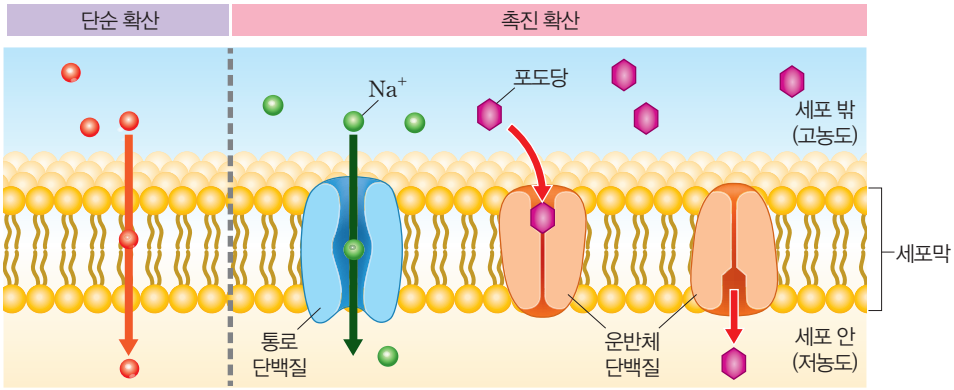
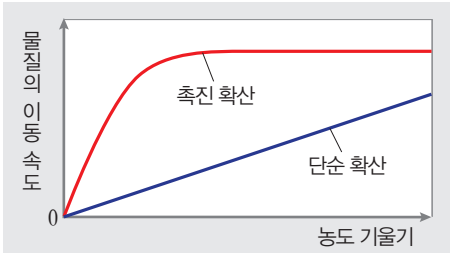


그림 Ⅱ-30 단순 확산과 촉진 확산

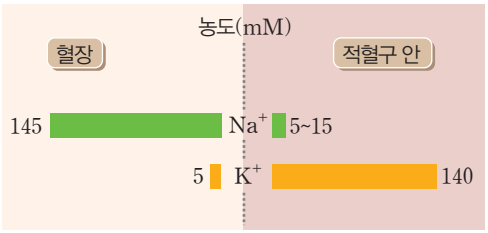
촉진 확산은 단순 확산과 같이 세포막을 경계로 농도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 물질이 이동하며, 에너지를 소비하지 않는다. |그림 Ⅱ-31|과 같이 단순 확산은 농도 기울기가 클수록 물질의 이동량이 비례하여 증가하지만 촉진 확산은 수송 단백질의 수가 한정되어 있으므로 농도 기울기가 클수록 물질의 이동량이 증가하다가 일정 수준이 되면 더는 증가하지 않고 일정해진다.



출처: Stenfield and Germann, 2008.

그림 Ⅱ-31 농도 기울기에 따른 단순 확산과 촉진 확산의 물질 이동량 비교

| 능동 수송 | 사람의 혈장과 적혈구 안의 이온 농도를 비교해 보면, |그림 Ⅱ-32|와 같이 Na^+ 농도는 혈장이 적혈구 안보다 약 10배 정도 높고, K^+ 농도는 적혈구 안이 혈장보다 약 30배 정도 높게 유지되고 있다. 이렇게 적혈구 안팎의 불균등한 이온 분포가 유지되는 것은 에너지를 사용하여 농도 기울기를 거슬러 이온의 농도가 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 이온이 이동하기 때문이다. 이처럼 세포막에 존재하는 특정한 운반체 단백질이 에너지를 소비하여 물질을 한 방향으로 이동시키는 것을 능동 수송이라고 한다.



출처: Widmaier, 2010.

그림 Ⅱ-32 적혈구 안팎의 이온 분포

소장 융털에서의 당이나 아미노산의 흡수, 식물 뿌리털에서의 무기 양분 흡수, 콩팥 세뇨관에서의 포도당 재흡수, 신경 세포에서의 막전위 유지 등의 다양한 생명 활동에서 능동 수송으로 물질이 이동한다. 예를 들어 뉴런의 세포막에는 |그림 Ⅱ-33|과 같이 Na^+과 K^+의 능동 수송을 담당하는 Na^+-K^+ 펌프가 있어 Na^+을 세포 밖으로 내보내고, K^+을 세포 안으로 끌어들여 Na^+과 K^+의 농도 기울기가 유지된다.

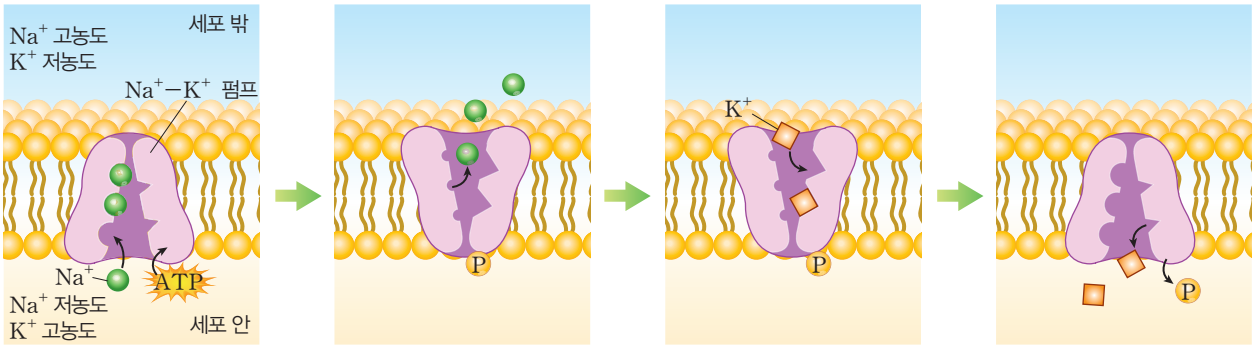


그림 Ⅱ-33 Na^+-K^+ 펌프에 따른 능동 수송 | ATP를 사용하여 Na^+은 세포 밖으로, K^+은 세포 안으로 이동시킨다.

4 세포내 섭취와 세포외 배출

세포내 섭취와 세포외 배출은 에너지를 소비하여 단백질처럼 큰 분자를 세포막으로 감싸 소낭으로 만들어 이동시키는 것이다. 세포내 섭취에는 |그림 Ⅱ-34|와 같이 미생물이나 세포 조각 같은 고형 물질을 세포 안으로 이동시키는 식세포 작용과 액체 상태의 물질을 세포 안으로 이동시키는 음세포 작용이 있다. 백혈구가 세균이나 감염된 세포를 제거하는 식균 작용은 식세포 작용에 해당한다.

세포외 배출은 세포에서 합성한 호르몬이나 신경 전달 물질 등을 세포 밖으로 분비할 때 일어난다. 이자에서 인슐린과 글루카곤을 분비할 때, 뉴런에서 신경 전달 물질을 분비할 때 세포외 배출이 일어난다.

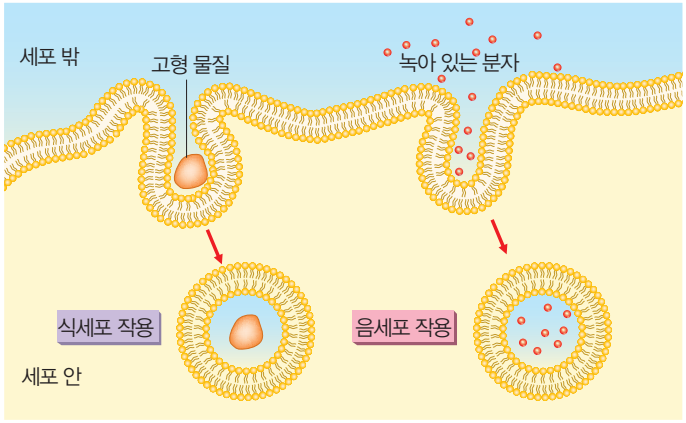


그림 Ⅱ-34 세포내 섭취

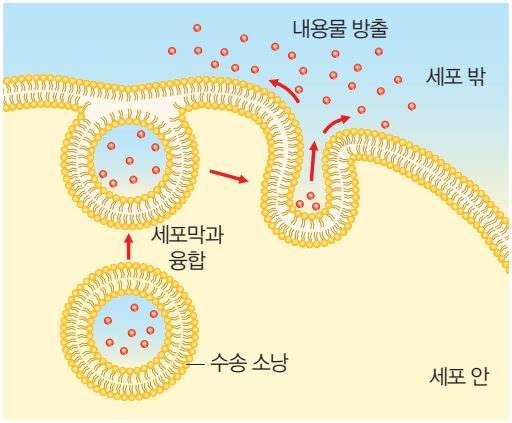


그림 Ⅱ-35 세포외 배출

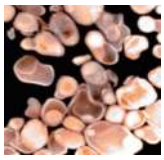
탐구 자료 조사

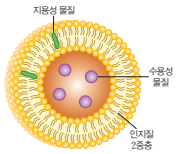
리포솜의 활용 방안 조사하기

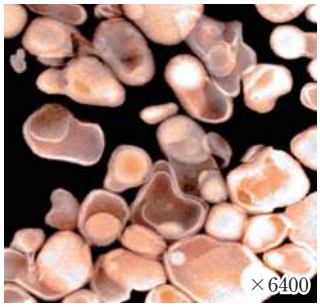
• **목표**: 세포막의 특성을 이용한 리포솜의 기능과 활용 사례를 알 수 있다.

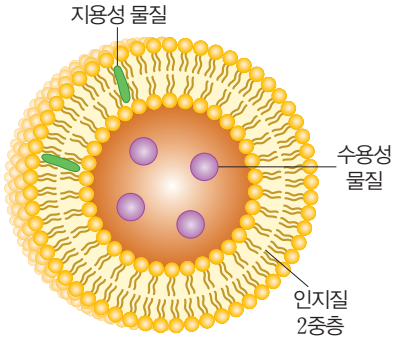
다음은 세포막의 특성을 이용하여 만든 작은 주머니 형태의 리포솜과 관련한 내용이다. 인공적으로 만든 리포솜은 어떻게 활용될 수 있을지 알아보자.

리포솜은 세포막을 구성하는 성분인 인지질을 이용하여 만든 작은 주머니로, 인지질 2중층 형태로 이루어져 수용액 속에서 안정적으로 존재한다. 리포솜은 세포막과 잘 융합하여 리포솜의 물질이 세포 내로 빠르게 흡수되는 장점이 있어 세포막을 통해 잘 흡수되지 못하는 수용성 약물이나 영양소, DNA 등을 세포로 운반해 주는 매개체로 많이 활용한다. 또한 지용성 영양소나 물질을 리포솜의 인지질 2중층에 삽입하여 운반하기도 한다.









정리

❶ 리포솜의 막과 세포막의 공통점과 차이점을 비교해 보자.
❷ 화장품이나 의약품 등과 같은 다양한 분야에서 리포솜 활용 사례를 조사하여 발표해 보자.
❸ 리포솜을 이용하여 약물 전달에 활용할 수 있는 물질의 종류를 조사하고, 효과적인 약물 전달에 이용되는 리포솜의 주요 기능은 어떤 것이 있는지 토론해 보자.

자기 평가하기

✱ 성취 정도를 ✓ 표시해 보자

		1	2	3	4	5
1	세포막의 선택적 투과성을 설명할 수 있는가?	1	2	3	4	5
2	확산, 삼투, 능동 수송의 차이점을 비교할 수 있는가?	1	2	3	4	5
3	실생활 속에서 리포솜이 활용되는 사례를 설명할 수 있는가?	1	2	3	4	5

02 효소

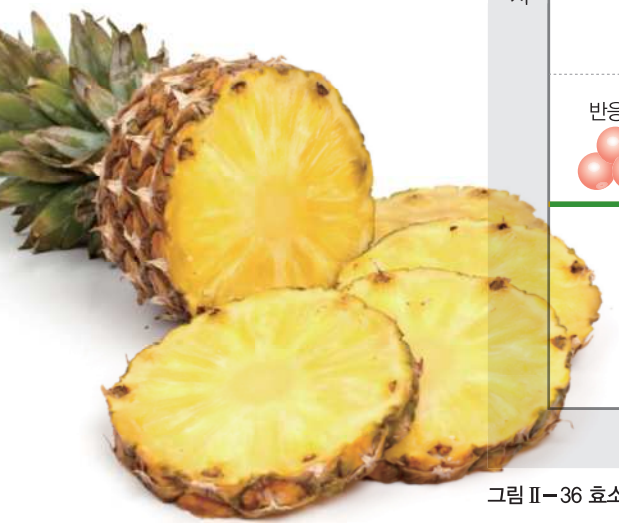
- 효소의 특성을 이해하고, 효소의 작용을 설명할 수 있다.
- 효소의 작용에 온도와 pH가 영향을 미칠 수 있음을 설명할 수 있다.

과산화 수소수 소독약을 상처에 바르면 소독약을 바른 부위가 따끔따끔하고 하얗게 거품이 일어난다. 하지만 상처가 나지 않은 피부에 소독약을 바르면 거품이 일어나지 않는다. 과산화 수소수 소독약을 상처에 바르면 왜 거품이 일어나는 것일까?

1 효소의 촉매 작용

생명체에서는 물질대사가 일어나 살아가는 데 필요한 에너지를 얻고, 필요한 물질을 합성한다. 물질대사가 일어나려면 화학 반응이 일어나기에 충분한 에너지가 공급되어야 하는데, 이처럼 화학 반응이 일어나는 데 필요한 최소한의 에너지를 활성화 에너지라고 한다. 생명체에서 효소는 활성화 에너지를 낮추어 화학 반응이 쉽게 일어나게 하는 촉매이다. 즉, 효소가 작용하면 |그림 Ⅱ-36|과 같이 활성화 에너지가 낮아지므로 반응이 빠르게 일어난다.

촉매
화학 반응에서 자신은 변하지 않으며 다른 물질의 반응을 빠르게 하거나 늦추는 작용을 하는 물질이다.



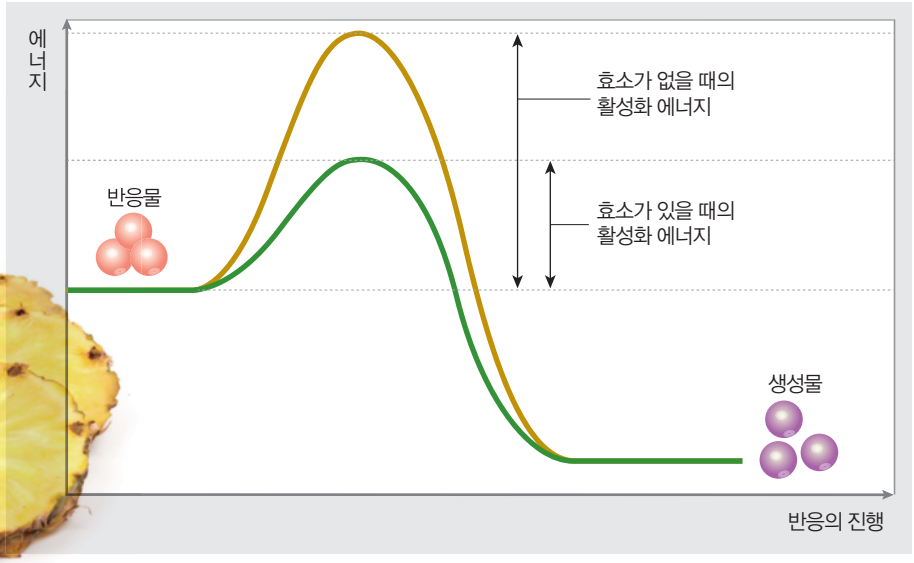


그림 Ⅱ-36 효소와 활성화 에너지

2 효소의 구조와 기질 특이성

화학 반응이 일어날 때 효소는 반응물과 일시적으로 결합한다. 이때 효소와 결합하는 반응물을 기질이라고 하며, 기질과 결합하는 효소의 특정 부분을 활성 부위라고 한다. 화학 반응에서 효소는 기질과 결합하여 효소·기질 복합체를 형성한다. 이때 효소는 기질과 공유 결합을 형성하거나 작용기를 이동하는 등 다양한 상호 작용으로 활성화 에너지를 낮춘다. 그 결과 기질에 변화가 일어나 생성물이 만들어지고 효소와 생성물은 분리되며, 분리된 효소는 다른 기질과 결합하여 반응을 반복한다.

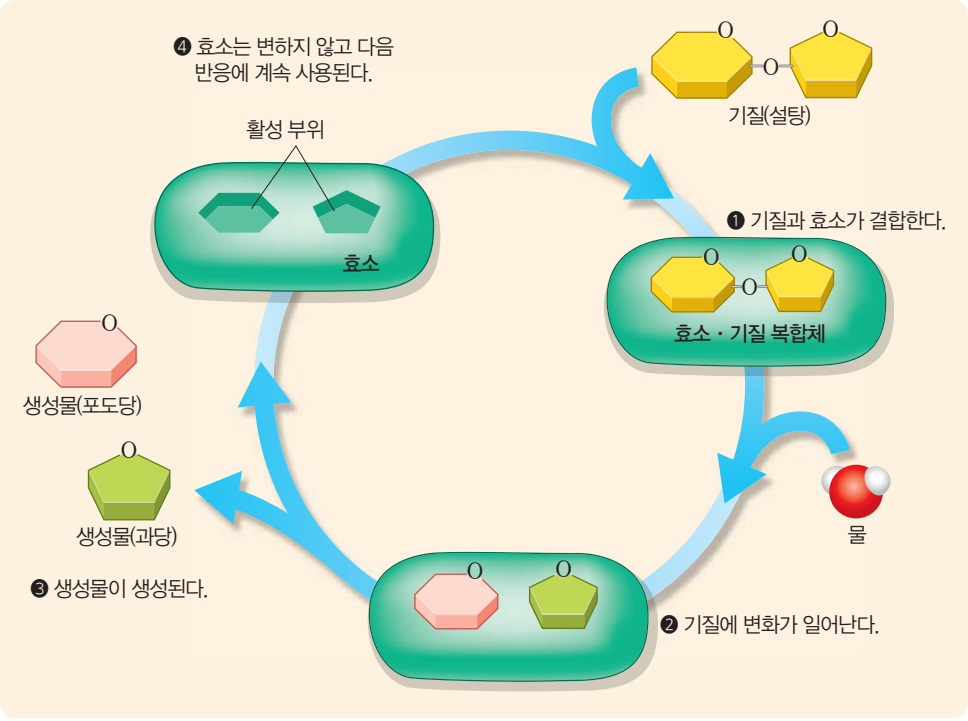


그림 Ⅱ-37 효소의 촉매 반응

효소·기질 복합체를 형성할 때 효소는 |그림 Ⅱ-38|과 같이 활성 부위에 맞는 입체 구조를 가진 기질과만 결합하는데, 이처럼 한 종류의 효소가 특정 기질과만 결합하는 것을 기질 특이성이라고 한다. 일부 효소는 기질과 더욱 잘 결합할 수 있도록 효소의 활성 부위에 약간의 변형이 일어나기도 한다.

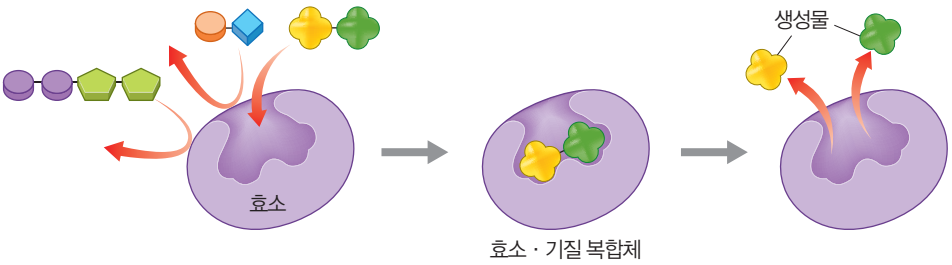


그림 Ⅱ-38 효소의 기질 특이성

▲ 아밀레이스의 입체 구조

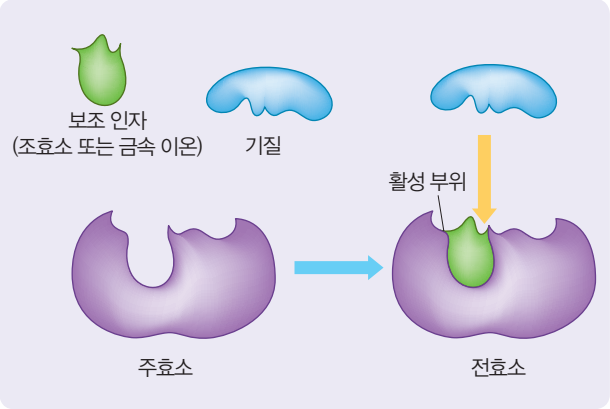


그림 Ⅱ-39 효소의 구성

3 효소의 구성과 종류

효소를 구성하는 주성분은 단백질이다. 효소 중에는 단백질만으로 구성되어 활성을 나타내는 것도 있지만, 단백질 성분 이외에 비단백질 성분이 필요한 것도 있다. 효소에서 단백질 부분을 주효소라고 하고, 효소의 작용을 도와주는 비단백질 부분을 보조 인자라고 하며, 주효소와 보조 인자가 결합하여 완전한 기능을 나타내는 효소를 전효소라고 한다. 보조 인자는 효소의 활성 부위에 영구적으로 존재하는 것도 있고, 기질이 결합할 때 활성 부위에 결합하는 것도 있다. 보조 인자에는 아연, 철, 마그네슘 등의 금속 이온과 비타민과 같은 유기 분자인 조효소가 있다. 조효소는 대체로 열에 강하며, 한 종류의 조효소가 여러 가지 주효소의 작용에 관여한다. 대표적인 조효소로는 NAD^+, FAD, $NADP^+$ 등이 있다.

연계 학습
NAD^+, FAD, $NADP^+$
▶ Ⅲ. 세포 호흡과 광합성 71쪽

생명체에서 일어나는 물질대사에는 다양한 종류의 효소가 관여한다. 효소는 물질을 합성 또는 분해하거나, 분자 내의 작용기를 다른 분자로 옮기거나, 분자 내 원자 배열을 바꾸어 성질이 다른 물질로 변화시키는 등 다양한 기능을 한다. 효소는 작용하는 반응의 종류에 따라 |표 Ⅱ-2|와 같이 6가지로 분류할 수 있다.

종류	기능
가수 분해 효소	물을 첨가하여 기질을 분해한다. A–B + H_2O → A–H + B–OH
산화 환원 효소	물질의 산화, 환원을 촉진한다. $A–H_2$ + B → A + $B–H_2$
제거 부가 효소	어떤 작용기를 제거해 이중 결합을 형성하거나 이중 결합에 작용기를 부가한다. A–(작용기) → A + (작용기)
전이 효소	기질의 작용기를 다른 분자로 옮긴다. A–(작용기) + B → A + B–(작용기)
연결 효소	2개의 분자를 서로 연결해 준다. A + B —(ATP → ADP + P_i)→ AB
이성질화 효소	기질의 원자 배열을 바꾸어 다른 물질로 만든다. A → B

표 Ⅱ-2 효소의 종류 출처: Nelson and Cox, 2008.

4 효소의 작용에 영향을 미치는 요인

효소가 관여하는 화학 반응에는 온도, pH, 기질의 농도 등 다양한 요인이 영향을 미친다. 효소의 작용에 영향을 미치는 요인을 알아보자.

탐구 실험

효소의 작용에 영향을 미치는 요인 확인하기

• **목표**: 온도가 효소의 작용에 미치는 영향을 알 수 있다.

준비물

감자즙, 3 % 과산화 수소 수용액, 얼음, 60 ℃ 물, 비커, 눈금실린더, 스포이트, 온도계, 초시계

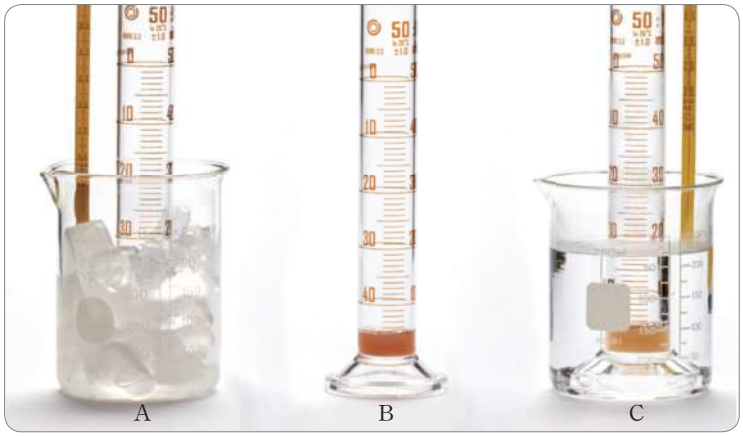
주의 사항

• 과산화 수소 수용액이 옷이나 피부에 닿지 않도록 실험복과 보호 장갑을 착용한다.
• 유리 기구를 사용할 때는 깨지지 않도록 주의한다.

각 눈금실린더에 중성 세제를 한 방울씩 넣으면 발생한 기포가 잘 흩어지지 않아 관찰하기 쉽다.

과정

1 50 mL 눈금실린더 A~C에 감자즙 5 mL를 각각 넣는다.
2 눈금실린더 A는 얼음이 담긴 비커에 넣고, 눈금실린더 B는 상온에 둔다. 눈금실린더 C는 60 ℃의 물이 담긴 비커에 넣는다.
3 눈금실린더 A~C에 담긴 감자즙과 같은 온도의 3 % 과산화 수소 수용액 10 mL를 각각 넣고, 10초 동안 거품이 발생하여 상승한 눈금 수를 측정한다.
4 이 과정을 3회 반복하고, 거품이 상승한 눈금 수의 평균값을 구한다.



결과 및 정리

❶ 각 눈금실린더에서 10초 동안 거품이 발생하여 상승한 눈금 수를 기록해 보자.

눈금실린더	거품이 상승한 눈금 수			
	1회	2회	3회	평균
A				
B				
C				

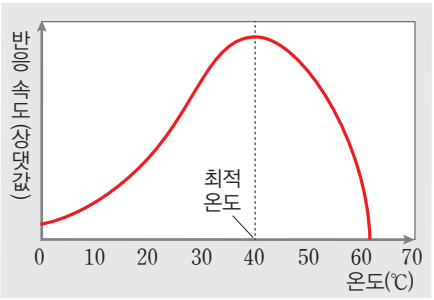
❷ 눈금실린더 A~C에서 반응 속도가 다른 까닭은 무엇인가?
❸ 효소의 작용에 온도가 미치는 영향을 토론해 보자.

생각 넓히기 pH가 효소의 작용에 미치는 영향을 알아볼 수 있는 실험을 설계해 보자.

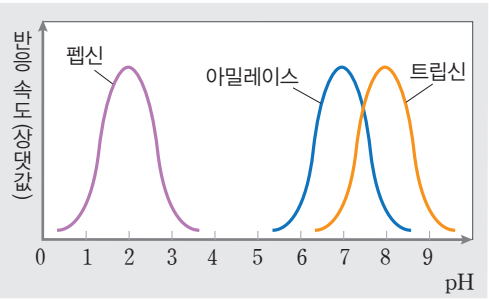
감자 속에는 카탈레이스라는 효소가 들어 있어 과산화 수소를 물과 산소로 분해하는 화학 반응을 촉진한다.

$$2H_2O_2 \xrightarrow{\text{카탈레이스}} 2H_2O + O_2$$

카탈레이스와 같은 효소가 조절하는 화학 반응은 온도와 pH에 따라 반응 속도가 달라진다. 이는 효소의 주성분인 단백질이 온도와 pH에 따라 입체 구조가 변해 효소의 활성이 변하기 때문이다. 효소의 입체 구조가 변하면 기질과 잘 결합하기 어려워 반응 속도가 감소한다. 효소의 반응이 잘 일어나 반응 속도가 최대일 때의 온도와 pH를 각각 최적 온도와 최적 pH라고 한다. 효소의 최적 온도와 최적 pH는 효소의 종류에 따라 다르다.



출처: Reece 외, 2010.



출처: Enger 외, 2011.

그림 Ⅱ−40 효소의 최적 온도와 최적 pH

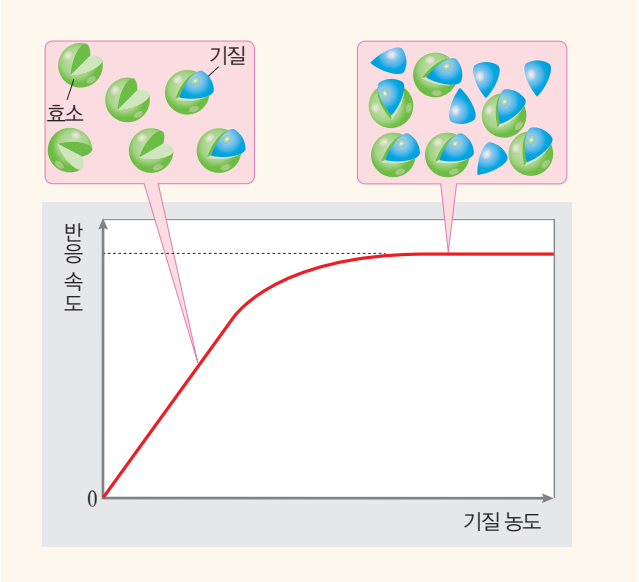


그림 Ⅱ−41 기질 농도에 따른 효소의 반응 속도 변화

효소의 반응 속도는 기질의 농도에 따라서도 달라진다. 효소의 농도가 일정할 때, |그림 Ⅱ−41|과 같이 기질의 농도가 증가할수록 효소·기질 복합체가 많이 형성되므로 효소의 반응 속도는 기질의 농도에 비례하여 증가한다. 그러나 기질의 농도가 어느 정도 이상이 되면 효소가 모두 기질과 결합하기 때문에 더 이상 반응 속도가 증가하지 않고 일정해진다. 이때 반응 속도를 증가시키려면 효소를 더 첨가해야만 한다.

또 어떤 물질은 효소와 결합하여 효소·기질 복합체 형성을 방해함으로써 효소의 작용을 억제하는데, 이와 같은 물질을 저해제라고 한다.

5 생활 속 효소의 이용

효소는 오래전부터 인류의 생활에 이용됐다. 우리 선조들은 예로부터 된장이나 고추장, 김치 등의 발효 식품을 만들어 왔으며, 이러한 발효 식품을 만드는 과정에는 누룩곰팡이나 젖산균과 같은 미생물이 가진 효소의 촉매 작용이 이용된다. 식품뿐만 아니라 다양한 분야에 효소가 이용되는 사례를 알아보자.

탐구 자료 조사

생활 속 효소 이용 사례 조사하기

• **목표**: 생활 속에서 다양한 분야에 효소가 이용되는 사례를 알 수 있다.

다음은 생활 속에서 효소가 이용되는 다양한 분야이다.

식품, 화장품, 의약품, 생활용품, 오염 물질 정화

▲ 식품

▲ 의약품

▲ 생활용품

▲ 오염 물질 정화

정리

❶ 모둠별로 생활 속에서 효소가 이용되는 다양한 분야 중 하나를 선택하여 관련 서적이나 인터넷을 활용해 이용 사례를 조사한다.

❷ 모둠별로 조사한 내용을 정리하여 선택한 분야에서의 효소 이용 사례를 포스터로 제작하여 발표해 보자.

효소의 이용 분야는 각종 진단 및 측정 장치와 생명 공학 기술 등으로 확장되고 있으며, 앞으로도 인류의 건강과 생활에 유용하게 활용되어 우리 삶의 질적 향상에 기여할 것으로 기대된다.

자기 평가하기

✸ 성취 정도를 ✓ 표시해 보자

1	효소가 화학 반응에서 작용하는 원리와 특성을 설명할 수 있는가?	1	2	3	4	5
2	효소의 반응 속도에 온도와 pH가 미치는 영향을 설명할 수 있는가?	1	2	3	4	5
3	실생활 속에서 효소가 이용되는 사례를 설명할 수 있는가?	1	2	3	4	5

개념 정리하기

핵심 내용 정리하기

1 세포막을 통한 물질의 출입

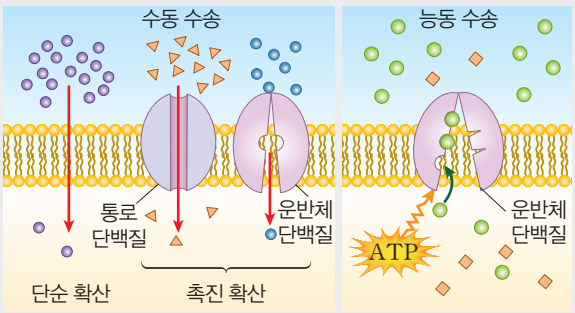
1. 세포막의 선택적 투과성: 세포막은 인지질 2중층과 막단백질로 이루어져 있어 세포막을 통한 물질 이동은 물질의 특성에 따라 선택적으로 이루어진다.

2. 세포막을 통한 물질의 이동

(1) 확산과 삼투

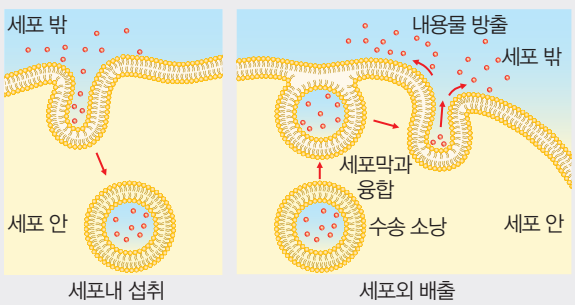
- ❶ (　　): 농도가 같아질 때까지 농도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 물질이 이동하는 현상으로, 농도 차가 클수록 확산 속도가 빠르다.
- 단순 확산: 크기가 작은 분자나 소수성 물질은 세포막의 인지질 2중층을 직접 통과한다. ㉠ 산소, 이산화 탄소
- ❷ (　　): 반투과성 막을 경계로 용매의 농도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 용매가 이동하는 현상이다.

(2) 막단백질을 통한 물질의 이동



- 촉진 확산: 크기가 크거나 친수성인 물질은 통로 단백질과 운반체 단백질의 도움을 받아 세포막을 통과한다. ㉠ 포도당, 아미노산, 이온
- ❸ (　　): 세포막에 존재하는 특정한 운반체 단백질이 농도가 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 물질을 이동시킨다.

(3) 세포내 섭취와 세포외 배출



- 세포내 섭취: 세포막을 통과하기에 큰 물질은 세포막으로 감싸 소낭으로 만들어 세포 안으로 끌어들인다.
- 세포외 배출: 세포 내의 소낭이 세포막과 융합하면서 세포에서 합성한 호르몬 등을 세포 밖으로 분비한다.

2 효소

1. 효소의 특성

- 효소는 ❹ (　　)를 낮추어 화학 반응이 쉽게 일어나도록 촉진하고, 기질과 결합하는 활성 부위를 가진다.
- ❺ (　　): 효소는 활성 부위에 맞는 특정 기질과만 결합하여 효소·기질 복합체를 형성한다.
- 화학 반응 후 효소는 생성물로부터 분리되어 다른 기질과 결합하여 반응을 촉매한다.

2. 효소의 구성과 종류

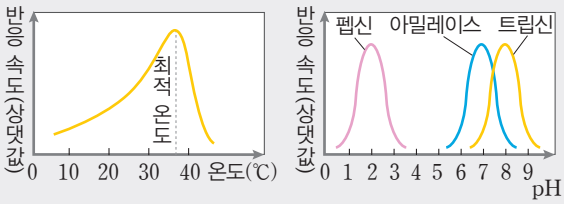
(1) 효소의 구성: 효소의 단백질 부분은 주효소라고 하고, 비단백질 부분은 보조 인자라고 한다.

(2) 효소의 종류: 효소는 작용하는 반응의 종류에 따라 가수분해 효소, 산화 환원 효소, 제거 부가 효소, 전이 효소, 연결 효소, 이성질화 효소로 분류할 수 있다.

3. 효소의 활성에 영향을 미치는 요인

(1) ❻ (　　): 최적 온도가 될 때까지는 온도가 높아질수록 반응 속도가 ❼ (　　)하지만, 최적 온도보다 높아지면 반응 속도가 감소한다.

(2) pH: 최적 pH에서 반응 속도가 가장 빠르고, 최적 pH를 벗어나면 반응 속도가 감소한다.



(3) 기질의 농도: 효소의 농도가 일정할 때 반응 속도는 기질 농도에 비례하여 증가하지만, 특정 기질 농도 이상에서는 일정해진다.

4. 생활 속 효소의 이용: 효소는 식품, 의약품, 화장품, 각종 진단 및 측정 장치, 생명 공학 기술 등 다양한 분야에서 이용되고 있다.

정답 | ❶ 확산 ❷ 삼투 ❸ 능동 수송 ❹ 활성화 에너지 ❺ 기질 특이성 ❻ 온도 ❼ 증가

개념 확인하기

1 다음 설명에 해당하는 용어를 보기에서 찾아 쓰시오.

(1) 세포막을 통과해 용질의 농도가 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 용매가 이동하는 현상…… (　　)

(2) 세포막의 특정 운반체 단백질이 에너지를 소비하여 물질을 한 방향으로 이동시키는 현상 (　　)

(3) 물질이 인지질 2중층을 직접 통과하여 이동하는 현상…… (　　)

(4) 에너지를 소비하여 큰 분자를 세포막으로 감싸 세포 안으로 이동시키는 현상 …… (　　)

보기

ㄱ. 능동 수송　　ㄴ. 세포내 섭취

ㄷ. 단순 확산　　ㄹ. 삼투

2 화학 반응이 일어날 때 효소는 기질과 일시적으로 결합한다. 기질과 결합하는 효소의 특정 부분을 무엇이라고 하는가?

3 다음 글의 (　　) 안에 들어갈 알맞은 말을 쓰시오.

크기가 크거나 친수성 분자들은 세포막을 직접 통과하지 못하고 막단백질을 통해서 촉진 확산된다. 촉진 확산에 관여하는 막단백질은 특정 물질이 세포막을 통과하도록 통로 역할을 하는 (　　)과 특정 물질이 단백질과 결합하면 단백질의 구조가 변해 물질을 운반하는 (　　)이 있다.

4 다음 설명 중 옳은 것은 ○, 옳지 않은 것은 ×표를 하시오.

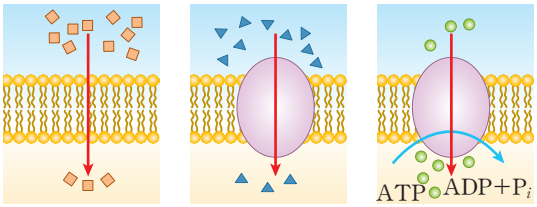
(1) 하나의 효소는 입체 구조가 맞는 특정 기질에만 작용한다. …… (　　)

(2) 한 번 반응에 참여한 효소는 다시 작용할 수 없다. …… (　　)

(3) 효소가 촉매하는 반응에서 반응 속도는 온도에 비례하여 계속 증가한다. …… (　　)

개념 응용하기

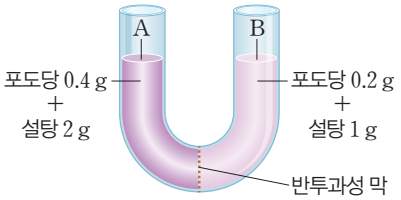
1 그림 (가)~(다)는 세포막을 통한 물질의 이동 방식을 나타낸 것이다. (가)~(다)는 각각 능동 수송, 촉진 확산, 단순 확산 중 하나이다.



(가)　(나)　(다)

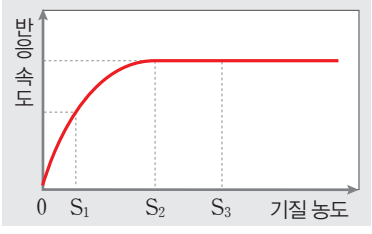
(가)~(다) 중 폐에서 산소와 이산화 탄소의 기체 교환 방식에 해당하는 것의 기호와 명칭을 쓰시오.

2 그림은 반투과성 막을 경계로 한 U자관의 A와 B에 포도당과 설탕의 양이 각각 다른 용액을 넣었을 때 일어나는 현상을 알아보는 실험 장치이다. 단, 반투과성 막은 설탕은 통과하지 못하고, 물과 포도당만 통과할 수 있다.



시간이 지나면서 A와 B의 물 높이는 어떻게 변하는지 서술하시오.

3 그림은 효소 농도가 일정할 때, 기질 농도에 따른 효소의 반응 속도를 나타낸 것이다.



반응 속도가 일정해진 S_3의 농도에서 반응 속도를 증가시키려면 어떻게 해야 하는지 서술하시오.

단원 마무리

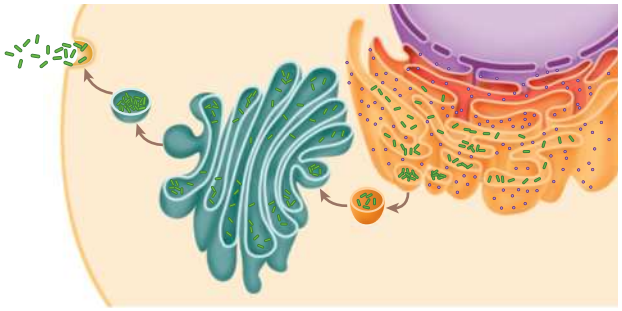
핵심 바로 알기

단백질의 합성과 분비
리보솜에서 합성된 단백질은 소포체로 들어가 변형되어 소포체 막에서 분비된 수송 소낭에 싸여 세포 안의 다른 부위로 운반되거나 골지체를 거쳐 세포 밖으로 분비된다.

삼투
반투과성 막을 경계로 농도가 다른 두 용액이 있을 때 저농도에서 고농도 쪽으로 물과 같은 용매가 이동하는 현상을 삼투라고 한다.

효소의 작용
효소는 활성화 에너지를 낮추어 반응이 쉽게 일어나게 하는 생체 촉매이다. 효소의 주성분은 단백질로 되어 있어 pH에 따라 효소의 입체 구조가 변한다.

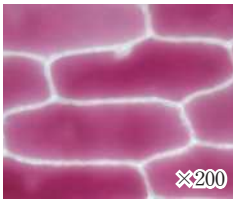
1 그림은 단백질이 합성되어 분비되는 과정을 나타낸 것이다.



(1) 합성된 단백질의 아미노산 서열 정보는 어디에 저장되어 있는지 쓰시오.

(2) 단백질 합성과 분비에 관여하는 세포 소기관에는 무엇이 있고, 각각의 기능은 무엇인지 서술하시오.

2 다음은 식물 세포와 동물 세포를 저장액에 넣었을 때의 모습을 나타낸 것이다.



〈식물 세포〉

〈동물 세포〉

식물 세포와 동물 세포를 저장액에 넣었을 때 공통으로 일어나는 변화를 서술하고, 동물 세포와 달리 식물 세포가 터지지 않는 까닭을 서술하시오.

3 다음은 효소의 작용을 설명한 자료이다.

> 효소의 활성 부위는 독특한 구조로 되어 있어 특정한 종류의 기질에만 결합한다. 만약 어떤 원인으로 효소의 활성 부위가 변형되면 기질과 잘 결합하지 못해 반응 속도가 감소한다.
>
> 효소는 일정 범위 안에서는 온도가 높아질수록 활성이 증가하지만 최적 온도를 넘어서는 고온에서는 활성이 급격하게 떨어진다. 또한 효소는 종류에 따라 최적 pH가 다르다. 효소는 최적 pH 범위를 벗어나면 활성이 급격히 떨어진다.

효소의 활성이 최적 온도와 최적 pH를 벗어나면 급격히 감소하는 까닭을 서술하시오.

4 다음은 리포솜과 관련된 내용이다.

> 약물이나 영양소를 리포솜에 담아 투여하면 더 효과적으로 필요한 세포에 공급할 수 있다. 리포솜에 담긴 약물이나 영양소가 효과적으로 전달되는 까닭은 첫째, 혈중 효소의 작용으로 약물이나 영양소가 파괴되는 것을 리포솜이 막아 주기 때문이다. 둘째, 세포 안으로 들어가기 어려운 물질을 리포솜이 세포 안으로 끌고 들어가기 때문이다. 셋째, 특정 리포솜은 특정 세포와만 결합하므로 원하는 세포에 약물이나 영양소를 넣어 줄 수 있기 때문이다. 예를 들어 기존의 항암제는 정상 세포에도 작용하므로 부작용이 심해 항암제의 투여량을 제한할 수밖에 없었다. 하지만 암세포만을 인지하는 물질을 결합시킨 리포솜에 든 항암제는 암세포에만 선택적으로 작용하므로 선택적인 치료가 가능해진다.

(1) 리포솜에 담긴 약물이나 영양소가 효율적으로 흡수되는 까닭을 요약하시오.

(2) 기존의 항암제가 암세포뿐만 아니라 정상 세포에도 작용하는 까닭을 서술하시오.

(3) 항암제를 담은 리포솜이 암세포에 결합하였을 때 항암제는 어떻게 암세포에 전달되는지 서술하시오.

핵심 바로 알기

리포솜
리포솜의 막은 세포막과 유사하며, 리포솜을 이용하여 세포로 공급할 수 있는 물질은 영양소, 약물, 항원, 항체, 각종 미용 성분에 이르기까지 매우 다양하다.

✱ 성취 정도를 ✓ 표시해 보자

1	세포 소기관의 기능을 말할 수 있다.	1 | 2 | 3 | 4 | 5
2	세포막을 통한 물질의 이동 방식을 설명할 수 있다.	1 | 2 | 3 | 4 | 5
3	리포솜의 특성과 활용 방안 조사 및 토론 시 발표 내용을 경청하였다.	1 | 2 | 3 | 4 | 5
4	효소의 활성에 영향을 미치는 요인을 말할 수 있다.	1 | 2 | 3 | 4 | 5
5	생활 속 효소 이용 사례 조사 활동에 적극적으로 참여하였다.	1 | 2 | 3 | 4 | 5

■ 이 단원과 연계된 학습 과정

통합과학

- 생명체 주요 구성 물질
- 물질대사
- 산화와 환원

생명 과학 Ⅰ

- 물질대사
- ATP
- 세포 호흡

생명 과학 Ⅱ

Ⅲ. 세포 호흡과 광합성

III

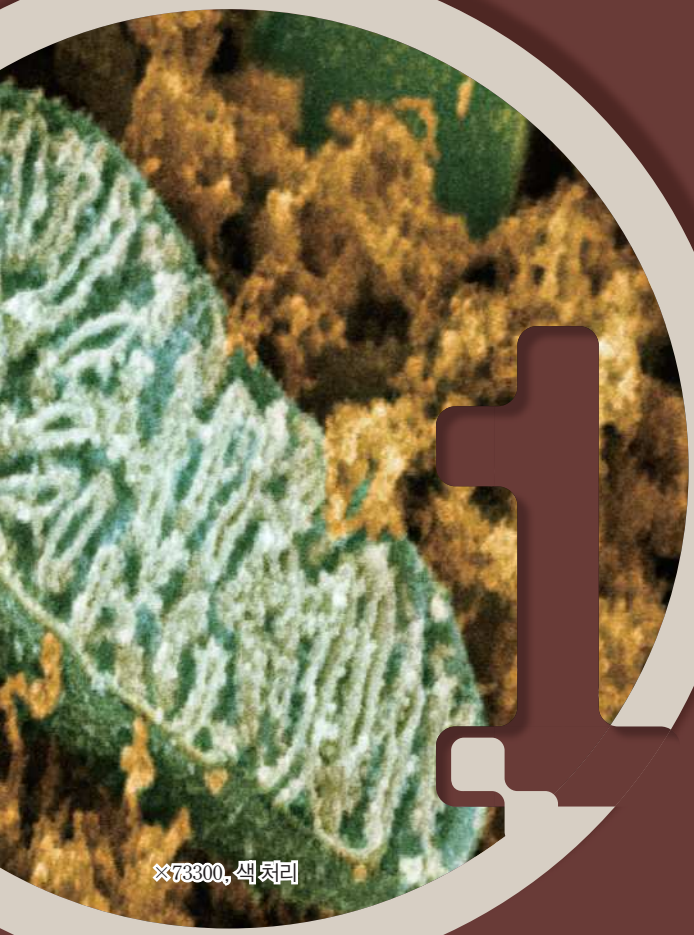
세포 호흡과 광합성

세포가 생명 활동을 하려면 유기물을 분해하여 에너지를 얻어야 한다. 세포가 유기물로부터 에너지를 얻는 과정과 세포의 주요 에너지원인 포도당이 합성되는 과정을 알아보자.

1. 세포 호흡과 발효
2. 광합성

■ 이 단원의 주요 핵심 역량

과학적 사고력	세포 호흡과 광합성 과정을 비교하여 공통점과 차이점 설명하기
과학적 탐구 능력	잎의 색소를 분리하는 실험으로 광합성 색소의 종류 알아보기
과학적 문제 해결력	발효가 일어나는 조건과 의의 토의하기
과학적 의사소통 능력	광합성과 관련된 과학사 조사하여 발표하기
과학적 참여와 평생 학습 능력	실생활에서 발효가 이용되는 사례 조사하여 발표하기



×73300, 색 처리

세포 호흡과 발효

01. 물질대사와 세포 소기관
02. 세포 호흡
03. 발효

이 단원의 학습 목표

미토콘드리아와 엽록체의 구조 및 기능을 세포 호흡, 광합성과 연결해 설명할 수 있다. 세포 호흡 과정을 단계별로 이해하고, 미토콘드리아에서 ATP 생성 과정을 설명할 수 있다. 또한 발효 과정을 이해하고, 산소 호흡과의 차이점을 발표할 수 있다.

자기 점검 – 알고 있는 용어에 표시해 보자.

물질대사 ☐	ATP ☐	엽록체 ☐	미토콘드리아 ☐
세포 호흡 ☐	발효 ☐	산소 호흡 ☐	무산소 호흡 ☐

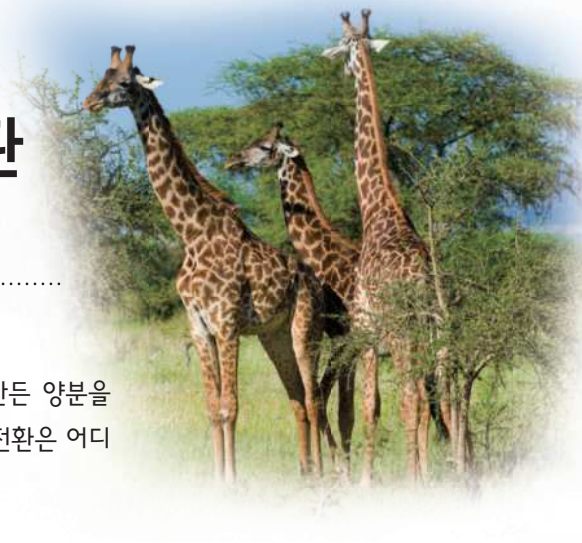
▶ 표시하지 못한 용어는 생명 과학 Ⅰ 교과서 '사람의 물질대사' 단원에서 확인해 보자.

학습 계획 세우기 – 학습 목표를 달성하기 위해 어떤 준비를 할 수 있을지 써 보자.

예 생명 과학 Ⅰ 교과서에서 물질대사 내용을 찾아본다.

01 물질대사와 세포 소기관

- 미토콘드리아와 엽록체의 전자 현미경적 구조와 기능을 설명할 수 있다.
- 미토콘드리아와 엽록체의 공통점과 차이점을 설명할 수 있다.



식물은 빛에너지를 포도당과 같은 화학 에너지로 전환하고, 동물은 식물이 만든 양분을 섭취하여 생명 활동에 필요한 에너지를 얻는다. 식물과 동물에서 이러한 에너지 전환은 어디에서 일어날까?

1 물질대사와 에너지

세포에서는 생명 유지를 위한 다양한 화학 반응인 물질대사가 일어난다. 물질대사에는 항상 에너지 출입이 함께 일어나는데 크고 복잡한 분자를 작고 단순한 분자로 분해하는 과정에서는 에너지가 방출되고, 작고 단순한 분자를 크고 복잡한 분자로 합성하는 과정에서는 에너지가 흡수된다.

생물은 생명 활동에 필요한 에너지를 탄수화물, 지방, 단백질과 같은 유기물을 분해하여 얻는데, 이 과정을 세포 호흡이라고 한다. 유기물은 식물과 같은 광합성 생물이 빛에너지를 이용하여 무기물로부터 합성하는데, 이 과정을 광합성이라고 한다. 세포 호흡과 광합성은 세포에서 에너지 전환이 일어나는 대표적인 물질대사이다.

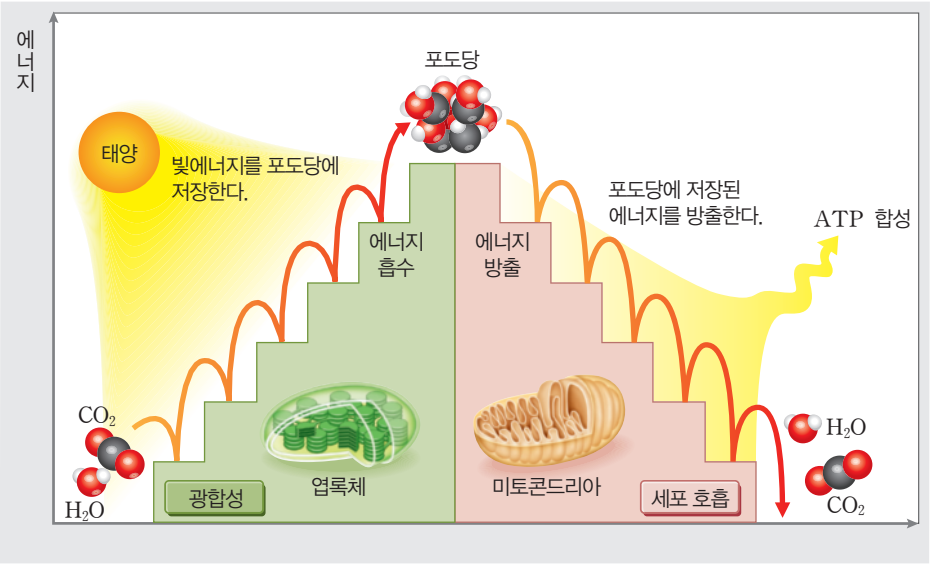


그림 Ⅲ-1 광합성과 세포 호흡에서 에너지 전환

2 세포 호흡과 광합성의 장소

세포 호흡은 세포질과 미토콘드리아에서 일어나고, 광합성은 식물의 엽록체에서 일어난다. 두 세포 소기관의 특성을 알아보자.

미토콘드리아 | 미토콘드리아는 유기물에 저장된 화학 에너지를 생명 활동에 사용되는 에너지 형태인 ATP로 전환하는 세포 소기관이다. 미토콘드리아는 크기가 0.2 μm ~ 3 μm 정도로, 물질대사가 활발히 일어나는 세포일수록 많이 들어 있다. 예를 들어 근육 세포와 같이 수축이나 운동을 하는 세포는 단위 부피당 미토콘드리아의 수가 다른 세포보다 많다.

미토콘드리아는 |그림 Ⅲ-2|와 같이 두 겹의 인지질 2중층 막으로 둘러싸여 외막과 내막 사이에 좁은 공간이 형성된다. 내막에는 전자 전달 효소, ATP 합성 효소와 같이 ATP를 합성하는 데 필요한 여러 가지 막단백질이 분포한다. 내막은 안쪽으로 주름져 있는 크리스타 구조를 나타내며, 이 구조는 막단백질이 분포하는 내막의 표면적을 넓혀 에너지 생산성을 높여 준다. 내막 안쪽 공간은 기질이라고 하며, 기질에는 유기물 분해에 관여하는 여러 효소와 미토콘드리아 DNA, 리보솜이 들어 있다.

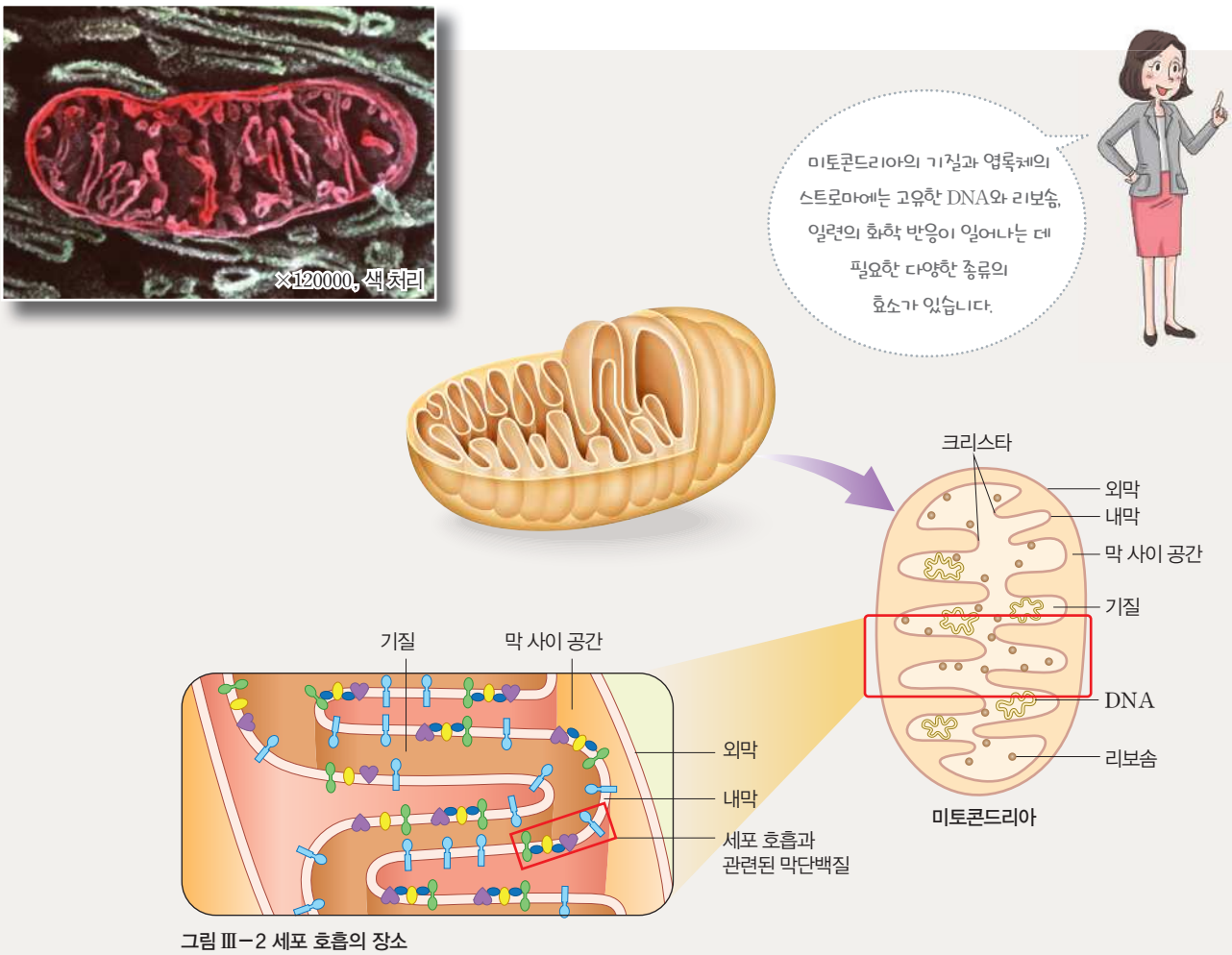


그림 Ⅲ-2 세포 호흡의 장소

| 엽록체 | 엽록체는 빛에너지를 이용해 이산화 탄소와 물을 포도당으로 합성하는 세포 소기관이다. 엽록체는 크기가 약 3 μm ~ 6 μm로, 식물이나 조류 등에 분포한다.

엽록체도 미토콘드리아와 같이 두 겹의 인지질 2중층 막으로 둘러싸여 있다. |그림 Ⅲ-3|과 같이 내부에는 평평하고 서로 연결된 주머니 모양의 구조인 틸라코이드가 있으며, 틸라코이드가 마치 동전을 쌓아 놓은 것처럼 겹겹이 쌓인 구조를 그라나라고 한다. 그라나의 틸라코이드 막에는 엽록소를 포함한 광합성 색소 복합체, 전자 전달 효소, ATP 합성 효소가 분포하며, 이들은 빛에너지를 화학 에너지로 전환하는 역할을 한다. 그라나 바깥 부분은 스트로마라고 하며, 스트로마에는 이산화 탄소로부터 포도당을 합성하는 데 관여하는 여러 효소와 엽록체 DNA, 리보솜이 들어 있다.

자기 평가하기

✸성취 정도를 ✓표시해 보자

1 미토콘드리아 내막과 엽록체 틸라코이드 막의 공통점과 차이점을 설명할 수 있는가? 1 | 2 | 3 | 4 | 5

2 미토콘드리아 기질과 엽록체 스트로마의 공통점과 차이점을 설명할 수 있는가? 1 | 2 | 3 | 4 | 5

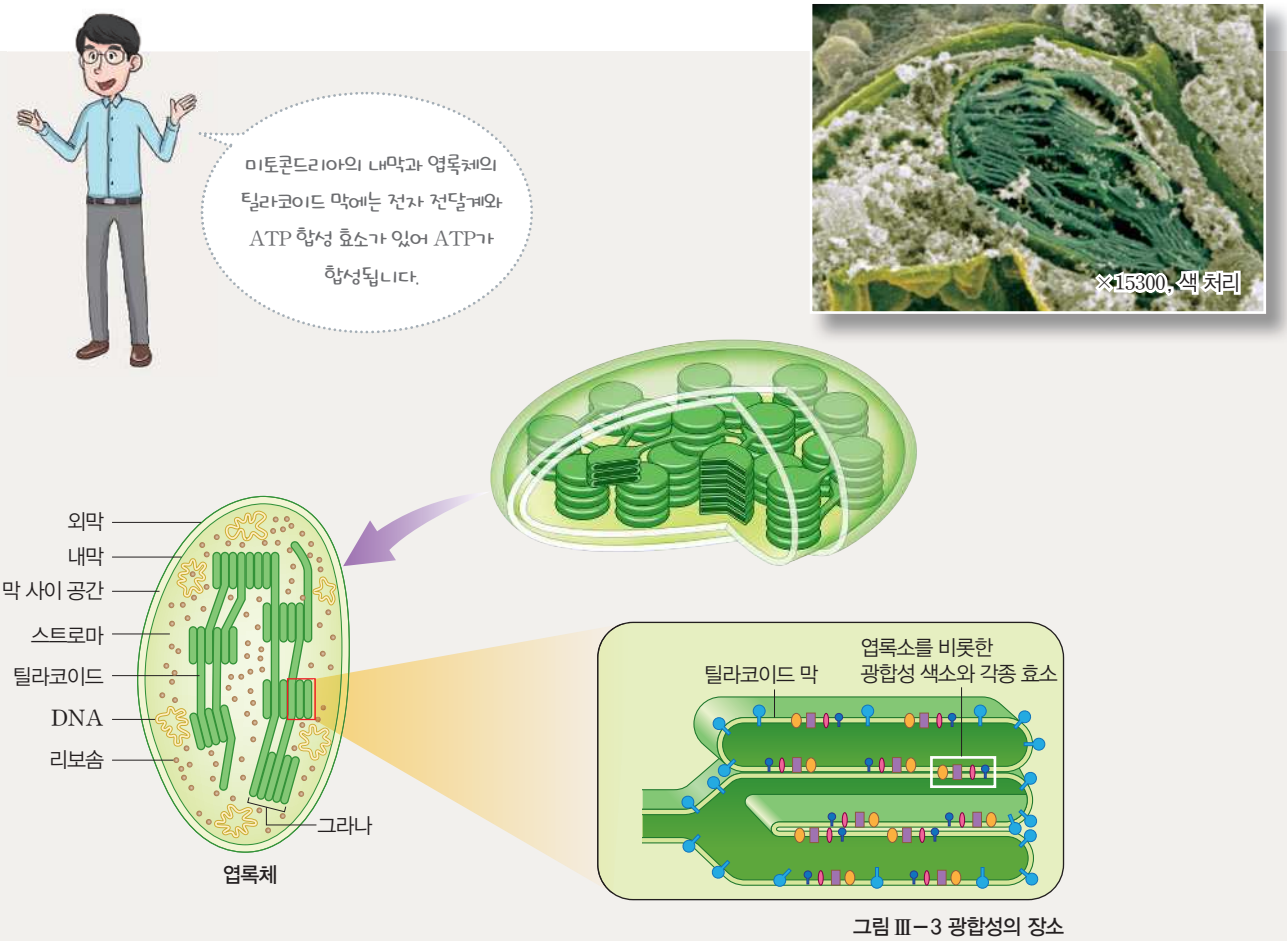


그림 Ⅲ-3 광합성의 장소

02 세포 호흡

- 세포 호흡 과정을 단계별로 설명할 수 있다.
- 산화적 인산화 과정을 화학 삼투로 설명할 수 있다.

마라톤 선수는 장거리를 달리는 동안 속도를 조절하면서 체력을 유지한다. 이때 근육에 필요한 에너지는 어떤 과정을 거쳐 생산되어 지속해서 공급될 수 있을까?

1 세포 호흡의 전체 과정

세포 호흡은 유기물을 산화시켜 에너지를 방출하는 과정이다. 탄수화물, 지방, 단백질과 같이 세포 호흡의 재료가 되는 유기물을 호흡 기질이라고 하며, 포도당이 주로 이용된다. 포도당이 완전히 산화되면 이산화 탄소와 물이 생기고 ATP가 합성된다.

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{에너지}$$

세포 호흡은 |그림 Ⅲ−4|와 같이 해당 과정, 피루브산의 산화 및 TCA 회로, 산화적 인산화의 세 과정으로 진행된다. 해당 과정은 세포질에서 일어나며, 포도당이 2분자의 피루브산으로 분해되는 과정으로 소량의 ATP가 합성되고 고에너지 전자가 방출된다. 해당 과정에서 생성된 피루브산은 미토콘드리아 기질에서 아세틸 CoA로 산화된 후 TCA 회로를 거쳐 이산화 탄소로 완전히 분해되며, 이 과정에서 소량의 ATP가 합성되고 고에너지 전자가 방출된다. 해당 과정과 피루브산의 산화 및 TCA 회로에서 방출된 고에너지 전자를 이용하여 미토콘드리아 내막에 있는 여러 효소가 산화적 인산화를 거쳐 다량의 ATP를 합성한다.

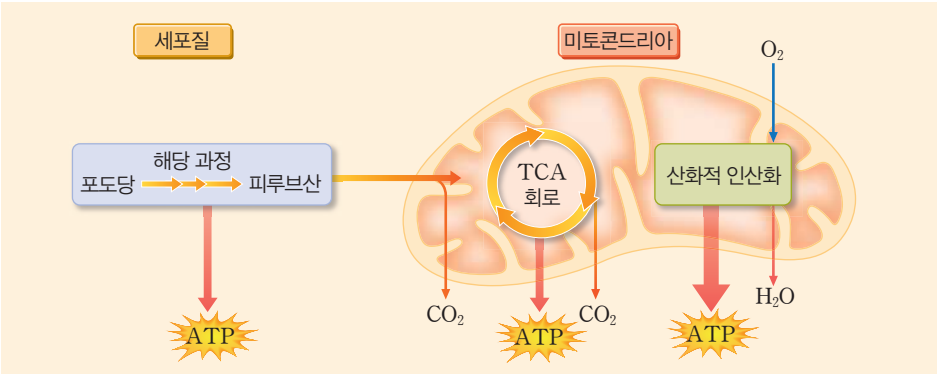


그림 Ⅲ−4 세포 호흡의 전체 과정

해당 과정에는 산소가 필요하지 않지만, 미토콘드리아에서 일어나는 피루브산의 산화 및 TCA 회로와 산화적 인산화 단계에서는 산소가 필요하다. 따라서 해당 과정 이후 산소가 있으면 피루브산의 산화 및 TCA 회로와 산화적 인산화가 진행되고, 산소가 없으면 세포 호흡이 중단되거나 발효가 일어난다.

2 해당 과정

세포질에서 6탄소 화합물인 포도당 1분자가 여러 단계의 화학 반응을 거쳐 3탄소 화합물인 피루브산 2분자로 분해되는 과정을 해당 과정이라고 한다.

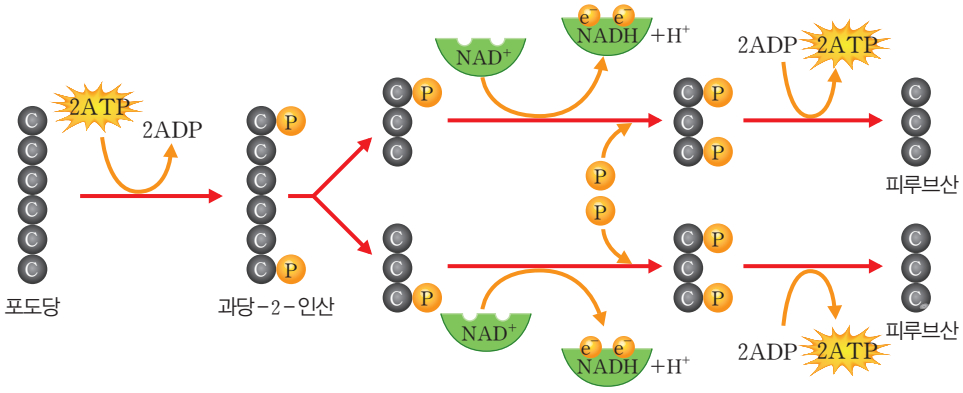


그림 Ⅲ-5 해당 과정

|그림 Ⅲ-5|와 같이 포도당 1분자가 분해될 때 해당 과정 앞부분에서 2분자의 ATP가 소비되고, 뒷부분에서 4분자의 ATP가 합성되어 결과적으로 2분자의 ATP가 합성된다. 이때 |그림 Ⅲ-6|과 같이 기질에 결합해 있던 인산기가 ADP로 전달되어 ATP가 합성되는데, 이와 같은 ATP 합성 과정을 기질 수준 인산화라고 한다.

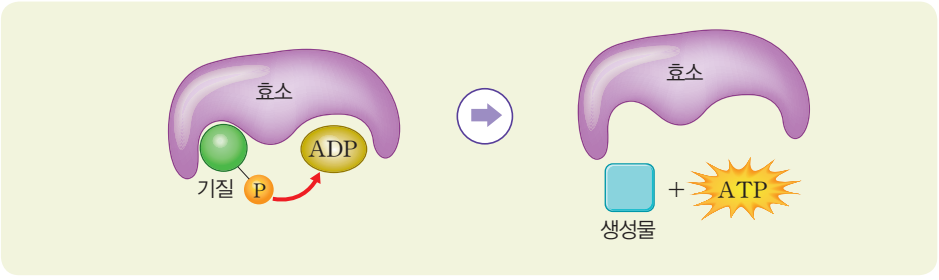


그림 Ⅲ-6 기질 수준 인산화

포도당이 해당 과정을 거쳐 분해되는 동안 탈수소 효소의 작용으로 H^+과 고에너지 전자가 기질로부터 떨어져 나온다. 이 과정에서 기질은 산화되고, H^+과 고에너지 전자는 NAD^+와 결합하여 2분자의 NADH가 형성된다. 최종적으로 해당 과정에서는 포도당 1분자당 2분자의 피루브산, 2분자의 ATP, 2분자의 NADH가 생성된다.

탈수소 효소
기질로부터 H^+과 고에너지 전자를 제거하여 기질을 산화시키는 효소이다.

NAD^+ (Nicotinamide Adenine Dinucleotide)
탈수소 효소의 조효소로서 탈수소 효소의 작용으로 NAD^+는 H^+과 전자를 받아 NADH와 H^+으로 전환된다.

3 피루브산의 산화와 TCA 회로

산소가 있을 때, 해당 과정에서 생성된 피루브산은 미토콘드리아로 능동 수송되어 들어간다. |그림 Ⅲ-7|과 같이 미토콘드리아의 기질에서 피루브산은 효소의 작용으로 CO_2, H^+과 전자를 잃고, 조효소A(Coenzyme A, CoA)와 결합하여 2탄소 화합물인 아세틸 CoA가 된다. 피루브산으로부터 방출된 H^+과 전자는 NAD^+에 전달되어 NADH가 생성된다.

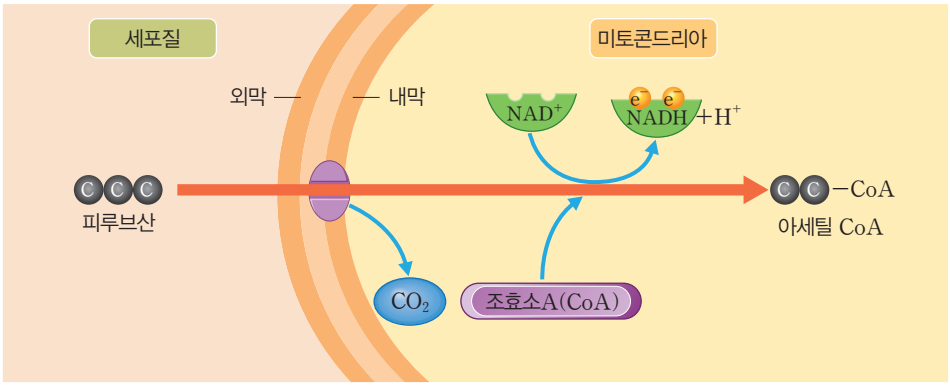
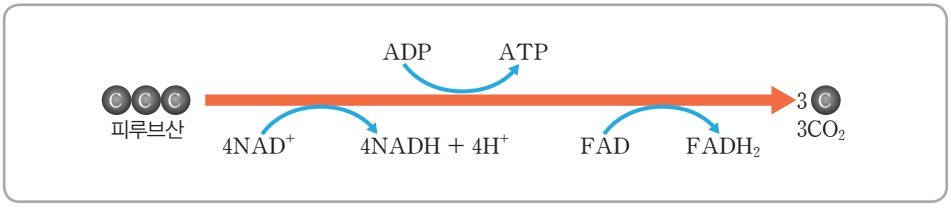


그림 Ⅲ-7 피루브산의 산화

아세틸 CoA는 미토콘드리아 기질에 있는 여러 가지 효소의 작용으로 CO_2와 물로 단계적으로 분해되는데, 이 과정을 TCA 회로라고 한다. |그림 Ⅲ-8|과 같이 TCA 회로는 아세틸 CoA가 4탄소 화합물인 옥살아세트산과 결합하여 6탄소 화합물인 시트르산을 형성하는 것으로부터 시작된다. 시트르산은 일련의 화학 반응을 거치면서 2분자의 CO_2를 방출하고 다시 옥살아세트산으로 전환된다. 이 과정에서 아세틸 CoA의 H^+과 고에너지 전자가 NAD^+와 FAD에 전달되어 NADH와 $FADH_2$가 생성되고, 기질 수준 인산화로 ATP가 합성된다. 재생된 옥살아세트산이 또 다른 아세틸 CoA와 결합하여 시트르산을 형성하면서 TCA 회로가 반복된다. 최종적으로 아세틸 CoA 1분자가 TCA 회로를 거쳐 완전히 산화되면 2분자의 CO_2, 3분자의 NADH, 1분자의 $FADH_2$, 1분자의 ATP가 합성된다.

해당 과정과 피루브산의 산화 및 TCA 회로를 거쳐 생성된 NADH와 $FADH_2$는 미토콘드리아 내막에 있는 전자 전달 효소 복합체에서 산화되면서 ADP를 ATP로 인산화할 때 필요한 에너지를 제공한다.



TCA 회로 (Tricarboxylic acid cycle)
TCA 회로는 최초로 합성된 시트르산이 3개의 카복실기(-COOH)를 갖기 때문에 붙여진 이름으로 시트르산 회로라고도 불리며, 이 회로를 발견한 과학자 크레브스의 이름을 따서 크레브스 회로라고도 한다.

크레브스(Krebs, Sir H. A., 1900~1981) | 독일 태생의 영국 생화학자. 크레브스 회로를 규명하여 노벨 생리 · 의학상 수상(1953)

FAD (Flavin Adenine Dinucleotide)
FAD는 NAD^+와 같은 탈수소효소의 조효소로 H^+과 전자를 받아 $FADH_2$가 된다.

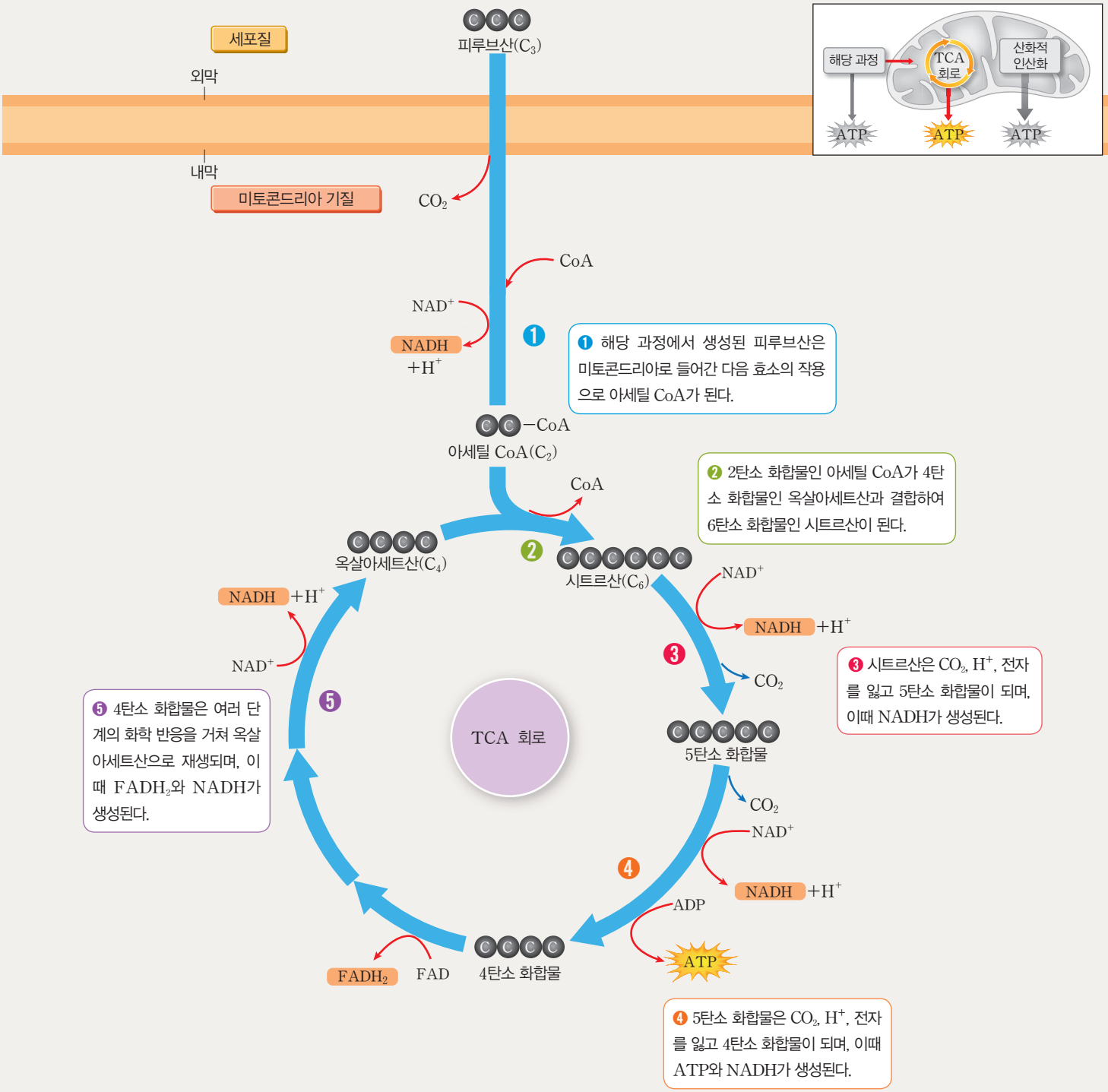


그림 Ⅲ-8 피루브산의 산화와 TCA 회로

? 포도당 1분자가 해당 과정과 피루브산의 산화 및 TCA 회로를 거치면 NADH, $FADH_2$, ATP가 각각 몇 분자 합성되는가?

4 산화적 인산화

해당 과정과 피루브산의 산화 및 TCA 회로에서 생성된 NADH와 $FADH_2$는 미토콘드리아 내막에 있는 전자 전달계에 고에너지 전자를 전달한다. 전자 전달계는 전자 전달 효소 복합체와 이들 사이에서 전자를 운반하는 전자 운반체로 이루어져 있다. NADH와 $FADH_2$가 전달한 고에너지 전자는 전자 전달 효소 복합체와 전자 운반체의 산화 환원 반응으로 전자 전달계를 거치며, 최종적으로 산소로 전달되어 물 분자가 생성된다. 이 과정에서 고에너지 전자가 가지고 있던 에너지가 단계적으로 방출된다.

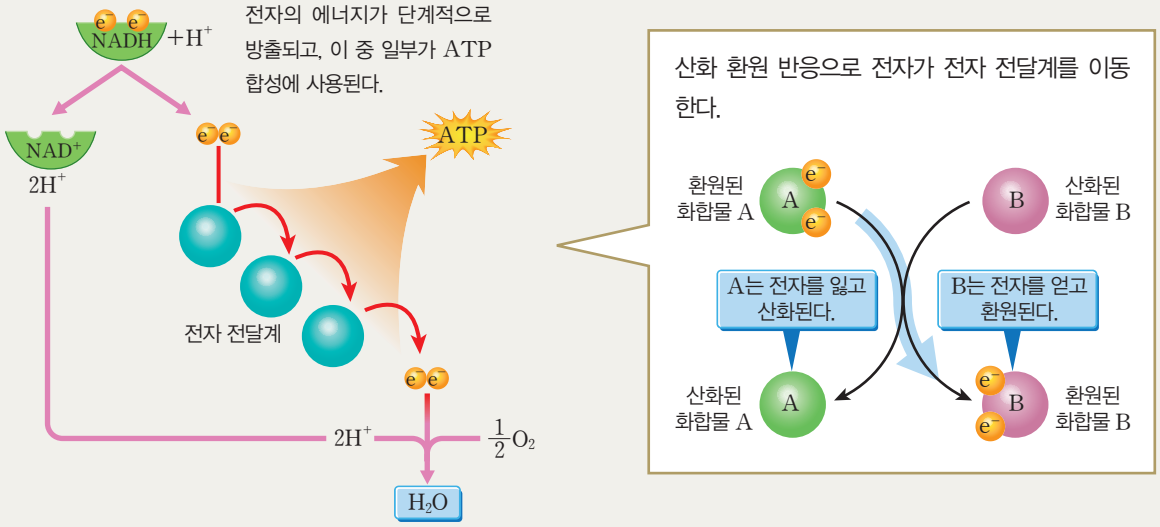


그림 Ⅲ−9 전자 전달 과정에서 에너지 수준의 변화

전자 전달 과정에서 직접 ATP가 합성되는 것은 아니다. 그렇다면 고에너지 전자가 전자 전달계를 따라 이동하면서 방출된 에너지로부터 어떻게 ATP가 합성될까? |그림 Ⅲ−10|과 같이 전자 전달계에서 고에너지 전자가 이동할 때 전자 전달 효소 복합체는 미토콘드리아 기질에서 막 사이 공간으로 H^+을 능동 수송한다. 그 결과 미토콘드리아의 막 사이 공간은 H^+ 농도가 증가하고, 기질은 H^+ 농도가 감소한다. H^+은 ATP 합성 효소를 통해서 다시 미토콘드리아 기질로 들어오는데, 이때 ATP가 합성된다. 이처럼 ATP 합성에 필요한 에너지를 H^+ 농도 기울기 형태로 저장하여 미토콘드리아 내막을 경계로 H^+이 이동하는 과정을 화학 삼투라고 하며, 전자 전달계와 화학 삼투를 거쳐 ATP가 합성되는 과정을 산화적 인산화라고 한다.

화학 삼투
영국의 생화학자 미첼(Mitchell, P. D., 1920~1992)이 제안한 것으로, 반투과성 막을 경계로 전기 화학적 기울기를 따라 이온이 이동하는 현상을 뜻한다.

? 전자가 전자 전달계를 이동하는 동안 미토콘드리아 기질과 막 사이 공간의 pH는 각각 어떻게 변할까?

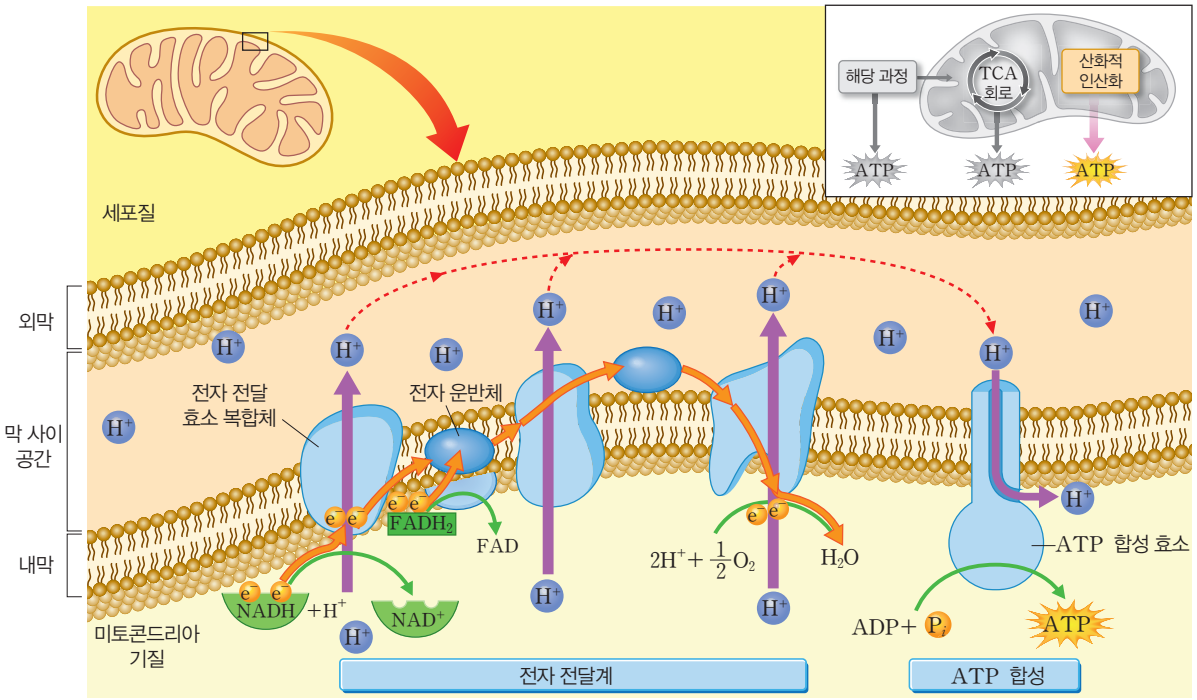


그림 Ⅲ-10 화학 삼투와 산화적 인산화 과정

포도당 1분자가 세포 호흡으로 분해될 때 ATP는 얼마나 합성될까? NADH 1분자당 2.5분자의 ATP가 합성되고, $FADH_2$ 1분자당 1.5분자의 ATP가 합성된다. 따라서 포도당 1분자가 해당 과정과 피루브산의 산화 및 TCA 회로를 거치면 10NADH, $2FADH_2$, 4ATP가 합성되므로 총 32분자의 ATP가 합성된다. 그러나 실제로는 NADH와 $FADH_2$가 수송한 H^+이 ATP 합성이 아닌 다른 곳에 사용되기도 하므로 세포의 환경이나 조건에 따라 실제 포도당 1분자당 ATP 합성량은 32ATP보다 적을 수 있다.

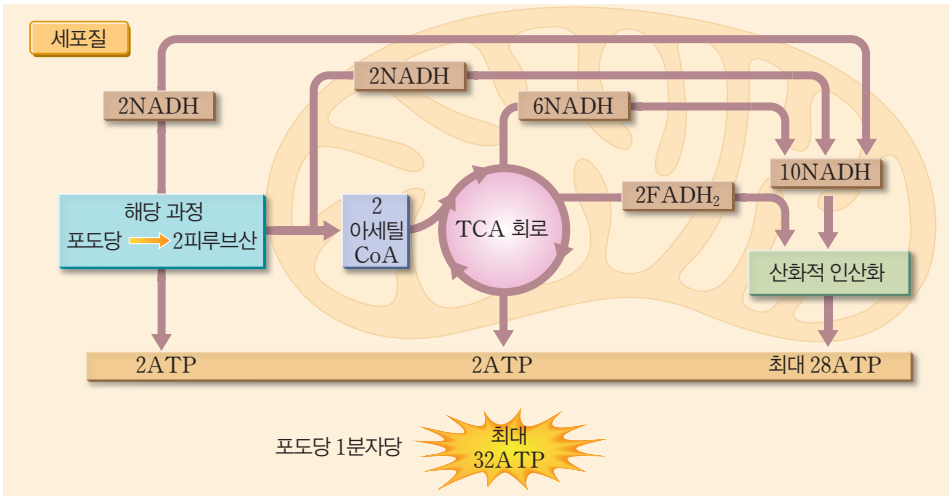


그림 Ⅲ-11 세포 호흡을 통한 ATP 합성

출처: Reece 외, 2012.

5 호흡 기질과 호흡률

호흡 기질
세포 호흡에 이용될 수 있는 유기물

세포는 포도당뿐만 아니라 다른 형태의 탄수화물과 단백질, 지방도 호흡 기질로 이용한다. |그림 Ⅲ−12|와 같이 다당류인 글리코젠과 녹말은 포도당으로 분해되어 세포 호흡에 이용된다. 단백질은 아미노산으로 분해된 후 아미노기($-NH_2$)가 제거되고 피루브산, 아세틸 CoA, TCA 회로의 중간 산물로 전환되어 TCA 회로로 들어가 산화된다. 지방은 지방산과 글리세롤로 분해된 후 글리세롤은 해당 과정의 중간 과정으로 들어가고, 지방산은 아세틸 CoA로 분해되어 TCA 회로로 들어가 산화된다.

호흡률

$$\text{호흡률} = \frac{\text{발생한 } CO_2\text{의 부피}}{\text{소비한 } O_2\text{의 부피}}$$

세포 호흡으로 호흡 기질이 산화될 때 산소가 소비되고 이산화 탄소가 발생하며, 세포 호흡 결과 소비된 산소의 부피에 대해 발생한 이산화 탄소의 부피 비인 호흡률은 호흡 기질의 종류에 따라 서로 다르게 나타난다. 예를 들어 지방과 탄수화물은 모두 C, H, O로 구성되어 있지만, 탄수화물이 세포 호흡으로 분해될 때보다 같은 양의 지방이 분해될 때 더 많은 산소가 소비된다.

호흡 기질 종류별 호흡률
호흡률을 측정하면 세포 호흡에 사용된 호흡 기질의 종류를 추정할 수 있다.

호흡 기질	호흡률
탄수화물	1
지방	0.7
단백질	0.8

출처: Das, 2005.

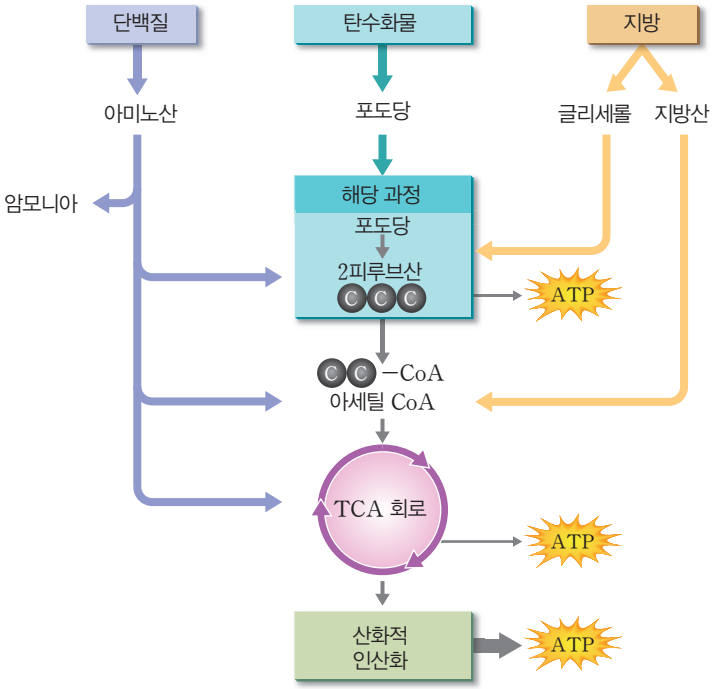


그림 Ⅲ−12 단백질, 탄수화물, 지방의 산화

자기 평가하기

✱ 성취 정도를 ✓ 표시해 보자

1 세포 호흡 과정을 단계별로 설명할 수 있는가? 1 2 3 4 5
2 산화적 인산화 과정을 화학 삼투로 설명할 수 있는가? 1 2 3 4 5

03 발효

- 발효의 특성을 산소 호흡과 비교하여 설명할 수 있다.
- 실생활 속에서 발효를 이용한 사례를 조사하여 발표할 수 있다.

요구르트를 먹으면 약간 시큼한 맛을 느낄 수 있는데 이는 젖산균이 우유 속 당분을 분해하여 생성한 젖산 때문이다. 젖산균은 산소가 없는 환경에서도 당을 분해할 수 있는데, 이 과정은 어떻게 일어나는 것일까?

1 산소 호흡과 발효

대부분의 생물은 산소를 이용하여 유기물을 물과 이산화 탄소로 완전히 분해하는 세포 호흡을 하는데, 이를 산소 호흡이라고 한다. 한편 일부 미생물은 산소가 없는 환경에서 전자 전달계를 사용하지 않고 유기물을 분해하여 ATP를 얻을 수 있는데, 이와 같은 에너지 생성 과정을 발효라고 한다. 발효에서는 포도당이 완전히 분해되지 않고 에너지를 다량 포함한 중간 산물이 생성되므로 산소 호흡보다 발생하는 에너지 양이 적다. 발효는 해당 과정에서 생성된 피루브산을 이용해 NAD^+를 계속 재생시켜 해당 과정에서 ATP 합성이 계속 일어나게 한다. 발효는 생성되는 최종 산물의 종류에 따라 알코올 발효와 젖산 발효 등으로 구분할 수 있다.

부패
호흡 기질의 분해 결과 생긴 물질이 인간에게 해를 끼치면 부패라고 한다.

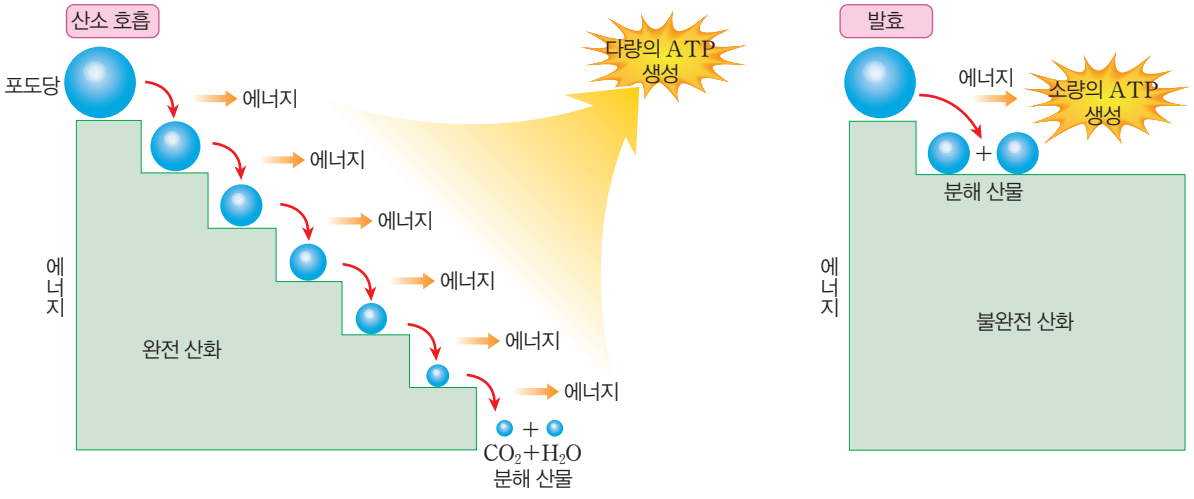


그림 Ⅲ-13 산소 호흡과 발효의 비교

2 알코올 발효

효모는 산소가 있으면 산소 호흡으로 에너지를 얻지만, 산소가 없으면 알코올 발효로 에너지를 얻는다. 효모의 발효 실험으로 알코올 발효의 특성을 알아보자.

탐구 실험

효모의 알코올 발효 실험하기

• **목표**: 효모 발효 실험으로 알코올 발효의 생성물을 알아낼 수 있다.

준비물

건조 효모, 증류수, 10 % 포도당 용액, 40 % 또는 20 % 수산화 칼륨 수용액, 발효관, 눈금실린더, 비커, 스포이트, 유리 막대, 전자저울, 약포지, 약숟가락, 솜, 보호 장갑

주의 사항

- 두 발효관 모두 과정 2~4를 동시에 진행하며, 두 발효관의 반응 시간이 같도록 한다.
- 수산화 칼륨 수용액이 손에 닿지 않도록 주의한다.
- 유리 기구를 사용할 때는 깨지지 않도록 주의한다.

과정

1. 증류수 50 mL에 건조 효모 1 g을 넣고 저어 가면서 녹여 효모액을 만든다.
2. 발효관 A에는 효모액 15 mL와 증류수 20 mL, 발효관 B에는 효모액 15 mL와 10 % 포도당 용액 20 mL를 넣고, 두 발효관 모두 맹관부에 기포가 들어가지 않도록 세운 다음 입구를 솜으로 막는다.
3. 15분~20분 후 두 발효관의 맹관부에 발생한 기체의 부피를 기록하고, 솜을 뺀 다음 각각 어떤 냄새가 나는지 기록한다.
4. 각 발효관의 용액을 스포이트로 일부 뽑아내고, 묽은 수산화 칼륨 수용액을 15 mL 정도 넣어 준다. 발효관을 살짝 기울여 묽은 수산화 칼륨 수용액과의 접촉면을 넓혀 준 후 맹관부에서 일어나는 변화를 관찰한다.

결과 및 정리

❶ 두 발효관의 맹관부에 모인 기체의 부피는 각각 얼마인가?
❷ 두 발효관에서 각각 어떤 냄새가 나는지 비교해 보자.
❸ 묽은 수산화 칼륨 수용액을 넣었을 때 두 발효관에서 어떤 변화가 일어나는가?
❹ 맹관부에 모인 기체와 그 밖에 생성된 물질은 무엇인가?

효모는 알코올 발효로 에탄올과 이산화 탄소를 생성한다. |그림 Ⅲ−14|와 같이 먼저 해당 과정에서 포도당이 피루브산으로 분해되고 ATP와 NADH가 각각 2분자씩 생성된다. 이후 피루브산은 이산화 탄소를 잃고 아세트알데하이드가 되며 해당 과정에서 생성된 NADH로부터 전자와 H^+을 받아 에탄올(C_2H_5OH)이 된다. 아세트알데하이드가 에탄올로 환원될 때 NAD^+가 재생되고, 해당 과정에서 포도당을 산화하는 데 다시 이용된다. 최종적으로 알코올 발효 결과 포도당은 에탄올과 이산화 탄소로 분해되고 2분자의 ATP가 합성된다.

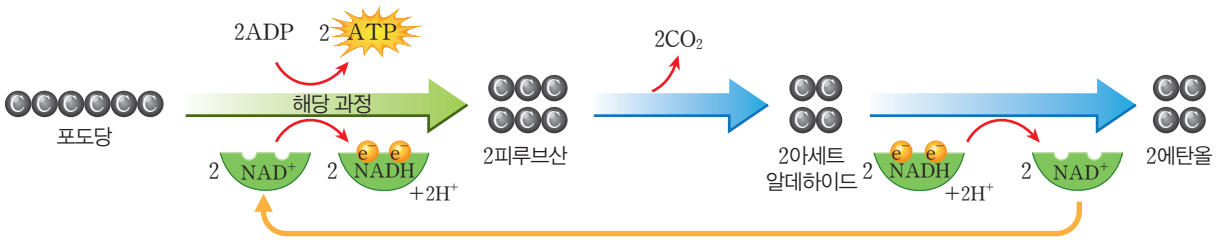


그림 Ⅲ−14 알코올 발효

3 젖산 발효

젖산균은 산소가 없는 환경에서 포도당을 분해하여 젖산을 생성하는 발효를 한다. 젖산 발효에서는 |그림 Ⅲ−15|와 같이 해당 과정에서 생성된 피루브산이 NADH로부터 전자와 H^+을 받아 젖산으로 환원된다. 알코올 발효와 마찬가지로 젖산 발효에서 생성되는 ATP는 해당 과정에서 합성된 것이다. 그러나 알코올 발효와 달리 젖산 발효에서는 이산화 탄소가 발생하지 않는다. 최종적으로 젖산 발효 결과 포도당은 젖산으로 분해되고, 2분자의 ATP가 합성된다.

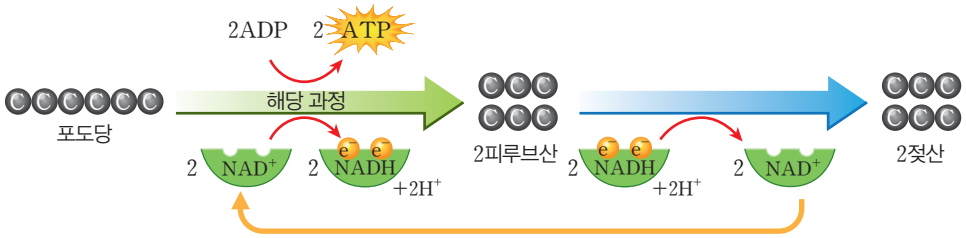


그림 Ⅲ−15 젖산 발효

젖산 발효는 사람의 근육 세포에서도 일어난다. 과격한 운동을 할 때는 혈액으로부터 근육 세포로 공급되는 산소의 양이 부족하므로 근육 세포에서 젖산 발효가 일어나 운동에 필요한 ATP를 공급한다. 근육 세포에서 생성된 젖산은 혈액을 따라 간으로 운반된 후 피루브산으로 전환된다.

창의력 키우기 발효에서 얻는 에너지는 모두 해당 과정으로부터 얻을 수 있는데, 피루브산에서 에탄올이나 젖산을 생성하는 반응이 필요한 까닭은 무엇인지 생각해 보자.

4 실생활에서 발효의 이용

인류는 먼 옛날부터 이미 미생물을 이용한 발효를 실생활에 이용해 왔다. 생명 과학자들은 발효 식품을 대량 생산하기 위해 다양한 발효 생물과 기술을 개발하고 있다. 실생활 속에서 발효를 이용한 사례를 조사해 보자.

탐구 조사 발표

실생활 속 발효 이용 사례 조사하기

• 탐구: 실생활 속에서 발효를 이용한 다양한 사례를 조사 · 발표할 수 있다.

다음은 발효를 이용한 사례 일부이다.

- 숙성된 김치에서 신맛이 나는 것은 젖산 발효가 일어난 결과이다.
- 효모를 비롯한 몇몇 곰팡이와 세균은 알코올 발효로 에탄올을 발생시키기 때문에 막걸리, 포도주와 같은 술을 만드는 데 이용된다.

정리 위 사례와 같이 발효가 실생활에 이용되는 또 다른 예는 무엇이 있는지 다음 사항을 포함하여 조사하고, 발표해 보자.

- 발효에 이용되는 생물의 종류와 특성
- 조사한 사례가 인간의 건강이나 산업 등에 미치는 영향

자기 평가하기

✱성취 정도를 ✓표시해 보자

1 발효의 특성을 산소 호흡과 비교하여 설명할 수 있는가? 1 2 3 4 5

2 실생활 속에서 발효를 이용한 사례를 조사하여 발표할 수 있는가? 1 2 3 4 5

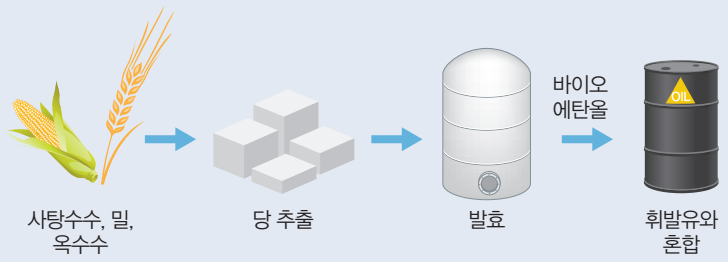
읽고 생각하기

알코올 발효로 생산되는 바이오 에탄올

화석 연료의 고갈과 가격 상승에 따라 신재생 에너지인 바이오 에탄올에 관한 관심이 증가하고 있다. 바이오 에탄올의 장점은 이산화 탄소 배출량이 적고, 사탕수수, 옥수수, 감자, 고구마, 보리, 밀 등과 같이 주변에서 흔히 볼 수 있는 작물로부터 쉽게 얻을 수 있다는 것이다.

바이오 에탄올은 효모를 이용하여 맥주나 포도주를 만드는 알코올 발효 원리를 이용하여 생산된다. 알코올 발효가 일어날 수 있는 작물은 모두 바이오 에탄올을 만드는 데 이용될 수 있다. 바이오 에탄올을 생산할 때는 경제적이고 효율적으로 에탄올을 생산하는 식물을 선택한다. 미국에서는 옥수수, 브라질에서는 사탕수수가 주로 이용된다. 바이오 에탄올을 얻으려면 먼저 거대한 발효기에 옥수수나 사탕수수를 갈아 넣고 물과 섞은 후 여러 효소를 첨가하여 녹말을 포도당으로 분해한다. 그 후 효모를 넣고 발효시켜 이산화 탄소와 에탄올을 얻는다. 이 과정까지는 맥주를 만드는 과정과 같다. 에탄올이 충분히 생성되면 발효액을 증류시켜 에탄올의 농도를 95 %까지 높인다. 남아 있는 수분을 모두 제거하면 순수한 에탄올이 생성되며, 이것은 휘발유와 섞어 바로 연료로 사용할 수 있다. 실제로 브라질에서는 전체 차량의 70 % 정도가 사탕수수로부터 얻은 바이오 에탄올을 연료로 사용하고 있다. 바이오 에탄올 생산 과정에서 나오는 옥수수 반죽 찌꺼기 등의 부산물은 동물 사료로 이용되기도 한다.

이렇게 바이오 에탄올이 신재생 에너지로 주목받으면서 대량으로 생산하는 기술도 발달하고 있다. 동시에 바이오 에탄올을 걱정하는 목소리도 있다. 일부 국가에서는 바이오 에탄올 생산에 이용되는 식물을 재배하는 대규모 농장을 만들려고 열대 우림을 파괴하기도 한다. 바이오 에탄올 생산 과정에서 막대한 양의 에너지가 이용되고 온실 기체인 이산화 탄소가 대량으로 발생할 수 있다. 또한 식량난을 겪는 여러 국가가 존재하는 상황에서 식량 자원을 연료로 사용하는 것이 바람직하지 않다는 비난도 있다. 현재는 식물의 목질 성분인 셀룰로스를 발효시켜 에탄올을 만드는 기술이 개발되고 있다.



▲ 바이오 에탄올 생산 과정

생각해 보기 바이오 에탄올을 생산하는 과정 중 온실 기체는 어느 단계에서 발생할 수 있을지 생각해 보자.

개념 정리하기

핵심 내용 정리하기

1 물질대사와 세포 소기관

1. 물질대사와 에너지

(1) 세포 호흡과 광합성은 모두 세포에서 에너지 전환이 일어나는 물질대사 과정이다.

(2) **세포 호흡**: 유기물을 분해하여 에너지를 얻는 과정으로 이화 작용에 해당하며, 세포질과 ❶ (　　)에서 일어난다.

(3) **광합성**: 빛에너지를 이용하여 무기물로부터 유기물을 합성하는 과정으로 동화 작용에 해당하며, 식물 세포의 ❷ (　　)에서 일어난다.

2. 세포 호흡과 광합성의 장소

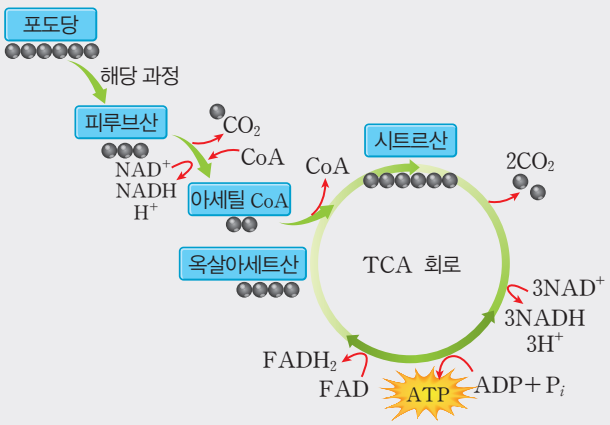
(1) 미토콘드리아의 내막과 엽록체의 틸라코이드 막에서 전자 전달계와 ATP 합성 효소를 거쳐 ATP가 합성된다.

(2) 미토콘드리아의 기질과 엽록체의 스트로마에는 고유한 DNA, RNA, 리보솜 및 다양한 효소가 있다.

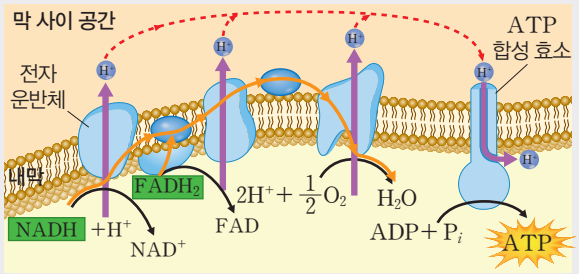
2 세포 호흡

1. ❸ (　　): 세포질에서 포도당이 2분자의 피루브산으로 분해되는 과정으로 2분자의 ATP와 2분자의 NADH가 합성된다.

2. 피루브산의 산화와 ❹ (　　): 미토콘드리아 기질에서 피루브산(C_3)이 분해되어 $3CO_2$, 4NADH, $1FADH_2$, 1ATP를 합성하는 과정이다.



3. ❺ (　　): NADH, $FADH_2$로부터 운반된 고에너지 전자가 전자 전달계를 따라 이동하면서 방출되는 에너지로 ATP를 합성하는 과정이다.



4. **호흡 기질**: 세포 호흡에 이용될 수 있는 유기물을 뜻하며 탄수화물, 단백질, 지방 등이 있다.

5. **호흡률**: 세포 호흡 결과 소비된 산소의 부피에 대해 발생한 이산화 탄소의 부피 비로, 호흡 기질의 종류에 따라 호흡률이 다르다.

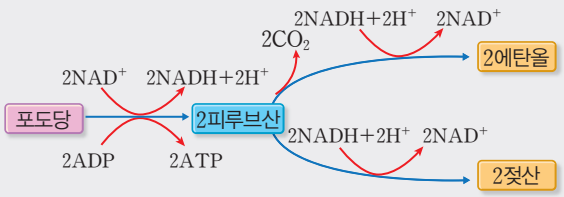
$$\text{호흡률} = \frac{\text{발생한 } CO_2\text{의 부피}}{\text{소비된 } O_2\text{의 부피}}$$

3 발효

1. **발효**: 산소가 없는 환경에서 전자 전달계를 사용하지 않고 유기물을 분해하여 ATP를 합성하며, 다량의 에너지가 포함된 중간 산물이 생성된다.

(1) ❻ (　　) **발효**: 피루브산이 에탄올과 CO_2로 분해되는 발효로, 2ATP가 합성된다.

(2) ❼ (　　) **발효**: 피루브산이 환원되어 젖산을 생성하는 발효로, 2ATP가 합성된다.



2. **발효의 의의**: 산소가 없는 환경에서 피루브산을 이용해 ❽ (　　)를 재생시켜 해당 과정이 지속적으로 일어날 수 있도록 한다.

정답 | ❶ 미토콘드리아 ❷ 엽록체 ❸ 해당 과정 ❹ TCA 회로 ❺ 산화적 인산화 ❻ 알코올 ❼ 젖산 ❽ NAD^+

개념 확인하기

1 다음은 세포 호흡과 관련한 설명이다. (　　) 안에 들어갈 알맞은 말을 쓰시오.

(1) 해당 과정은 포도당 1분자가 2분자의 (　　)으로 분해되며 ATP와 (　　)를 합성하는 과정이다.

(2) TCA 회로에서 옥살아세트산과 아세틸 CoA가 결합하여 (　　)이 생성된다.

(3) 전자 전달 과정에서 막 사이 공간으로 수송된 H^+이 ATP 합성 효소를 거쳐 다시 기질로 이동하는 현상을 (　　)라고 한다.

2 다음 설명 중 옳은 것은 ○, 옳지 않은 것은 ×표를 하시오.

(1) 산소 호흡에서 최종 전자 수용체는 O_2이다. ····· (　　)

(2) 산소가 없어도 TCA 회로는 계속 진행된다. ····· (　　)

(3) 해당 과정과 TCA 회로에서는 ATP가 합성되지 않는다. ····· (　　)

(4) 알코올 발효 과정에서 CO_2가 발생한다. (　　)

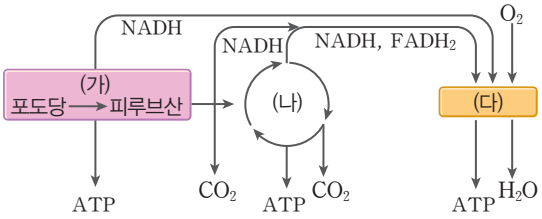
3 그림은 엽록체와 미토콘드리아의 구조를 나타낸 것이다.

(1) (가)와 (나)에서 고유의 DNA와 효소가 포함된 곳의 기호와 명칭을 각각 쓰시오.

(2) (가)와 (나)에서 전자 전달계와 ATP 합성 효소가 분포하는 곳의 기호와 명칭을 각각 쓰시오.

개념 응용하기

1 그림은 세포 호흡 과정을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것을 보기에서 모두 고르시오. (단, (가)~(다)는 각각 해당 과정, TCA 회로, 산화적 인산화 중 하나이다.)

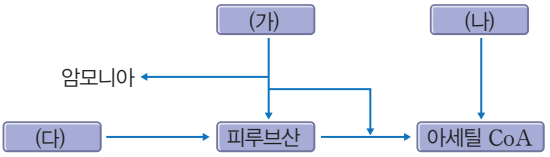
보기

ㄱ. (가)와 (나)에서 기질 수준 인산화가 일어난다.

ㄴ. (다)에서 전자 전달 효소 사이에 산화 환원 반응이 일어난다.

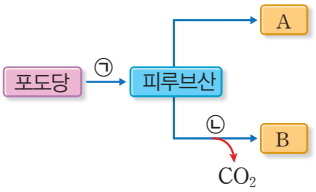
ㄷ. (가)와 (나)는 세포질에서, (다)는 미토콘드리아의 기질에서 일어난다.

2 그림은 세 종류의 호흡 기질이 세포 호흡에 이용되는 과정의 일부이고, (가)~(다)는 각각 지방산, 아미노산, 포도당 중 하나이다.



(가)~(다)에 해당하는 물질을 쓰시오.

3 그림은 발효 과정을 나타낸 것이다. (단, A와 B는 각각 에탄올과 젖산 중 하나이다.)



(1) A와 B는 각각 어떤 물질인지 쓰시오.

(2) ㉠과 ㉡ 중 ATP가 합성되는 과정을 쓰시오.

광합성

01. 광합성 과정
02. 광합성과 세포 호흡의 비교

이 단원의 학습 목표

광합성에서 빛에너지가 화학 에너지로 전환되는 과정과 이산화 탄소가 포도당으로 전환되는 과정을 단계적으로 설명할 수 있다. 세포 호흡과 광합성의 공통점과 차이점을 비교함으로써 각각의 특징을 이해할 수 있다.

자기 점검 – 알고 있는 용어에 표시해 보자.

광합성 ☐	엽록체 ☐	엽록소 ☐	효소 ☐
스트로마 ☐	그라나 ☐	미토콘드리아 ☐	전자 전달계 ☐

▶ 표시하지 못한 용어는 생명 과학Ⅱ 교과서 '세포의 특성' 단원에서 확인해 보자.

학습 계획 세우기 – 학습 목표를 달성하기 위해 어떤 준비를 할 수 있을지 써 보자.

예 세포의 특성 단원에서 엽록체의 구조를 복습한다.

01 광합성 과정

- 광합성 색소의 종류와 특성을 설명할 수 있다.
- 광합성 과정을 단계별로 구분하여 설명할 수 있다.

태양 전지는 식물의 엽록체처럼 빛에너지를 다른 형태의 에너지로 전환할 수 있다. 식물의 엽록체는 어떻게 태양 에너지를 다른 형태의 에너지로 전환시킬까?

1 엽록체와 광합성 색소

엽록체는 광합성이 일어나는 장소로, 틸라코이드가 겹겹이 쌓여 있는 그라나와 기질 부분인 스트로마로 구성되어 있다. 그라나의 틸라코이드 막에는 광합성 색소들이 결합된 단백질 복합체인 광계와 전자 전달 효소, ATP 합성 효소가 있다. 스트로마에는 리보솜, DNA, RNA 및 포도당 합성에 관여하는 여러 효소가 있다.

광합성에 필요한 빛에너지는 틸라코이드 막에 존재하는 광합성 색소로 흡수되며, 광합성 색소 중 가장 대표적인 것은 엽록소이다. 엽록소는 a, b, c, d 등으로 구분되며, 엽록소 a와 엽록소 b는 모든 식물에 공통으로 존재한다. 특히 엽록소 a는 광합성에서 중심적인 역할을 하는 색소이다. 엽록소 외에도 카로틴, 잔토필 등 황색이나 적황색을 띠는 카로티노이드계 색소도 있다. 이들은 보조 색소로서 빛에너지를 흡수하여 엽록소에 전달하고, 과도한 빛으로부터 식물을 보호하는 역할을 한다.

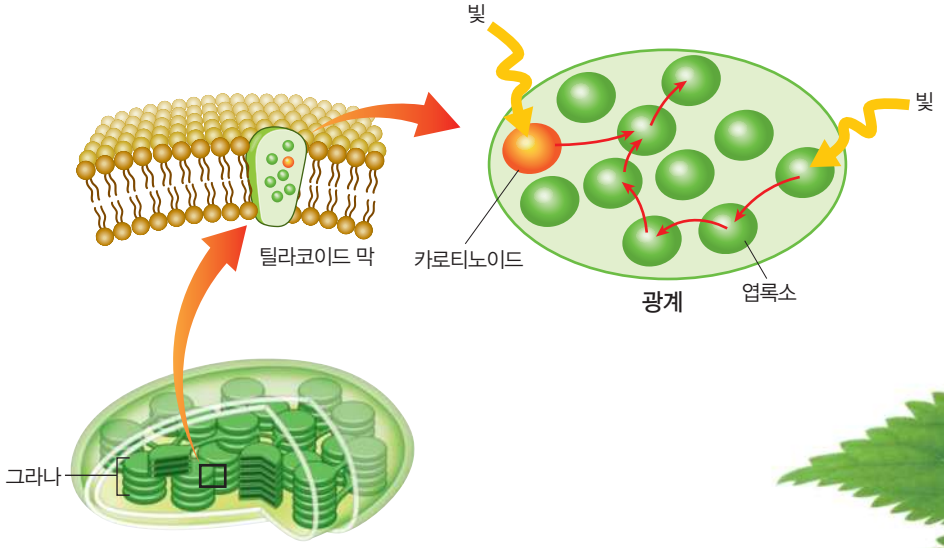


그림 Ⅲ-16 엽록체와 광합성 색소

엽록체는 주로 태양의 가시광선을 이용해 광합성을 하며, 가시광선은 파장에 따라 색깔이 다르다. 엽록소에 여러 가지 파장의 빛을 각각 비추면 빛의 파장에 따라 흡수하는 정도가 다르게 나타나는데, 이를 그래프로 나타낸 것이 흡수 스펙트럼이다. 흡수 스펙트럼을 분석해 보면 엽록소는 청자색광과 적색광을 주로 흡수하고, 녹색광은 거의 흡수하지 않으며 반사하거나 통과시킨다는 것을 알 수 있다. 이 때문에 식물의 잎은 초록색으로 보인다.

또 식물의 잎에 여러 가지 파장의 빛을 비추어 파장에 따른 광합성 속도를 그래프로 나타낸 것을 작용 스펙트럼이라고 한다. 작용 스펙트럼을 분석해 보면 청자색광과 적색광에서 광합성이 가장 효율적으로 일어나는 것을 알 수 있다. 흡수 스펙트럼과 작용 스펙트럼을 토대로 식물은 엽록소가 가장 잘 흡수하는 청자색광과 적색광을 이용하여 광합성을 한다는 것을 알 수 있다.

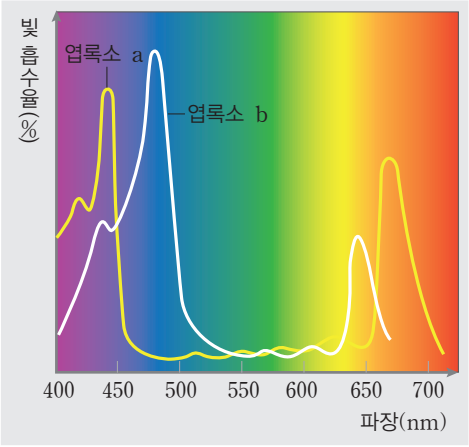


그림 Ⅲ－17 흡수 스펙트럼

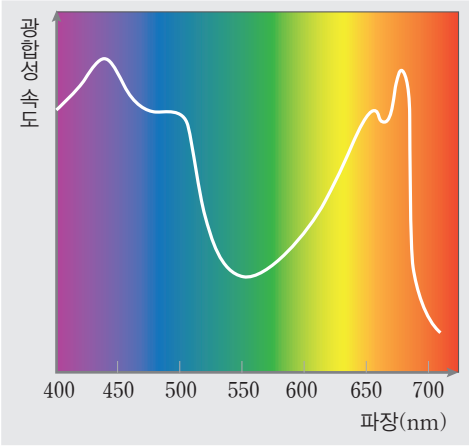


그림 Ⅲ－18 작용 스펙트럼

출처: Reece 외, 2012.

핵심 역량 기르기

식물의 다양한 색소

가을이 되면 은행나무 잎은 초록색에서 노란색으로 변하는데, 이는 엽록소가 파괴되고 보조 색소인 카로티노이드의 노란색이 나타나기 때문이다. 카로티노이드는 엽록소가 흡수하지 못하는 빛의 파장을 흡수하여 엽록소의 기능을 돕고, 식물 세포가 강한 빛에 손상되는 것을 막는 역할을 하기도 한다.

블루베리, 적양파, 자색고구마에 풍부하게 들어 있는 안토사이아닌은 붉은색, 보라색, 파란색 등 여러 가지 색깔로 나타난다. 열매나 꽃에 포함된 안토사이아닌은 곤충을 유인하는 데 중요한 역할을 하고, 잎에 포함된 안토사이아닌은 자외선을 막아 주는 역할을 한다. 또 안토사이아닌은 강력한 항산화제로 노화 방지 등 인체에 유익하다고 알려져 있다.

Q 엽록소가 흡수하지 못하는 녹색광에서도 광합성이 일어날 수 있는 까닭을 생각해 보자.

탐구 실험

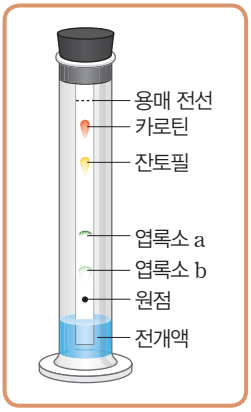
잎의 색소 분리하기

• **목표**: 크로마토그래피를 이용하여 식물 잎에 포함된 광합성 색소의 종류를 구별해 낼 수 있다.

크로마토그래피는 물질의 이동 속도 차이를 이용하여 혼합물을 분리하는 방법이다. 이 방법을 이용하여 식물의 잎에는 어떤 광합성 색소가 있는지 알아보자.

과정

1. 시금치 잎을 가위로 잘게 잘라 막자사발에 넣고, 광합성 색소 추출액(메탄올 : 아세톤 = 3 : 1)을 소량만 넣은 다음, 고운 입자가 되도록 갈아 준다.
2. TLC 판을 눈금실린더 크기에 맞게 자른 다음, 아래 끝에서 2 cm 위쪽에 연필로 출발선을 긋는다.
3. 모세관으로 색소 추출액을 채취하여 TLC 판의 출발선 중앙에 찍고 말리는 과정을 여러 차례 반복해 지름이 2 mm ~ 3 mm 정도 되도록 묻힌다.
4. 눈금실린더 바닥으로부터 1 cm 정도의 높이로 전개액(석유 에테르 : 아세톤 = 9 : 1)을 넣는다.
5. 출발선의 광합성 색소 추출액이 마르면 TLC 판을 눈금실린더에 넣고, 고무마개로 입구를 막은 후 전개액이 TLC 판 끝에서 1 cm 정도 떨어진 부분에 도달할 때까지 전개시킨다.



정리

❶ 시금치 잎에서 몇 가지 색소가 분리되었는가? 그리고 각각은 어떤 색을 띠는가?
❷ 분리된 색소들은 각각 어떤 색소인가?
❸ 색소마다 전개되는 정도가 다른 까닭은 무엇인지 생각해 보자.

준비물

시금치 잎, 얇은 막 크로마토그래피 판(TLC 판), 막자사발, 막자, 광합성 색소 추출액(메탄올 : 아세톤 = 3 : 1), 전개액(석유 에테르 : 아세톤 = 9 : 1), 모세관, 고무마개, 눈금실린더, 가위, 스포이트, 연필, 자, 보안경, 마스크, 보호 장갑

주의 사항

- 색소 추출액이 넓게 번지지 않도록 한다.
- 전개액은 독성이 있으므로 손에 닿거나 흡입하지 않도록 한다.
- 전개액이 휘발되지 않도록 눈금실린더 입구를 잘 막는다.
- 눈금실린더 벽면에 전개액이 묻지 않도록 주의한다.

2 광합성의 전체 과정

광합성은 이산화 탄소와 물을 원료로 하여 포도당과 산소를 생성하는 동화 작용이다. 광합성의 전체 과정은 다음과 같다.

$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow{\text{빛에너지}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$$

광합성은 크게 빛이 필요한 명반응과 빛이 직접 필요하지 않은 탄소 고정 반응으로 구분된다. 명반응은 틸라코이드 막에 있는 엽록소가 빛에너지를 화학 에너지인 ATP와 NADPH로 전환하는 반응으로, 이 과정에서 물이 분해되어 산소가 발생한다. 탄소 고정 반응은 스트로마에 있는 여러 효소가 명반응에서 생성된 물질을 이용해 이산화 탄소를 고정하여 포도당으로 합성하는 반응이다. 탄소 고정 반응은 캘빈 회로라고도 하며, 빛이 직접 필요하지 않아 암반응이라고도 한다. 그러나 탄소 고정 반응은 명반응에서 생성되는 ATP와 NADPH가 공급되어야 포도당을 합성할 수 있으므로 빛이 계속 공급되어야만 탄소 고정 반응이 지속해서 일어난다.

캘빈 회로
포도당의 합성 과정을 밝혀 노벨상을 수상한 미국의 생화학자 캘빈의 이름을 딴 것이다.

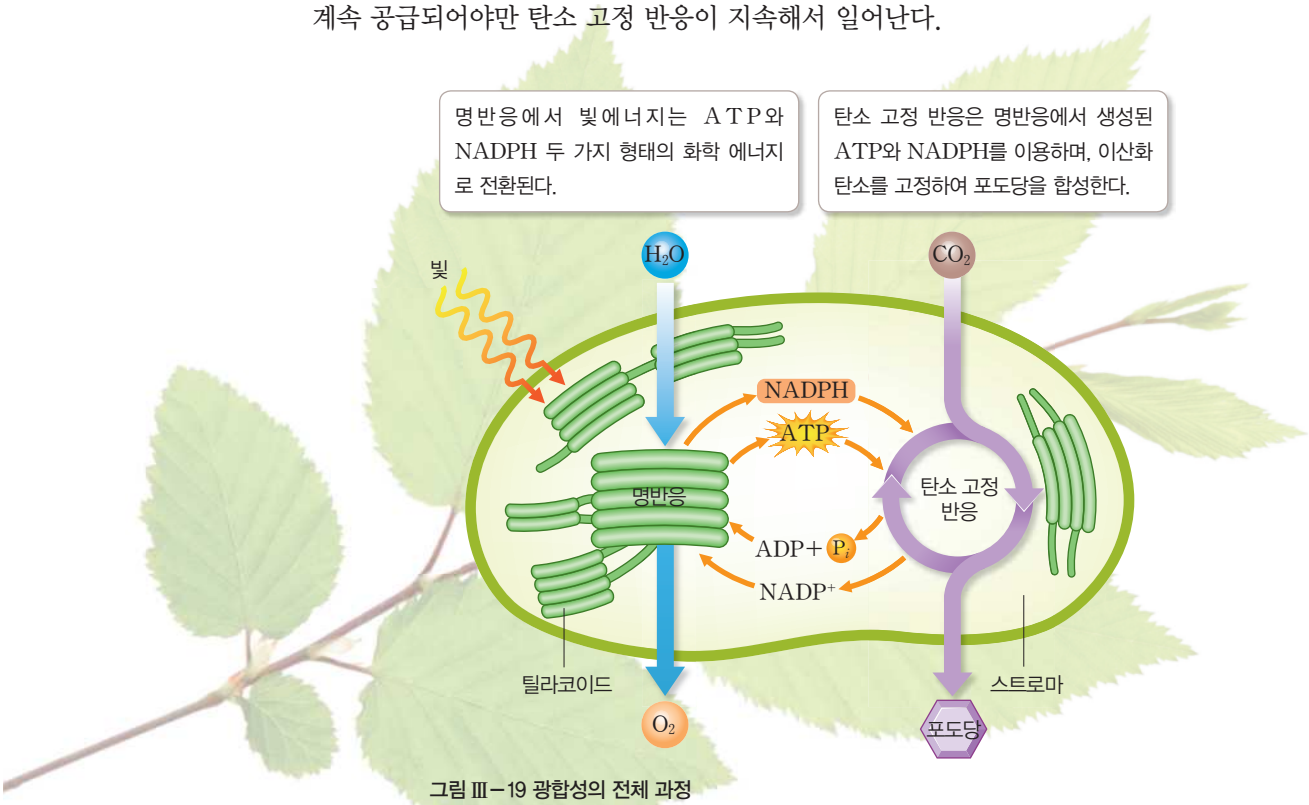


그림 Ⅲ-19 광합성의 전체 과정

광합성 과정이 명반응과 탄소 고정 반응으로 나누어진다는 것을 어떻게 알았을까? 그리고 광합성 결과 발생하는 산소가 이산화 탄소가 아닌 물로부터 왔다는 것을 어떻게 알았을까? 광합성과 관련된 과학사를 조사하여 광합성 과정을 밝혀내기까지의 과정을 알아보자.

탐구 조사 발표

광합성과 관련된 과학사 조사하기

• **목표**: 광합성에 관한 연구의 역사를 조사 · 발표할 수 있다.

과정

1 모둠별로 조사해 보고 싶은 과학자를 선택하여 연구 배경, 광합성과 관련된 실험 내용 및 결과, 결론 등을 조사한다.

광합성의 발견

- 헬몬트의 실험
- 프리스틀리의 실험
- 잉엔하우스의 실험

▲ 프리스틀리

▲ 잉엔하우스

광합성과 빛의 파장의 관계

- 엥겔만의 실험

▲ 엥겔만

명반응과 ATP 합성

- 힐의 물의 광분해 실험
- 루벤의 산소 추적 실험
- 아논의 광인산화 실험
- 아겐도르프의 ATP 합성 원리 실험

▲ 아논

▲ 아겐도르프

탄소 고정 반응

- 벤슨의 명반응과 탄소 고정 반응 발견 실험
- 캘빈의 탄소 고정 과정 실험

▲ 캘빈

2 조사한 내용을 정리하여 4절 도화지에 이야기, 만화 등 스토리텔링 형식으로 자유롭게 구성한다.

3 광합성과 관련된 내용 전체를 한눈에 알 수 있도록 모둠별로 조사한 내용을 시대순으로 칠판에 부착하고 순서대로 발표한다.

시대순으로 배열할 수도 있고 비슷한 연구 내용끼리 묶어서 배열할 수도 있다.

정리

❶ 광합성 전체 과정을 밝히기까지의 역사를 연대표로 작성해 보자.

❷ 광합성 연구 과정을 조사하면서 흥미로웠던 점을 함께 이야기해 보자.

준비물

색연필, 4절 도화지, 인터넷 검색을 위한 컴퓨터, 자석

광합성 관련 과학자

- 헬몬트(Helmont, J. B. van, 1577~1644)
- 프리스틀리(Priestley, J., 1733~1804)
- 잉엔하우스(Ingenhousz, J., 1730~1799)
- 엥겔만(Engelmann, T. W., 1843~1909)
- 힐(Hill, R., 1899~1991)
- 루벤(Ruben, S., 1913~1943)
- 아논(Anon, D. I., 1910~1994)
- 아겐도르프(Jagendorf, A., 1926~2017)
- 벤슨(Benson, A., 1917~2015)
- 캘빈(Calvin, M., 1911~1997)

3 명반응

명반응은 틸라코이드 막에 있는 엽록소로 흡수된 빛에너지를 ATP와 NADPH의 화학 에너지로 전환하는 반응이다. 엽록체의 틸라코이드 막에는 여러 가지 색소와 전자 수용체가 모여 빛을 흡수하는 단백질 복합체가 있는데, 이를 광계라고 한다. 광계에서 흡수한 빛에너지는 하나의 색소에서 다른 색소로 전달되면서 반응 중심 색소에 도달하며, 빛에너지를 받은 반응 중심 색소는 고에너지 전자를 방출한다. 광계는 반응 중심 색소가 주로 흡수하는 빛의 파장에 따라 광계 Ⅰ과 광계 Ⅱ로 구분된다. 광계 Ⅰ의 반응 중심 색소는 700 nm 파장의 빛을 가장 잘 흡수하므로 P_{700}이라고 하고, 광계 Ⅱ의 반응 중심 색소는 680 nm 파장의 빛을 가장 잘 흡수하므로 P_{680}이라고 한다.

궁금해요
광계의 이름은 어떻게 붙여졌나요?
광계 Ⅰ과 광계 Ⅱ는 발견된 순서에 따라 이름이 붙여졌다.

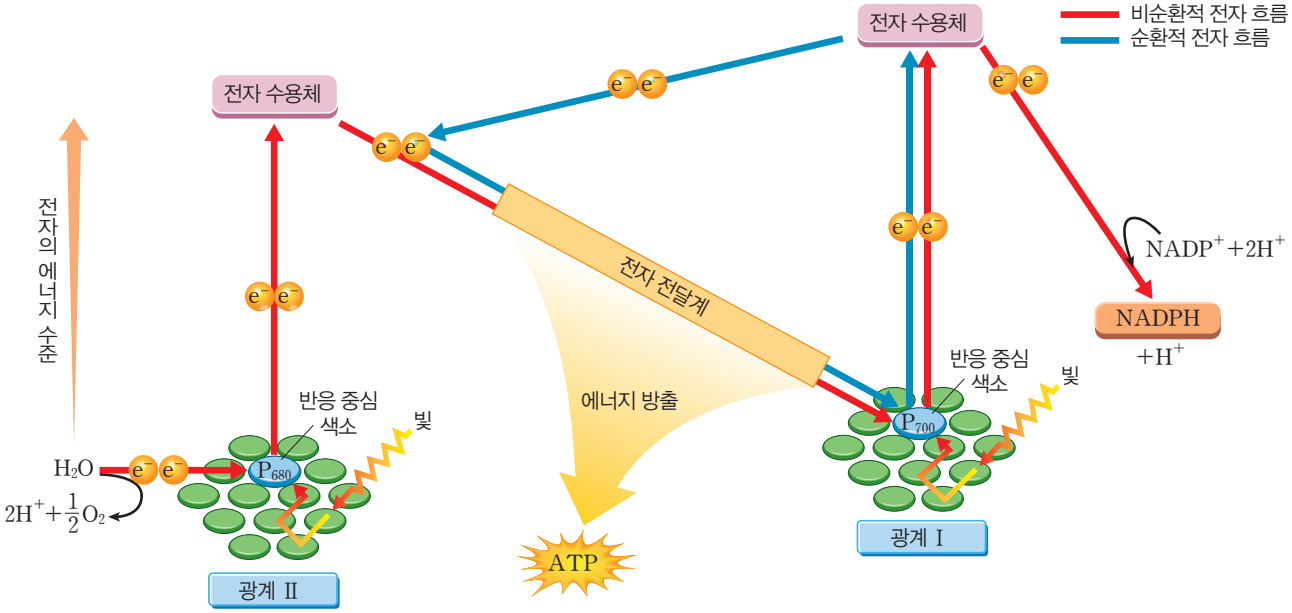


그림 Ⅲ-20 명반응 과정

|그림 Ⅲ-20|과 같이 광계 Ⅱ의 P_{680}이 빛을 흡수하면 P_{680}은 고에너지 전자를 방출한다. 전자를 잃은 P_{680}은 물을 분해하여 나오는 전자를 받아들여 환원된다. 물이 분해되는 과정에서 전자와 함께 H^+과 산소가 생성된다. P_{680}에서 방출된 전자는 전자 전달계를 거쳐 광계 Ⅰ로 전달되며, 이 과정에서 틸라코이드 막을 경계로 H^+ 농도 기울기가 형성되어 화학 삼투를 통한 ATP 합성이 일어난다.

광계 Ⅰ의 P_{700} 또한 빛에너지를 흡수하여 고에너지 전자를 방출하며, 전자를 잃은 P_{700}은 P_{680}으로부터 방출된 전자로 다시 채워진다. 광계 Ⅰ에서 방출된 전자는 최종적으로 $NADP^+$에 전달되어 NADPH가 생성된다. 이 과정에서 반응 중심 색소로부터 방출된 전자는 원래의 색소로 되돌아가지 않는데, 이와 같은 전자 이동 과정을 비순환적 전자 흐름이라고 한다.

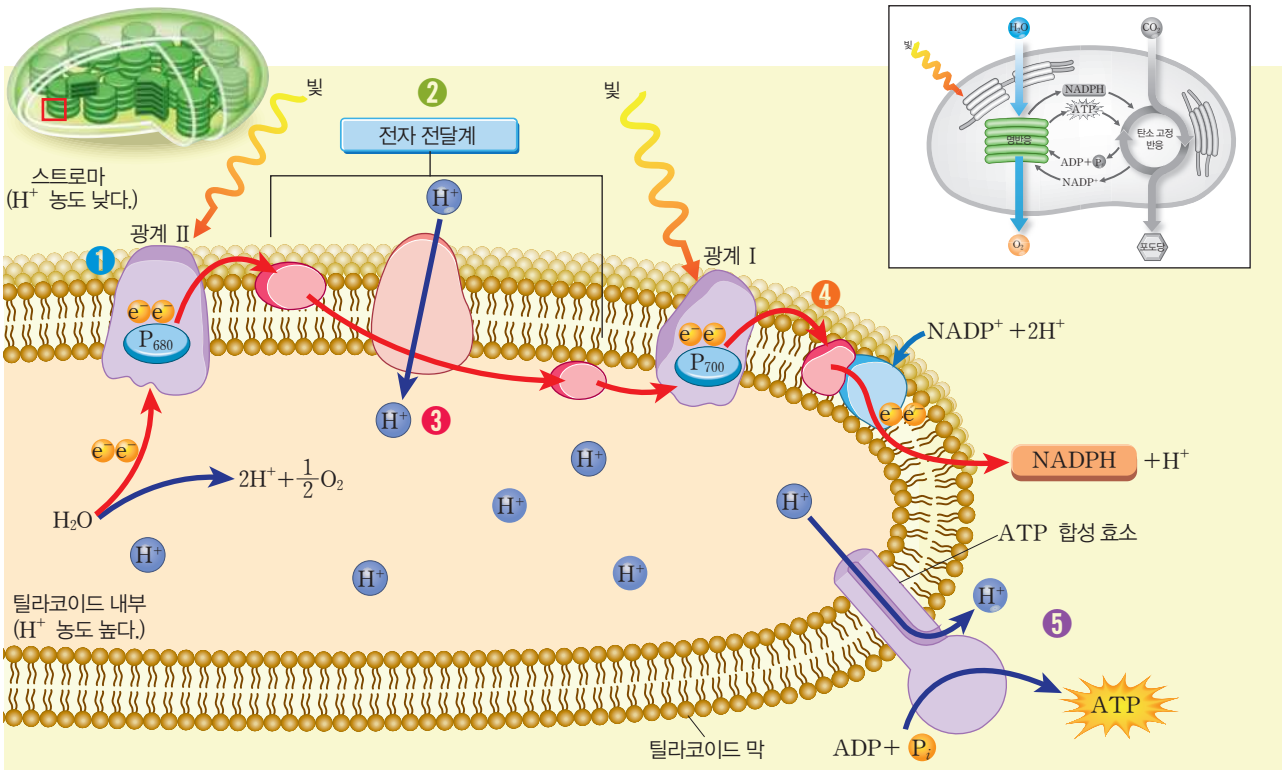
$NADP^+$ (Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate)
탈수소 효소의 조효소이다. 명반응에서 전자를 수용하는 전자 수용체로, 세포 호흡에서 사용되는 NAD^+와 유사하다.

광계 Ⅰ의 P_{700}에서 방출된 전자의 일부는 $NADP^+$로 전달되지 않고 전자 전달계로 이동하기도 한다. 이 전자는 전자 전달계를 거치면서 에너지를 방출하고 다시 전자를 잃은 P_{700}으로 되돌아오는데, 이와 같은 전자 이동 과정을 순환적 전자 흐름이라고 한다.

비순환적 전자 흐름과 순환적 전자 흐름에서 전자가 이동하는 경로는 각각 다르지만 전자가 이동할 때 방출된 에너지로 ATP가 합성되는 과정은 서로 같다. |그림 Ⅲ−21|과 같이 비순환적 및 순환적 전자 흐름 모두 전자가 전자 전달계를 거치는 동안 스트로마에서 틸라코이드 내부로 H^+이 능동 수송된다. 그 결과 틸라코이드 내부의 H^+ 농도가 스트로마보다 높아지고 ATP 합성 효소를 통해서 H^+이 스트로마로 다시 이동하면서 ATP가 합성된다. 즉, 전자가 이동할 때 방출된 에너지로 형성되는 화학 삼투로 ATP가 합성되는데, 이 과정을 광인산화라고 한다. 명반응 결과 틸라코이드 막에서는 물의 광분해로 산소가 발생하며 스트로마에서는 ATP와 NADPH가 합성된다.

순환적 전자 흐름
순환적 전자 흐름에서는 NADPH는 생성하지 않고 ATP만 지속해서 생성하는데, 이렇게 생성된 ATP는 탄소 고정 반응과 엽록체 대사 활동에 사용된다.

창의력 키우기 비순환적 전자 흐름과 순환적 전자 흐름에서 생성되는 물질을 비교해 보자.



❶ 광계 Ⅱ가 빛을 흡수하면 P_{680}에서 고에너지 전자가 방출되며, 이 과정에서 H_2O이 분해되어 H^+과 O_2가 발생한다.

❷ 고에너지 전자는 전자 전달계를 거치며 광계 Ⅱ에서 광계 Ⅰ로 전달된다.

❸ 전자가 전자 전달계를 거쳐 이동하는 과정에서 H^+이 스트로마에서 틸라코이드 내부로 능동 수송된다.

❹ 광계 Ⅰ이 빛을 흡수하면 P_{700}에서 고에너지 전자가 방출되고, 이 전자는 $NADP^+$에 전달되어 NADPH가 생성된다.

❺ ATP 합성 효소를 통해서 틸라코이드 내부에서 스트로마로 H^+이 이동하며, 이 과정에서 ATP가 합성된다.

그림 Ⅲ−21 광인산화

RuBP
(Ribulose-1,5-bisphosphate)
리불로스2인산

루비스코
(rubisco, ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase)

3PG
(3-phosphoglyceric acid)
3-인산글리세르산

4 탄소 고정 반응

탄소 고정 반응은 명반응 산물인 NADPH와 ATP를 이용하여 포도당을 합성하는 과정이다. 탄소 고정 반응에서 포도당을 합성하려면 CO_2의 고정 과정이 필요하다.

캘빈 회로라고도 불리는 탄소 고정 반응은 CO_2가 회로로 들어가고 당이 회로를 빠져나오며, CO_2와 결합하는 물질인 RuBP이 재생성되는 과정으로 진행된다. 이 과정은 |그림 Ⅲ-22|와 같이 크게 3PG 합성, 3PG 환원, RuBP 재생이라는 3단계로 구분할 수 있으며, 각 단계에는 스트로마에 존재하는 여러 효소가 관여한다. 이 회로에서 당을 합성하는 데 필요한 에너지 공급원은 ATP와 NADPH이다.

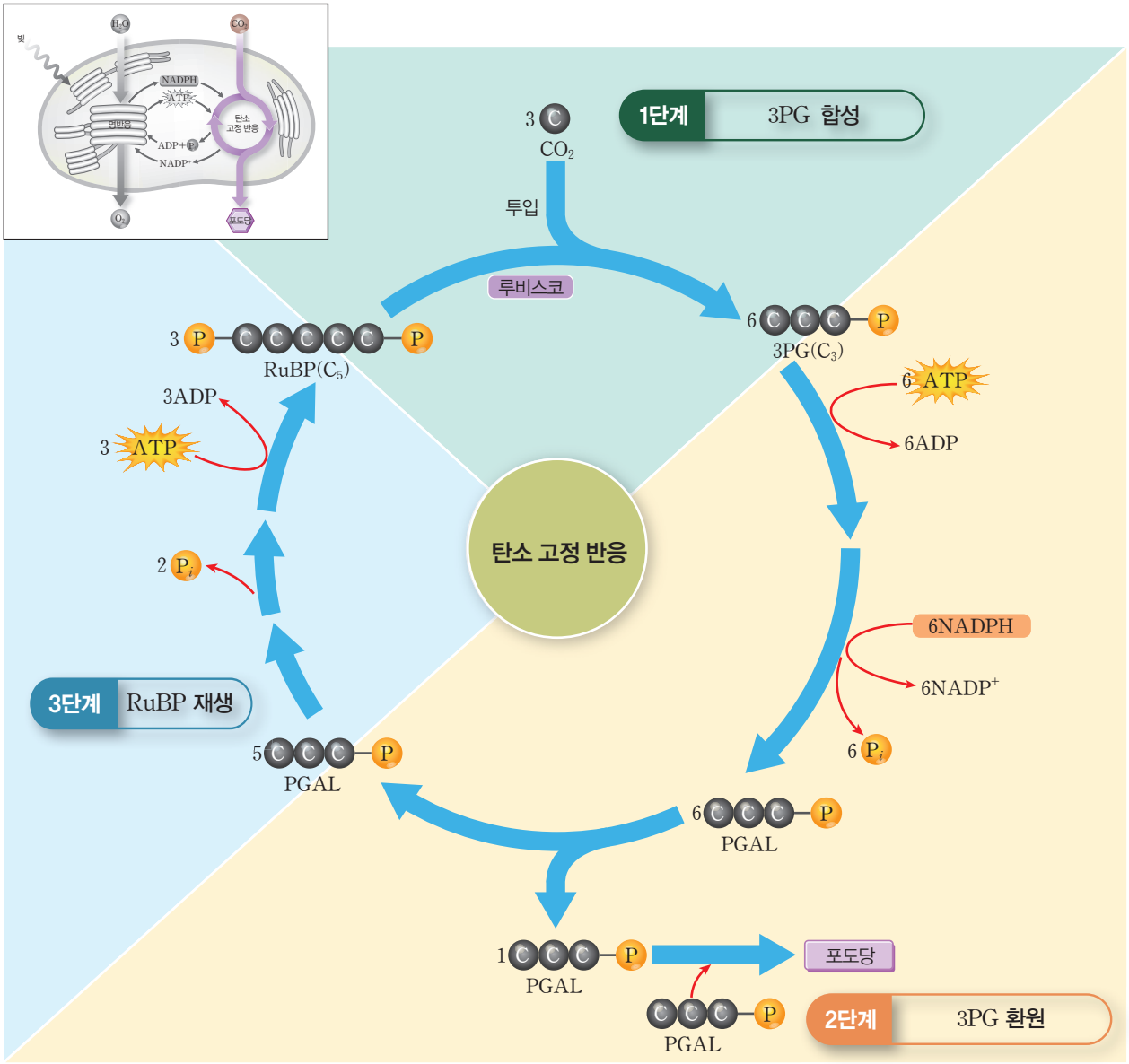


그림 Ⅲ-22 탄소 고정 반응

첫 번째 단계는 3PG 합성이다. CO_2가 루비스코라는 효소의 작용으로 5탄소 화합물인 RuBP과 반응하여 3탄소 화합물인 3PG이 합성된다. 두 번째 단계는 3PG 환원이다. 명반응 산물인 ATP와 NADPH를 이용하여 3탄소 화합물인 PGAL를 합성하고, 이 중 일부는 포도당을 합성하는 데 쓰인다. 세 번째 단계는 RuBP 재생이다. 생성된 PGAL 중 일부가 일련의 화학 반응을 거쳐 RuBP으로 전환되며, 이 과정에 ATP가 사용된다. 재생된 RuBP이 새로운 CO_2와 결합하면서 탄소 고정 반응이 계속 진행된다.

PGAL (phosphoglyceraldehyde) 포스포글리세르알데하이드

창의력 키우기 탄소 고정 반응에서 포도당 1분자를 만들려면 ATP와 NADPH가 각각 몇 분자 필요한지 생각해 보자.

5 명반응과 탄소 고정 반응의 관계

탄소 고정 반응에서는 ATP와 NADPH를 이용하여 이산화 탄소를 고정시켜 포도당을 합성한다. 따라서 탄소 고정 반응에 ATP와 NADPH를 공급하려면 명반응이 지속해서 일어나야 한다. 탄소 고정 반응에 ATP와 NADPH가 이용되면 ADP와 $NADP^+$가 생성되고, 이 물질은 명반응이 일어나는 그라나로 공급된다. 명반응 과정에서 ADP는 광인산화를 거쳐 ATP가 되며, $NADP^+$는 전자를 수용하여 NADPH가 된다. 따라서 명반응이 지속해서 일어나려면 탄소 고정 반응으로부터 ADP와 $NADP^+$가 지속적으로 공급되어야 한다.

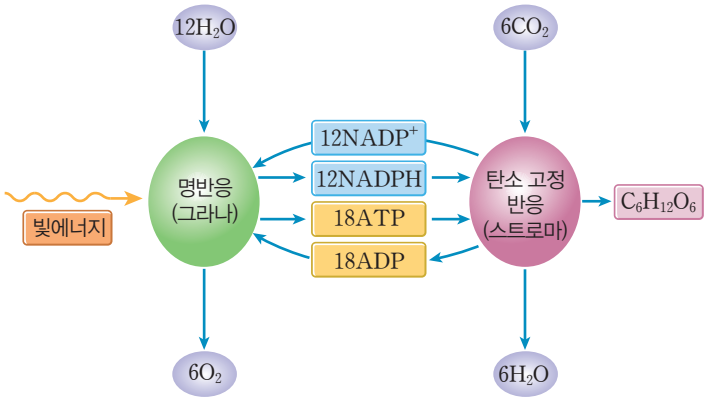


그림 Ⅲ-23 명반응과 탄소 고정 반응의 관계

자기 평가하기

✱성취 정도를 ✓표시해 보자

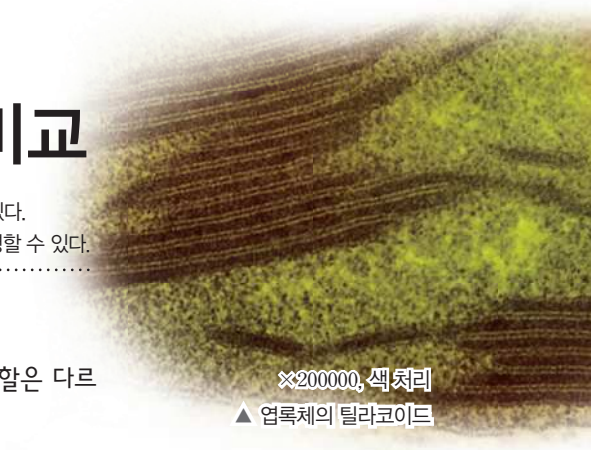
1 광합성 색소의 종류와 기능을 설명할 수 있는가? 1 | 2 | 3 | 4 | 5

2 광합성 과정을 단계별로 설명할 수 있는가? 1 | 2 | 3 | 4 | 5

3 명반응과 탄소 고정 반응의 관계를 설명할 수 있는가? 1 | 2 | 3 | 4 | 5

02 광합성과 세포 호흡의 비교

- 광합성과 세포 호흡 과정의 공통점과 차이점을 비교 분석하여 설명할 수 있다.
- 엽록체와 미토콘드리아의 전자 전달계를 비교하여 공통점과 차이점을 설명할 수 있다.



×200000, 색 처리
▲ 엽록체의 틸라코이드

광합성을 담당하는 엽록체와 세포 호흡을 담당하는 미토콘드리아는 생김새와 역할은 다르지만 공통점이 많다. 이들 두 세포 소기관에는 어떤 공통점과 차이점이 있을까?

1 광합성과 세포 호흡의 비교

광합성은 빛에너지를 이용하여 이산화 탄소와 물을 포도당으로 합성하는 동화 작용으로, 엽록체에서 일어난다. 세포 호흡은 포도당과 같은 유기물을 무기물로 분해하여 ATP를 합성하는 이화 작용으로, 세포질과 미토콘드리아에서 일어난다. 광합성과 세포 호흡 모두 에너지 전환이 일어나는데 광합성에서는 빛에너지가 화학 에너지로, 세포 호흡에서는 유기물에 저장된 화학 에너지가 ATP와 열에너지로 전환된다. 광합성의 명반응과 세포 호흡의 산화적 인산화 과정에서 공통적으로 막에 존재하는 여러 효소의 작용으로 ATP가 합성된다. 광합성과 세포 호흡에서 고에너지 전자와 결합하는 조효소의 종류는 서로 다른데 광합성에서는 $NADP^+$가, 세포 호흡에서는 NAD^+와 FAD가 이용된다. 광합성의 탄소 고정 반응과 세포 호흡의 TCA 회로는 효소의 작용으로 조절되어 단계적이고, 순환적으로 일어나는 화학 반응으로, 각각 엽록체의 스트로마와 미토콘드리아의 기질에서 일어난다.

구분		광합성	세포 호흡
공통점	탄소 수 변화와 효소의 이용	탄소 고정 반응과 TCA 회로는 효소로 조절되는 단계적이고 순환하는 형태의 화학 반응으로, 회로가 진행됨에 따라 반응물의 탄소 수가 점차 변화한다.	
	ATP 생성	전자 전달계, ATP 합성 효소를 거쳐 ATP가 합성된다.	
차이점	물질대사 종류	동화 작용	이화 작용
	장소	엽록체	세포질과 미토콘드리아
	에너지 전환	빛에너지가 ATP와 NADPH의 화학 에너지로 전환	유기물에 저장된 화학 에너지가 ATP의 화학 에너지로 전환
	합성된 ATP의 이용	주로 탄소 고정 반응에 이용	다양한 세포 내 생명 활동에 이용
	고에너지 전자와 결합하는 조효소	$NADP^+$	NAD^+, FAD

표 Ⅲ−1 광합성과 세포 호흡 비교

2 엽록체와 미토콘드리아의 ATP 합성 과정

엽록체의 틸라코이드 막과 미토콘드리아 내막에서 전자 전달계를 구성하는 단백질과 ATP 합성 효소는 매우 비슷하며, 화학 삼투로 ATP가 합성되는 과정도 서로 같다. 이들 막에서는 |그림 Ⅲ−24|와 같이 전자 전달계에 따라 H^+의 농도 기울기가 형성되고, ATP 합성 효소를 거쳐 H^+이 이동하면서 ATP가 합성된다.

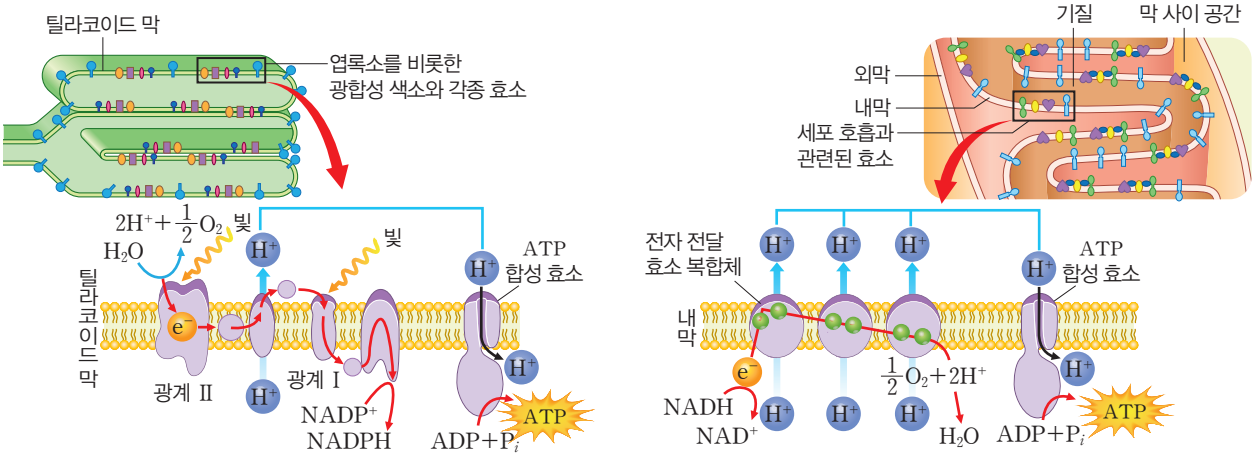


그림 Ⅲ−24 엽록체와 미토콘드리아에서의 ATP 합성 과정 비교

엽록체와 미토콘드리아의 전자 전달 과정에서 나타나는 전자의 흐름에는 차이가 있다. 틸라코이드 막에서 전자는 $NADP^+$로 전달되어 한 방향으로만 흐르기도 하고 다시 전자 전달계로 돌아가 순환적으로 흐르기도 하는 반면, 미토콘드리아 내막에서는 전자가 산소로 전달되어 한 방향으로만 흐른다. 또 엽록체와 미토콘드리아는 화학 삼투가 일어나는 공간에도 차이가 있다.

구분	엽록체에서의 ATP 합성	미토콘드리아에서의 ATP 합성
전자 공여체	H_2O	유기물로부터 고에너지 전자를 얻어 형성된 NADH, $FADH_2$
최종 전자 수용체	$NADP^+$	O_2
전자의 흐름	순환적, 비순환적으로 흐름	한 방향으로만 흐름
전자 전달 과정에서 H^+의 이동	스트로마에서 틸라코이드 내부로 수송	기질에서 막 사이 공간으로 수송
ATP 합성 과정에서 H^+의 이동	틸라코이드 내부에서 스트로마로 이동	막 사이 공간에서 기질로 이동

표 Ⅲ−2 엽록체와 미토콘드리아에서 ATP 합성 비교

자기 평가하기

✸ 성취 정도를 ✓ 표시해 보자

1 엽록체와 미토콘드리아의 공통점과 차이점을 설명할 수 있는가? 1 | 2 | 3 | 4 | 5

2 광합성과 세포 호흡의 전자 전달계를 비교하여 설명할 수 있는가? 1 | 2 | 3 | 4 | 5

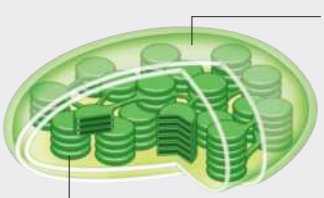
개념 정리하기

핵심 내용 정리하기

1 광합성 과정

1. 엽록체와 광합성 색소

(1) **엽록체의 구조**: 틸라코이드가 겹겹이 쌓여 있는 ❶ _____ 와 기질 부분인 ❷ _____ 로 구성된다.



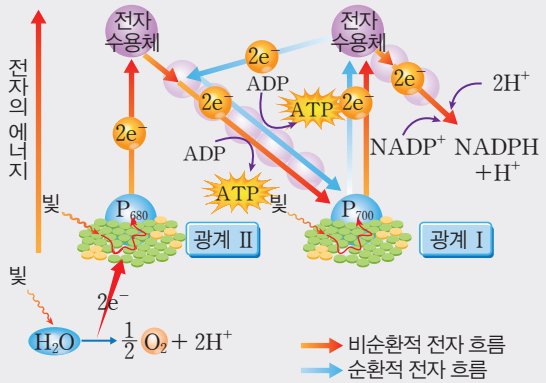
(2) **광합성 색소**: 빛에너지를 흡수하며, 엽록소 a, b, c, d 및 카로틴, 잔토필 등의 색소가 있다.

(3) 식물은 청자색광과 적색광 파장에서 빛을 가장 잘 흡수하며, 광합성이 효율적으로 일어난다.

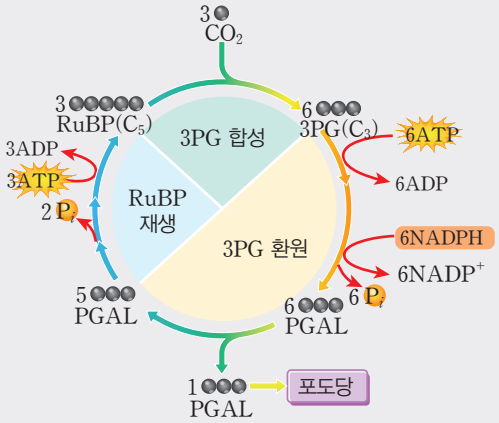
2. 광합성 과정

(1) **명반응**: 광계에서 흡수한 빛에너지를 비순환적 · 순환적 전자 흐름을 거쳐 ATP와 NADPH 형태의 화학 에너지로 전환하는 과정

❸ _____	• 광계 Ⅱ의 P_{680} → 전자 전달계 → 광계 Ⅰ의 P_{700} • 광계 Ⅰ의 P_{700} → $NADP^+$
❹ _____	광계 Ⅰ의 P_{700} → 전자 전달계 → P_{700}
광인산화	반응 중심 색소에서 방출된 전자가 전자 전달계를 거치면서 ATP 합성



(2) ❺ _____ : 명반응에서 생성된 ATP와 NADPH를 이용하여 CO_2로부터 포도당을 합성하는 과정



(3) **명반응과 탄소 고정 반응의 관계**: 명반응으로 탄소 고정 반응에 필요한 ATP와 NADPH가 공급되고, 탄소 고정 반응에서 생성된 ADP와 $NADP^+$는 명반응에 공급되어 명반응이 지속적으로 일어날 수 있다.

2 광합성과 세포 호흡의 비교

1. 광합성과 세포 호흡의 과정

구분	광합성	세포 호흡
화학 반응 과정	캘빈 회로와 TCA 회로는 모두 효소에 따른 단계적, 순환적 화학 반응	
ATP 합성	전자 전달계, 화학 삼투를 거쳐 ATP 합성	
에너지 전환	빛에너지 → 화학 에너지	화학 에너지 → ATP
고에너지 전자와 결합하는 조효소	$NADP^+$	NAD^+, FAD

2. 엽록체와 미토콘드리아의 ATP 합성 과정

구분	엽록체	미토콘드리아
전자 공여체	❻ _____	NADH, $FADH_2$
최종 전자 수용체	$NADP^+$	❼ _____
전자 전달 과정에서 H^+ 이동 방향	스트로마 → 틸라코이드 내부	기질 → 막 사이 공간
ATP 합성 장소	스트로마	기질

정답 | ❶ 그라나 ❷ 스트로마 ❸ 비순환적 전자 흐름 ❹ 순환적 전자 흐름 ❺ 탄소 고정 반응 ❻ 물(H_2O) ❼ 산소(O_2)

개념 확인하기

1 다음은 광합성과 관련한 설명이다. (　　) 안에 들어갈 알맞은 말을 쓰시오.

(1) 엽록체의 (　　)에는 광계, 전자 전달 효소, ATP 합성 효소가 있다.

(2) 광계를 이루는 광합성 색소는 (　　)와 여러 종류의 보조 색소가 있다.

(3) 전자를 잃은 P_{680}은 물을 분해하여 전자를 얻는데, 이때 (　　)가 발생한다.

(4) 탄소 고정 반응은 크게 (　　), (　　), (　　)의 3단계로 구분된다.

2 다음 설명 중 옳은 것은 ○, 옳지 않은 것은 ×표를 하시오.

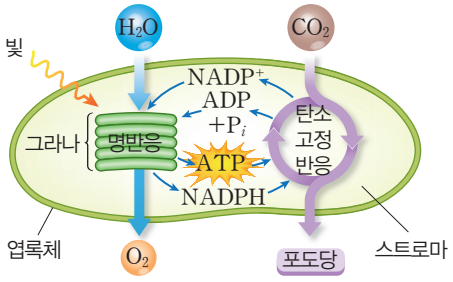
(1) 광합성에 주로 이용되는 빛은 녹색광이다. ……(　　)

(2) 명반응에서 $NADP^+$의 환원이, 탄소 고정 반응에서 NADPH의 산화가 일어난다. ……(　　)

(3) 순환적 전자 흐름에서는 NADPH가 생성되지 않는다. ……(　　)

(4) 빛을 주지 않아도 탄소 고정 반응은 지속적으로 일어날 수 있다. ……(　　)

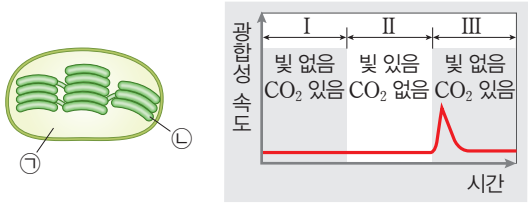
3 그림은 명반응과 탄소 고정 반응의 관계를 나타낸 것이다.



명반응과 탄소 고정 반응의 관계를 서술하시오.

개념 응용하기

1 그림 (가)는 엽록체의 구조를, 그림 (나)는 빛과 CO_2 조건에 따른 광합성 속도를 나타낸 것이다.

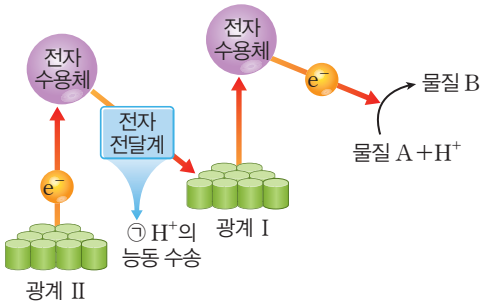


(가)　　(나)

(1) ㉠과 ㉡ 중 ATP가 합성되는 장소를 쓰시오.

(2) 구간 I 과 구간 III은 같은 조건임에도 불구하고 다른 반응이 나타난다. 그 까닭은 무엇인지 서술하시오.

2 그림은 틸라코이드 막에서 일어나는 전자 흐름의 한 유형을 나타낸 것이다.



(1) ㉠이 일어나는 방향을 엽록체의 구조를 토대로 서술하시오.

(2) 물질 A와 물질 B의 명칭을 쓰시오.

(3) 광계 II와 광계 I 중 물의 광분해가 일어나는 곳은 어디인지 쓰시오.

단원 마무리

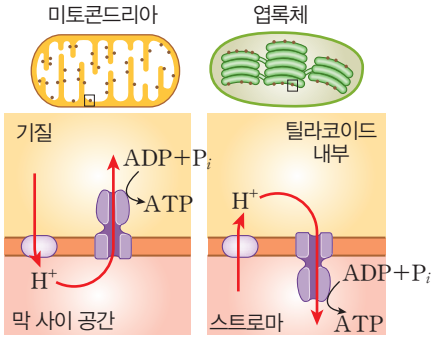
핵심 바로 알기

광합성과 세포 호흡에서의 ATP 합성
전자 전달 과정에서 막을 경계로 H^+ 농도 기울기가 형성되고, H^+이 ATP 합성 효소를 거쳐 이동하면서 ATP가 합성된다.

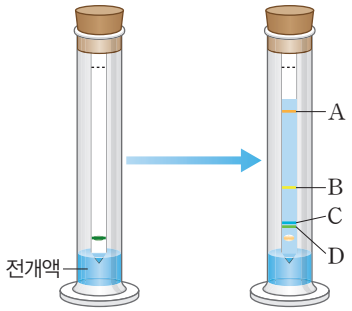
광합성 색소 분리
녹색식물의 광합성 색소에는 카로틴, 잔토필, 엽록소 a, 엽록소 b의 4가지가 있다.

발효
산소 호흡은 산소를 이용해서 유기물을 완전히 분해하여 에너지를 얻는 과정이고, 발효는 산소가 없는 환경에서 전자 전달계를 사용하지 않고 유기물을 분해하여 에너지를 얻는 과정이다.

1 그림은 미토콘드리아와 엽록체에서 ATP가 합성되는 과정을 나타낸 것이다. 미토콘드리아와 엽록체의 공통점과 차이점을 각 세포 소기관의 구조와 ATP 합성 과정을 중심으로 서술하시오.



2 그림은 잎에서 추출한 광합성 색소를 크로마토그래피로 분리하는 과정을 나타낸 것이다. A~D 중 전개가 가장 멀리된 순서부터 색소의 명칭을 쓰고, 각 색소의 기능을 서술하시오.



3 다음은 발효와 관련한 자료이다.

> 발효는 미생물을 이용해 인간에게 유용한 물질을 얻어 내는 과정으로 산소를 사용하지 않고 에너지를 얻는 당 분해 과정이다. 발효에는 크게 알코올 발효와 젖산 발효가 있다. 발효는 빵을 부풀리거나 술을 만드는 데 사용되고, 요구르트를 만들거나 숙성된 김치를 만드는 데도 사용된다.

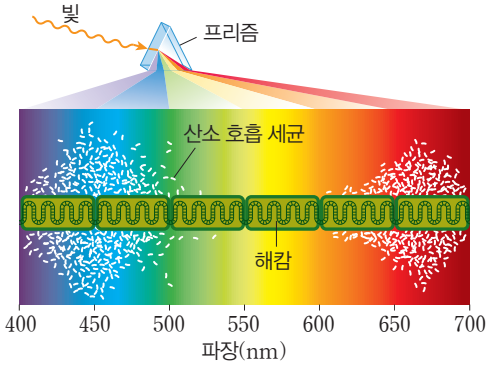
(1) 알코올 발효와 젖산 발효가 산소 호흡보다 ATP 합성량이 적은 까닭은 무엇인지 서술하시오.

(2) 빵을 부풀리는 데 사용한 발효는 알코올 발효와 젖산 발효 중 어느 것인지 쓰고, 그 까닭을 서술하시오.

4 다음은 엥겔만의 연구 자료이다.

1881년에 엥겔만은 광합성이 효율적으로 일어나는 빛의 파장을 발견하였다. 그는 광합성 결과 O_2가 생성되는 것을 이용해 광합성이 활발한 영역은 O_2 농도가 높을 것이고, 이것을 선호하는 산소 호흡 세균이 많이 모여들 것이라고 가설을 세웠다.

긴 선형의 조류인 해캄에 프리즘으로 분리한 다양한 파장의 빛을 비추고 해캄 주변에 산소 호흡 세균을 넣어 주었다. 그 결과 산소 호흡 세균이 청자색광과 적색광을 비춘 영역에 주로 모여드는 것을 보고 광합성이 청자색광과 적색광에서 효율적으로 일어남을 발견하였다.



(1) 광합성이 활발한 곳에 산소 호흡 세균이 모여드는 까닭은 무엇인지 서술하시오.

(2) 해캄이 청색광, 녹색광, 적색광 중 가장 적게 흡수하는 빛은 무엇인지 쓰고, 그 까닭을 서술하시오.

핵심 바로 알기

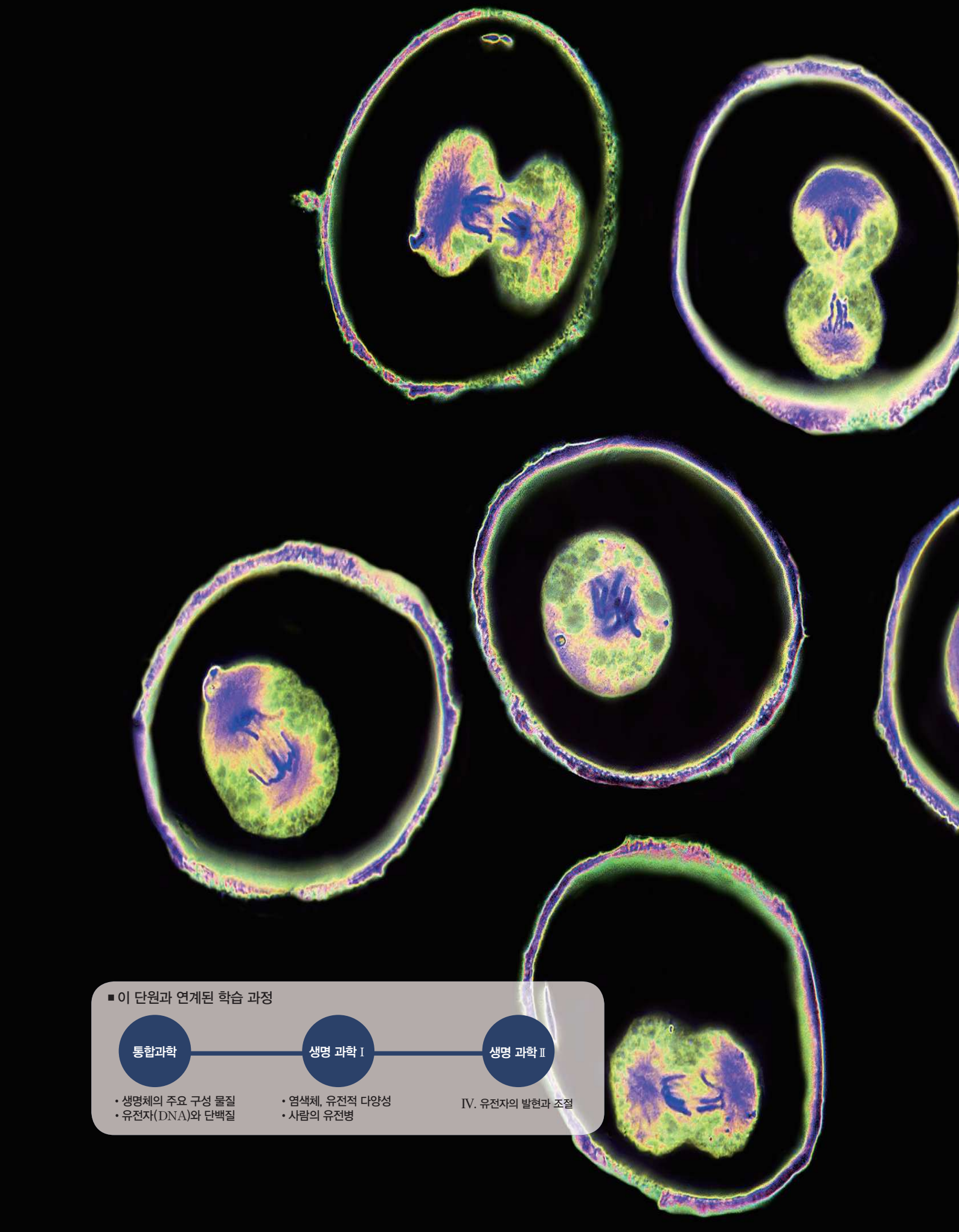
빛의 파장과 광합성

식물은 가시광선을 이용하여 광합성을 하는데, 식물이 갖고 있는 광합성 색소가 빛을 흡수하여 광합성에 이용한다. 광합성 색소의 종류에 따라 주로 흡수하거나 반사 및 투과하는 빛의 파장이 다르다. 식물은 엽록소가 가장 잘 흡수하는 청자색광과 적색광을 주로 이용하여 광합성을 한다.

나의 공부 돌아보기

✱ 성취 정도를 ✓ 표시해 보자

1	미토콘드리아와 엽록체의 구조와 기능을 비교하여 설명할 수 있다.	1 | 2 | 3 | 4 | 5
2	산화적 인산화 과정을 화학 삼투로 설명할 수 있다.	1 | 2 | 3 | 4 | 5
3	실생활 속에서 발효를 이용한 사례를 말할 수 있다.	1 | 2 | 3 | 4 | 5
4	광합성과 관련된 과학사 조사 활동에 적극적으로 참여하였다.	1 | 2 | 3 | 4 | 5
5	세포 호흡과 광합성의 전자 전달계를 비교하여 설명할 수 있다.	1 | 2 | 3 | 4 | 5

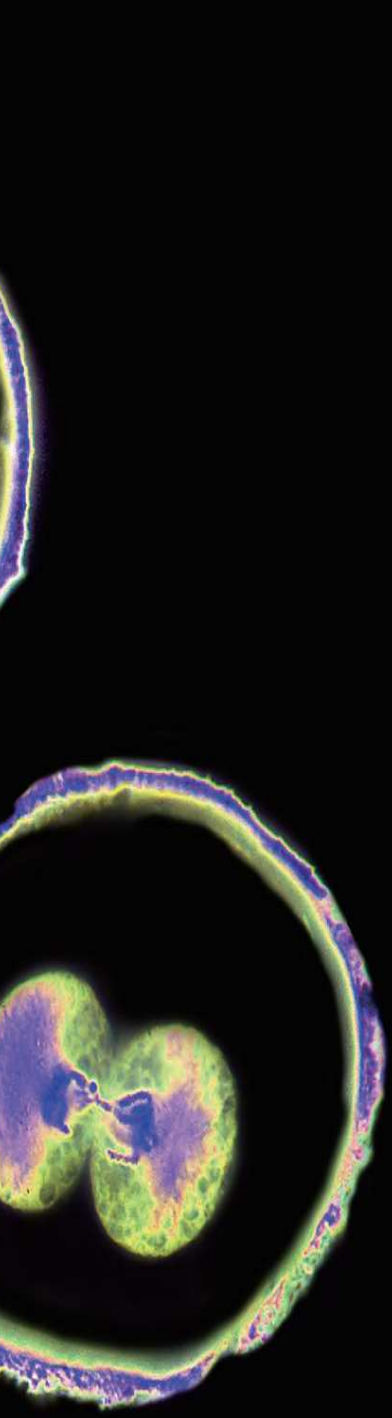


■ 이 단원과 연계된 학습 과정

통합과학
- 생명체의 주요 구성 물질
- 유전자(DNA)와 단백질

생명 과학 Ⅰ
- 염색체, 유전적 다양성
- 사람의 유전병

생명 과학 Ⅱ
Ⅳ. 유전자의 발현과 조절



Ⅳ 유전자의 발현과 조절

생물의 특성은 모두 각각의 생물이 가지고 있는 유전 정보에 따라 결정된다. 생명체는 유전 정보를 어떻게 저장하고 복제하며, 이 정보를 어떻게 사용하여 생명을 영위하는지 알아보자.

1. 유전 물질의 구조와 DNA 복제
2. 유전자 발현
3. 유전자 발현의 조절

■ 이 단원의 주요 핵심 역량

과학적 사고력	DNA의 복제 모델 이해하기
과학적 탐구 능력	DNA로부터 단백질이 만들어지는 과정 모의실험하기
과학적 문제 해결력	유전자의 기능을 확인하는 연구 과정 및 결과 이해하기
과학적 의사소통 능력	DNA 복제의 오류로 나타날 수 있는 결과 토의하기
과학적 참여와 평생 학습 능력	혹스 유전자에 관한 연구 자료 조사하기

×24000, 색 처리

유전 물질의 구조와 DNA 복제

01. 유전 물질의 구조와 특성

02. DNA 복제

이 단원의 학습 목표

유전 물질인 DNA의 구조와 특성을 알고, 원핵생물과 진핵생물의 유전체 구성과 유전자 구조의 차이를 설명할 수 있다. DNA의 반보존적 복제 과정을 이해하고, 모형을 이용하여 복제 과정을 설명할 수 있다.

자기 점검 – 알고 있는 용어에 표시해 보자.

뉴클레오타이드 ☐	DNA ☐	RNA ☐	염기 ☐
유전자 ☐	염색체 ☐	당 ☐	DNA 복제 ☐

▶ 표시하지 못한 용어는 생명 과학 I 교과서 '유전' 단원에서 확인해 보자.

학습 계획 세우기 – 학습 목표를 달성하기 위해 어떤 준비를 할 수 있을지 써 보자.

예 DNA의 이중 나선 구조를 조사한다.

01 유전 물질의 구조와 특성

- 유전 물질의 구조와 특성을 설명할 수 있다.
- 원핵생물과 진핵생물의 유전체 구성과 유전자 구조의 차이점을 설명할 수 있다.

꼬리를 흔들고 애교를 부리는 등 장난감 강아지를 움직이게 하는 정보는 장난감 안의 작은 기판에 들어 있다. 그렇다면 실제 생명체를 움직이는 정보는 어디에, 어떻게 저장되어 있을까?

1 유전 물질의 확인

멘델은 유전 원리를 설명하면서 유전 형질을 결정하는 유전 인자가 부모로부터 자손으로 전달된다고 주장하였으나, 유전 인자의 정체는 전혀 알지 못했다. 1900년대 초에 유전 인자가 염색체에 존재한다는 염색체설이 제안된 이후로 염색체의 주요 구성 물질인 DNA와 단백질 중 하나가 유전 물질일 것으로 추정되었다. 유전 형질은 매우 다양하므로, 당시 과학자들은 구조가 단순한 DNA보다 다양한 구조를 나타낼 수 있는 단백질이 유전 물질일 가능성이 크다고 생각했다.

1928년에 그리피스(Griffith, F., 1879~1941)는 유전 물질의 정체를 확인할 수 있는 실험적 토대를 마련했다. 폐렴균은 병원성인 S형 균과 비병원성인 R형 균 두 종류가 있다. |그림 Ⅳ-1|과 같이 생쥐에 살아 있는 S형 균을 주사했을 때뿐만 아니라 열처리한 S형 균을 살아 있는 R형 균과 함께 주사했을 때도 생쥐가 폐렴에 걸려 죽었으며, 죽은 생쥐에서 살아 있는 S형 균이 발견되었다.

폐렴균
S형 균은 숙주의 면역 체계로부터 자신을 보호하는 피막을 가지고 있어 병원성을 나타낸다. 반면에 R형 균은 피막을 형성하지 못해 숙주 면역 세포의 작용으로 쉽게 제거되므로 병원성을 나타내지 못한다.

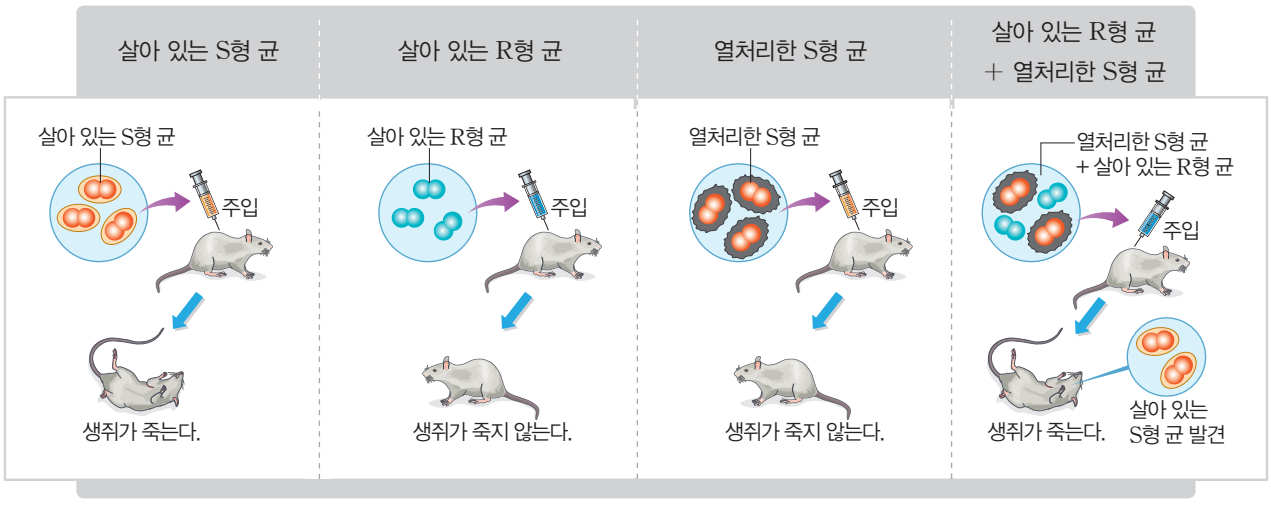


그림 Ⅳ-1 폐렴균을 이용한 형질 전환 실험

허시(Hershey, A. D., 1908~1997)**(위)와 체이스**(Chase, M., 1927~2003)**(아래)**: 미국의 생물학자들로 박테리오파지를 이용한 실험으로 DNA가 유전 물질이라는 결정적인 증거를 제시하였다.

실험에서 열처리한 S형 균만을 주사했을 때는 쥐가 폐렴에 걸리지 않았으므로, 열처리로 모든 S형 균이 죽었음을 알 수 있다. 그런데도 살아 있는 R형 균과 열처리한 S형 균을 함께 주사했을 때는 살아 있는 S형 균이 나타나므로, 그리피스는 열처리한 S형 균에 남아 있던 어떤 물질이 R형 균을 S형 균으로 형질 전환시켰을 것이라고 생각했다.

1944년에 에이버리(Avery, O. T., 1877~1955)와 그의 동료들은 S형 균의 추출액을 성분별로 분리하고, 여기에 여러 분해 효소를 첨가한 결과 DNA 추출액만이 형질 전환 능력을 나타내며 이 능력은 DNA 분해 효소를 처리하면 사라진다는 것을 알게 되었다. 이 결과를 토대로 이들은 형질 전환을 일으키는 물질이 DNA라고 발표하였다.

그러나 이들의 연구 결과가 발표된 이후에도 단백질이 유전 물질로 더 적합하다고 생각했던 당시의 많은 사람들은 이들의 연구 결과를 완전히 받아들이지 못했다. 이러한 논란은 1952년에 허시와 체이스가 박테리오파지를 사용한 실험 결과를 발표한 후에 비로소 잠잠해지게 되었다. |그림 Ⅳ-2|와 같은 박테리오파지는 세균에 침투하는 바이러스의 한 종류로 단백질 껍질과 그 속에 들어 있는 DNA로 이루어져 있다. 허시와 체이스는 박테리오파지가 세균에 감염되는 과정에서 단백질은 외부에 남고 DNA만이 숙주 세균 안으로 들어가며, 이 DNA를 이용해 세균 안에서 DNA와 단백질로 구성된 새 박테리오파지가 만들어진다는 것을 확인하였다. 즉, 허시와 체이스는 새로운 박테리오파지 생성에 필요한 유전 정보가 DNA에 있음을 증명했다.

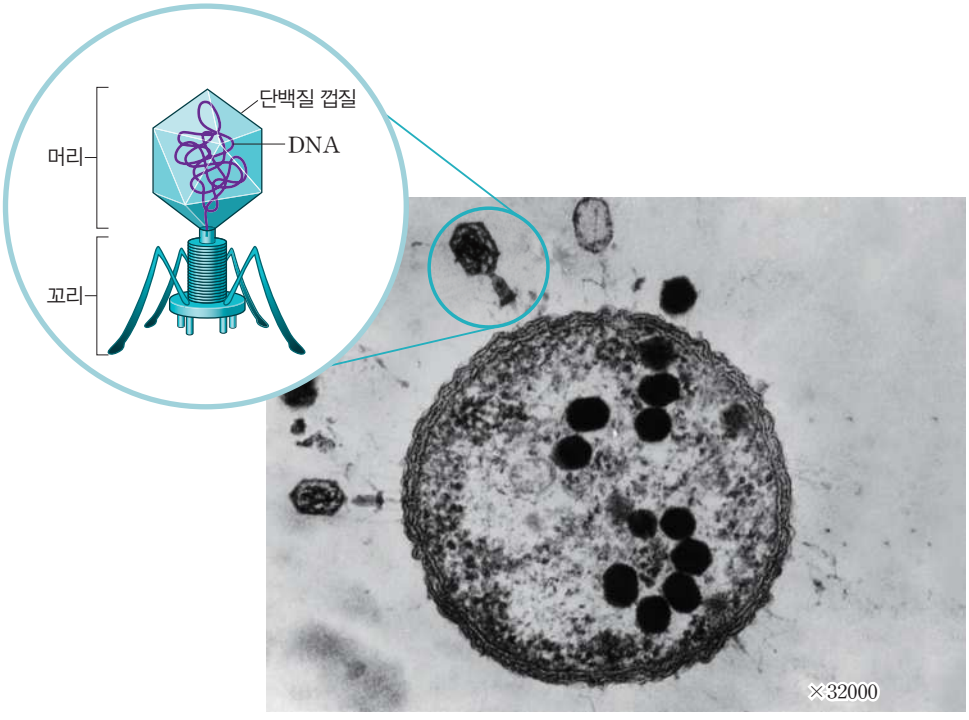


그림 Ⅳ-2 박테리오파지의 구조(원)와 박테리오파지가 세균에 감염되는 모습(아래)

2 DNA의 구조와 특성

DNA의 구성 DNA는 |그림 Ⅳ−3|과 같이 여러 개의 뉴클레오타이드가 연결되어 만들어지는데, 뉴클레오타이드는 당(디옥시리보스), 인산, 염기로 이루어져 있다. 염기는 탄소, 수소, 산소, 질소로 이루어진 고리 모양의 화합물로, 고리가 2개인 아데닌(A), 구아닌(G)과 고리가 1개인 타이민(T), 사이토신(C)의 4종류가 있다.

여러 개의 뉴클레오타이드가 인산과 당 사이의 공유 결합으로 연결되면 사슬 형태의 중합체인 폴리뉴클레오타이드가 형성된다. 이때 뉴클레오타이드는 일정한 방향으로 배열되므로 폴리뉴클레오타이드의 한쪽 끝은 디옥시리보스 당의 5번 탄소 방향(5′ 말단)이고, 다른 끝은 3번 탄소 방향(3′ 말단)으로 사슬 전체가 방향성이 있다.

DNA와 RNA의 차이
RNA의 뉴클레오타이드는 디옥시리보스 당 대신에 리보스 당이 있으며, 타이민 염기 대신에 유라실(U) 염기가 있다. 또한 DNA는 이중 나선 구조이지만, RNA는 단일 가닥으로 구성되어 있으며, 서열에 따라 다양하게 접혀 다양한 입체 구조를 나타낼 수 있다.

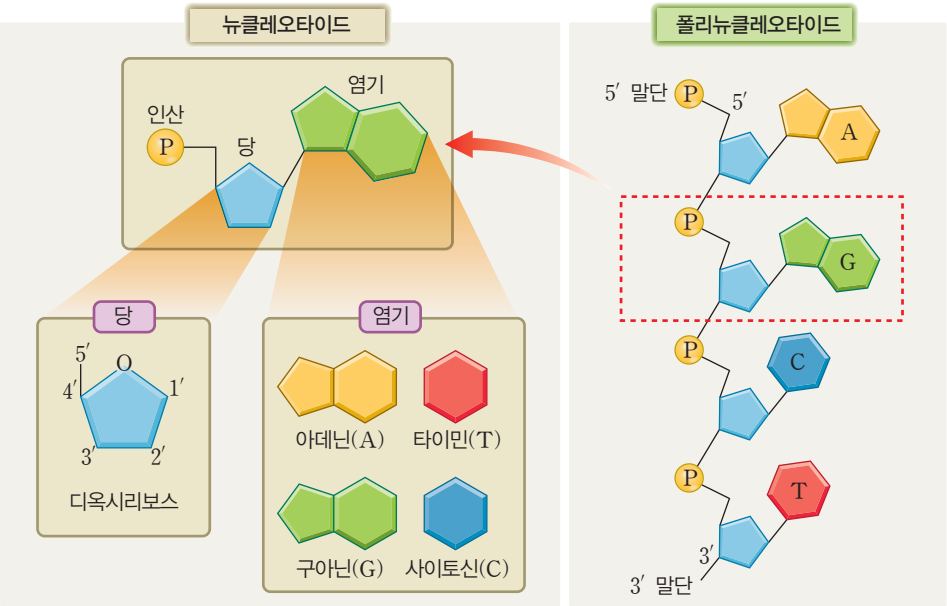


그림 Ⅳ−3 뉴클레오타이드 | DNA의 염기는 아데닌(A), 타이민(T), 구아닌(G), 사이토신(C)으로 구성되어 있다.

DNA의 입체 구조 1950년에 샤가프(Chargaff, E., 1905~2002)는 여러 생물의 DNA를 추출하여 조사한 결과 종에 따라 염기의 구성은 다르지만 항상 A와 T 염기의 양이 서로 같고, G와 C의 양도 서로 같다는 것을 알아냈다. 이처럼 DNA에 A와 T, G와 C가 같은 양으로 들어 있는 것을 샤가프 법칙이라고 하는데, 이들 염기의 양이 왜 같은지는 DNA의 입체 구조가 밝혀지기 전까지 알려지지 않았다. 1952년에 프랭클린(Franklin, R., 1920~1958)과 윌킨스(Wilkins, M. H. F., 1916~2004)는 |그림 Ⅳ−4|와 같은 DNA의 X선 회절 사진을 분석하여 DNA의 기본 구조가 나선이고, 당−인산 골격이 나선 구조의 바깥쪽에 있음을 알아냈으며, 1953년에 왓슨과 크릭은 이들의 자료를 바탕으로 DNA의 입체 구조 모형을 발표하였다.

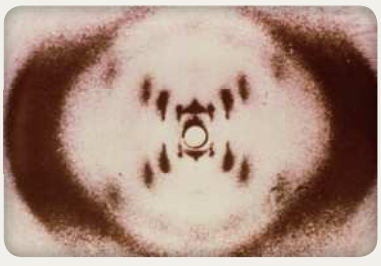


그림 Ⅳ−4 프랭클린과 윌킨스가 얻은 DNA의 X선 회절 사진

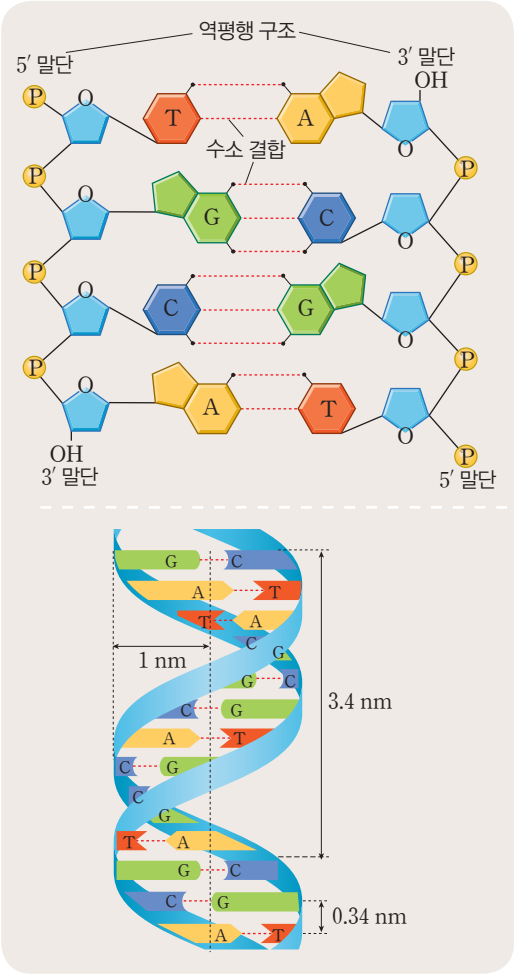


그림 Ⅳ−5 DNA에서 염기 사이의 수소 결합(위)과 DNA 이중 나선 구조(아래)

DNA 분자는 |그림 Ⅳ−5|와 같이 두 가닥의 폴리뉴클레오타이드 사슬이 서로 마주 보고 꼬여 있는 이중 나선 구조를 이루는데, 당−인산 골격은 바깥쪽에 위치하며, 한 사슬의 염기는 다른 사슬의 염기와 짝을 이루어 수소 결합으로 연결되어 있다. 이때 항상 A는 T와, G는 C와만 수소 결합을 형성하며, 이를 상보적 결합이라고 한다. A와 T 사이에는 2개의 수소 결합, G와 C 사이에는 3개의 수소 결합을 형성한다. 따라서 이중 나선 DNA에서 한 가닥의 염기 서열을 알면 나머지 가닥의 염기 서열도 정확히 예측할 수 있다. 또한 2개의 고리 구조를 가지는 큰 A 또는 G가 하나의 고리 구조를 가지는 작은 T 또는 C와 결합하므로 이중 나선 가닥은 염기쌍과 관계없이 지름이 일정하다.

이중 나선 DNA는 약 10염기쌍마다 한 바퀴씩 회전하는 나선 구조로 되어 있으며, 나선의 지름은 약 2 nm이고, 한 바퀴 회전할 때 나선의 길이는 3.4 nm이다. 상보적 결합으로 연결된 두 가닥의 폴리뉴클레오타이드 사슬은 방향성이 반대이므로, 이중 나선의 한쪽 끝에서 한 나선이 5′ 말단이라면 다른 나선은 3′ 말단이다.

3 유전체의 구성과 유전자 구조

세포는 |그림 Ⅳ−6|과 같이 구조에 따라 핵과 세포 소기관이 발달한 진핵세포와 핵이 없는 원핵세포로 구분된다. 진핵세포에서는 DNA가 핵 안에 위치하지만, 핵이 없는 원핵세포에서는 DNA가 세포 안 가운데 부분에 응축되어 위치한다.

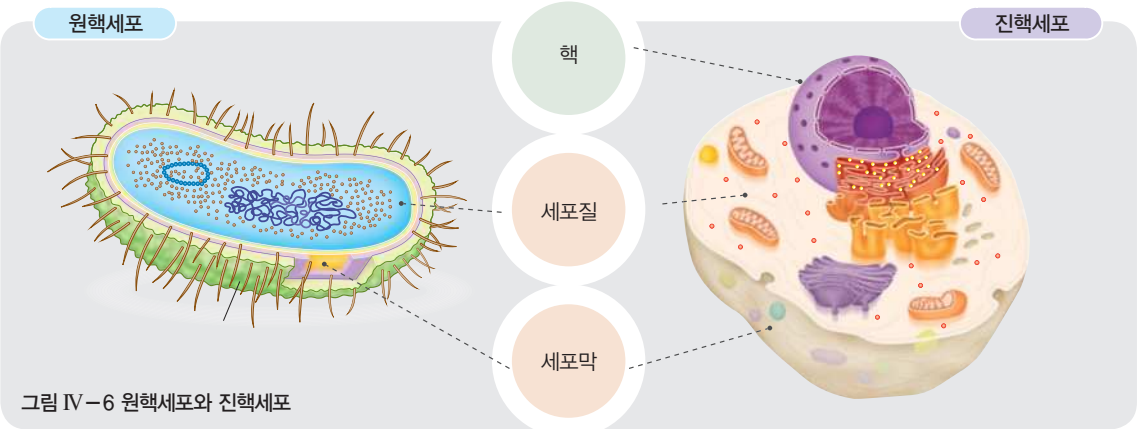


그림 Ⅳ−6 원핵세포와 진핵세포

유전체의 구성 | 원핵세포의 유전체는 진핵세포보다 그 크기가 작고, 대부분 하나의 원형 염색체로 이루어져 있으며, 염색체 DNA는 뉴클레오솜과 같은 구조를 나타내지 않는다. 진핵세포의 유전체는 원핵세포보다 크기가 크고, 종에 따라 고유한 개수의 선형 염색체로 구성되어 있으며, 염색체 DNA는 뉴클레오솜 구조를 형성한다.

고세균의 유전체
고세균은 핵이 없는 생물이지만 히스톤 단백질이 있어 염색체 DNA에 히스톤이 결합한 구조를 가진다.

유전자의 구조 | 원핵세포에서는 유전체 DNA 안에 유전자가 매우 조밀하게 배열되어 있으며, 하나의 유전자 안에 유전 정보가 빈 공간 없이 연속적으로 담겨 있다. 반면 사람과 같은 고등 진핵생물의 세포에서는 |그림 Ⅳ-7|과 같이 유전체 안의 유전자 사이에 유전 정보를 저장하지 않는 빈 부분이 많고, 하나의 유전자 안에 단백질 정보가 들어 있는 부위인 엑손과 단백질 정보가 들어 있지 않는 부위인 인트론이 있어 하나의 유전자가 여러 개의 DNA 부분으로 구성되는 경우가 많다. 또한 유전자의 크기도 대부분 원핵세포보다 진핵세포가 크다.

표 Ⅳ-1 다양한 생물의 유전체 특징 비교

구분	염색체 수(n)	염색체 형태	유전체 크기 (염기쌍)	유전자 수 (추정치)
대장균	1	원형	4.6×10^6	4400
효모	16	선형	1.2×10^7	5800
초파리	4	선형	1.8×10^8	14700
애기장대	5	선형	1.2×10^8	26500
생쥐	20	선형	2.6×10^9	22000
사람	23	선형	3.2×10^9	20000

출처: Watson 외, 2013.

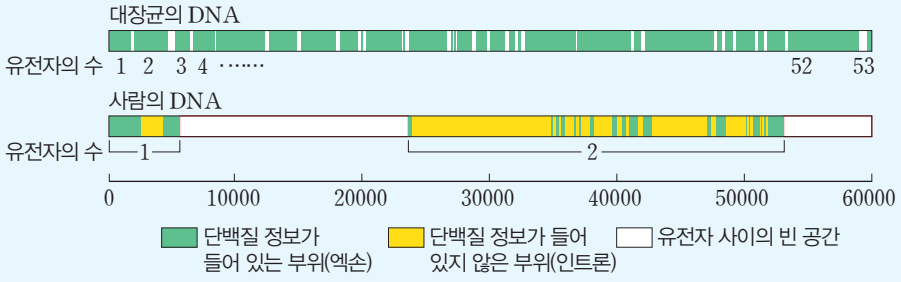


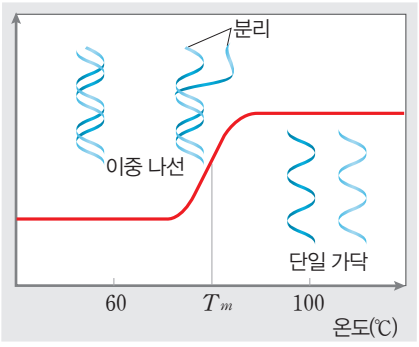
그림 Ⅳ-7 대장균과 사람의 유전체 DNA 비교 | 60000 염기쌍 길이의 DNA에 대장균에는 53개의 유전자가 조밀하게 배열되어 있다. 사람에는 같은 길이의 DNA에 2개의 유전자만 있으며, 하나의 유전자도 여러 DNA 부분으로 나누어져 있다.

핵심 역량 기르기

DNA 이중 나선의 분리와 재결합

DNA 이중 나선에서 염기 사이의 상보적 결합은 수소 결합으로, 상대적으로 약한 결합에 속한다. 따라서 효소의 작용이나 높은 온도 등 다양한 조건에서 이중 나선이 풀어져 단일 가닥이 될 수 있다. 그러나 이러한 요인이 제거되면 다시 결합하여 이중 나선을 재형성한다. 예를 들어 온도가 높아지면 두 가닥의 염기 사이의 수소 결합이 끊어져 단일 가닥으로 나뉘고, 온도가 낮아지면 다시 이중 나선을 형성한다. DNA의 이러한 성질은 DNA 복제, 전사와 같은 생체 내 반응에 중요하며, 중합 효소 연쇄 반응 등을 비롯한 다양한 실험에 이용되고 있다.

Q DNA의 길이가 길어지면 이중 나선 DNA가 풀리는 온도(T_m)는 어떻게 변할지 생각해 보자.

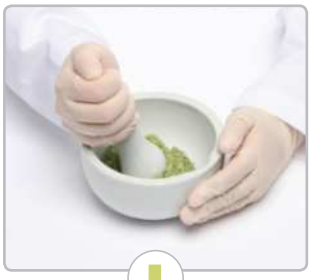


▲ **온도에 따른 DNA 이중 나선의 분리와 재결합** | DNA 이중 나선이 풀리는 온도가 T_m이다.

탐구 실험

브로콜리에서 DNA 추출하기

• **목표**: 식물에서 유전 물질인 DNA를 추출하고, DNA를 추출하는 원리를 이해할 수 있다.



준비물

브로콜리, 증류수, 세제, 소금, 막자사발, 막자, 에탄올, 체(또는 거즈), 비커, 나무젓가락, 전자저울, 약포지, 약숟가락, 유리 막대, 삼각 플라스크, 스포이트

주의 사항

• 유리 기구를 사용할 때는 깨지지 않도록 주의한다.

과정

1. 증류수 50 mL에 소금 1 g과 세제 3 mL를 넣고, 소금이 완전히 녹을 때까지 잘 섞어 소금–세제액을 만든다.
2. 브로콜리 약 50 g을 막자사발에 넣고 막자로 간다.
3. 소금–세제액 50 mL를 브로콜리가 들어 있는 막자사발에 넣고, 5분~10분 동안 충분히 갈아 준다.
4. 간 브로콜리를 구멍이 좁은 체나 거즈에 걸러 브로콜리 추출액을 비커에 담는다.
5. 유리 막대를 브로콜리 추출액이 있는 비커 벽에 대고 추출액의 2배에 해당하는 차가운 에탄올을 조심스럽게 흘려 넣는다.
6. 가는 실 모양의 물질이 생기면 이를 나무젓가락으로 감아올린다.

정리

❶ 이 실험에서 세제를 넣어 주는 까닭은 무엇인가?

❷ 브로콜리 추출액에 에탄올을 넣었을 때 생기는 물질의 색과 형태는 어떠한가?

생각 넓히기 감아올린 물질이 DNA인지 확인하고 싶으면 어떤 실험을 추가해야 할지 각자의 생각을 이야기해 보자.

자기 평가하기

✱ 성취 정도를 ✓ 표시해 보자

1. 원핵세포와 진핵세포의 유전체 구성 및 유전자 구조를 비교할 수 있는가? 1 | 2 | 3 | 4 | 5
2. 모든 생물의 DNA에 샤가프의 법칙이 적용되는 까닭을 설명할 수 있는가? 1 | 2 | 3 | 4 | 5

02 DNA 복제

- 반보존적 DNA 복제 과정을 이해할 수 있다.
- 모형을 이용하여 DNA 복제 과정을 설명할 수 있다.

인쇄된 자료는 복사기나 스캐너로 복사할 수 있고, 디지털 파일은 컴퓨터로 복사하여 어디서든 사용할 수 있다. 세포에서 생명 유지에 필요한 유전 정보와 유전 물질은 어떻게 복사될까?

1 DNA 복제 모델

세포에 저장된 유전 정보를 다음 세대로 전달하려면 DNA를 복제해야 한다. DNA 복제 방식에는 이론적으로 보존적, 반보존적, 분산적 복제 모델이 있다.

메셀슨(Meselson, M., 1930~)과 스탈(Stahl, F., 1929~)은 대장균을 무거운 질소(^{15}N)가 있는 배양액에서 여러 세대 동안 배양하여 ^{15}N가 있는 무거운 DNA를 가지는 대장균을 얻었다. 이 대장균의 일부를 가벼운 질소(^{14}N)가 있는 배양액으로 옮겨 배양한 후 세대 별로 DNA의 상대적인 밀도를 조사했다. 이때 1회 복제 후 중간 무게의 DNA 띠가 형성되었고, 이 결과로 DNA 복제가 보존적으로 일어나지 않음을 알았다. 2회 복제 후에 가벼운 DNA 띠와 중간 무게의 DNA 띠가 나타난 것으로부터 분산적 복제 모델도 맞지 않음을 알게 되었다. 즉, DNA는 반보존적으로 복제됨을 알았다.

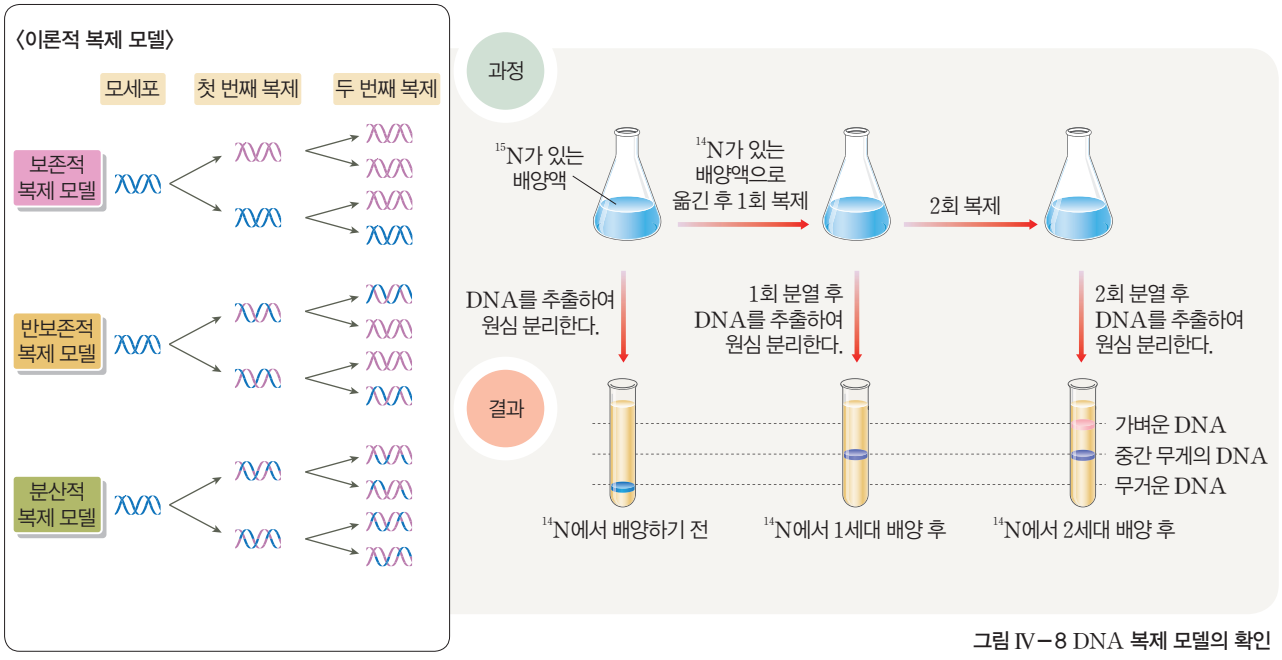


그림 Ⅳ-8 DNA 복제 모델의 확인

2 DNA의 반보존적 복제

DNA 복제가 반보존적으로 일어나려면 DNA 이중 나선 구조가 풀리고, 풀린 두 가닥이 각각 주형으로 사용되어 새로운 DNA 가닥이 합성되어야 한다. 이러한 DNA 합성을 담당하는 효소가 DNA 중합 효소이다. DNA 중합 효소는 |그림 Ⅳ-9|와 같이 합성되는 DNA 가닥의 3′ 말단에 주형 가닥과 상보적인 뉴클레오타이드를 하나씩 순서대로 연결하여 DNA 가닥을 신장시킨다. 따라서 DNA 합성이 시작되기 위해서는 먼저 주형 가닥에 결합하여 3′ 말단을 제공하는 작은 RNA 또는 DNA 조각이 필요한데, 이를 프라이머라고 한다. 합성되는 DNA 가닥은 주형 DNA 가닥과 결합한 채로 남아 이중 나선 DNA가 만들어진다.

DNA 중합 효소는 3′ 말단에만 뉴클레오타이드를 첨가하기 때문에 DNA 가닥을 5′→3′ 방향으로만 신장시킬 수 있다. |그림 Ⅳ-10|과 같이 DNA 복제는 DNA 복제가 시작되는 부분에서 DNA가 풀어지면 한 가닥은 DNA가 풀어지는 방향으로 연속적으로 합성되는데, 이 가닥을 선도 가닥이라고 한다. 그런데 이중 나선 DNA에서 두 가닥은 방향성이 반대이므로 반대편 가닥은 DNA가 풀어지는 방향으로 합성될 수 없어 작은 조각의 DNA가 반대 방향으로 만들어진 다음 DNA 연결 효소가 이를 연결한다. 이렇게 불연속적으로 합성되는 가닥을 지연 가닥이라고 한다.

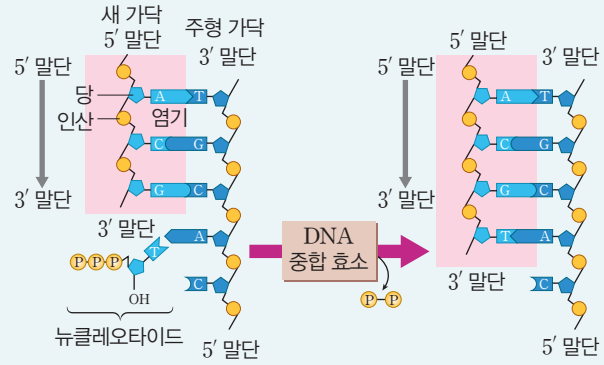


그림 Ⅳ-9 DNA 중합 효소 반응

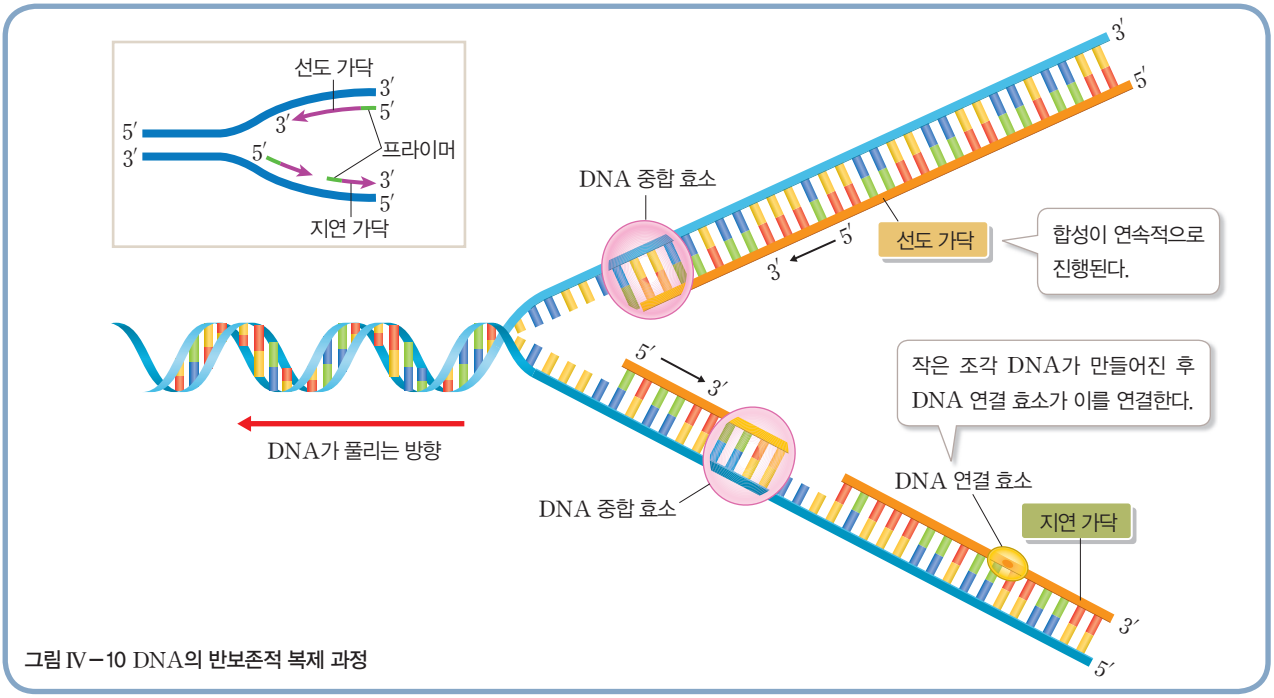


그림 Ⅳ-10 DNA의 반보존적 복제 과정

탐구 모의실험

반보존적 DNA 복제 모의실험

• **목표**: 이중 나선 DNA의 반보존적 복제 과정을 모형으로 확인할 수 있다.

과정

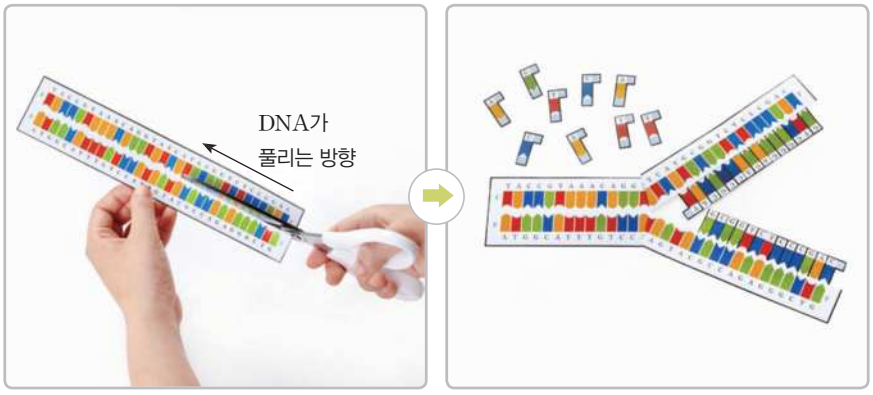
준비물
부록 221쪽의 이중 나선 DNA 모형과 뉴클레오타이드 모형, 가위, 펜, 풀

1 부록 221쪽에 첨부된 이중 나선 DNA 모형과 뉴클레오타이드 모형을 실선을 따라 잘라 내어 준비한다.

2 이중 나선 DNA 모형이 오른쪽에서 왼쪽으로 풀리면서 DNA 복제가 일어난다고 가정하자. 가위로 DNA 모형을 이중 나선 DNA가 풀리는 방향으로 반 정도 잘라 두 가닥으로 분리한다.

3 주형이 되는 DNA에 잘라 낸 뉴클레오타이드 모형을 순서대로 붙여 상보적인 DNA 가닥을 합성하고, 새로 합성된 각각의 DNA 가닥에 합성한 방향을 화살표로 표시한다.

4 복제되지 않은 나머지 부분도 가위로 잘라 풀어낸 후, 과정 **3**과 같이 상보적인 가닥을 합성하여 2개의 이중 나선 DNA 모형을 완성한다.



주의 사항
• 모형을 자를 때 손을 다치지 않도록 주의한다.

정리

❶ 과정 **3**에서 위쪽 가닥과 아래쪽 가닥에 상보적인 DNA는 각각 어느 방향으로 합성했는지 쓰고, 그렇게 한 까닭을 설명해 보자.

❷ 합성되는 두 가닥 중 지연 가닥은 어느 것인가?

생각 넓히기 복제한 DNA 모형을 다른 친구와 교환하여 DNA의 복제에 오류가 없는지 확인해 보자. 만일 DNA 복제에 오류가 생기면 세포에서는 어떤 현상이 나타날지 생각하여 발표해 보자.

자기 평가하기

✱성취 정도를 ✓표시해 보자

1 DNA의 복제 모델을 증거를 들어 설명할 수 있는가?
1 | 2 | 3 | 4 | 5

2 DNA 모형을 이용하여 반보존적 복제 과정을 설명할 수 있는가?
1 | 2 | 3 | 4 | 5

개념 정리하기

핵심 내용 정리하기

1 유전 물질의 구조와 특성

1. 유전 물질의 확인

(1) 그리피스의 형질 전환 실험

- 열처리하여 죽은 S형 균이 R형 균을 S형 균으로 형질 전환 ➡ S형 균의 어떤 물질이 R형 균의 형질을 전환시킴
- ❶ _____ 을 확인할 수 있는 실험적 토대 마련

(2) 에이버리의 실험

- S형 균의 DNA 추출액이 형질 전환 능력을 가지며, ❷ _____ 를 처리하면 형질 전환 능력이 사라짐
- DNA가 형질 전환을 일으키는 유전 물질

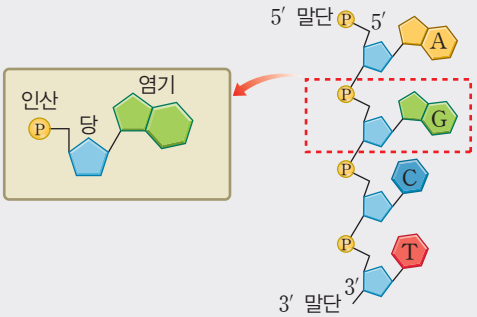
(3) 허시와 체이스의 박테리오파지 실험

- 감염 시 DNA만 숙주 세균 안으로 들어가 새로운 박테리오파지가 만들어진다.
- DNA가 유전 정보를 담고 있는 물질이다.

2. DNA의 구조와 특성

(1) 뉴클레오타이드: 당, 인산, 염기로 구성

(2) 폴리뉴클레오타이드: 뉴클레오타이드가 ❸ _____ 과 당 사이의 공유 결합으로 연결된 사슬 형태의 중합체



(3) 샤가프의 법칙: 이중 나선 DNA의 A와 T, G와 C 양은 항상 같음

(4) DNA의 구조

- 두 가닥의 폴리뉴클레오타이드 사슬이 꼬인 이중 나선 구조로 1회전은 10염기쌍이며, 1회전당 길이는 3.4 nm이고 지름은 2 nm이다.
- 당과 인산이 결합한 골격은 바깥쪽, 안쪽의 염기는 상보적으로 결합(A와 T, G와 C의 수소 결합)
- 두 가닥의 ❹ _____ 은 서로 반대

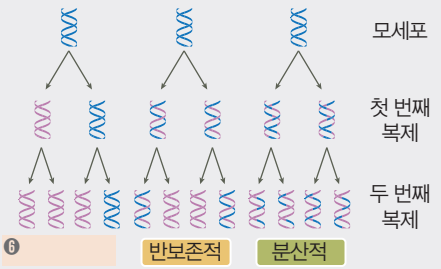
3. 유전체의 구성과 유전자 구조

구분	원핵세포	진핵세포
유전체 위치	세포질에 위치	핵에 위치
유전체 크기	작다.	크다.
유전체 구성	1개의 원형 염색체	고유한 수의 ❺ _____ 염색체
염색체 구조	뉴클레오솜 구조 없음	뉴클레오솜 구조 있음
염색체 내 유전자 배열	유전자가 조밀하게 배열	유전자 사이 공간이 많고 듬성듬성 배열
유전자 구조	유전자 안의 유전 정보는 연속적	한 유전자 안에 유전 정보가 없는 부분 있음

2 DNA 복제

1. DNA의 복제 모델

(1) 이론적 DNA 복제 모델



(2) DNA의 복제 모델 확인: 메셀슨과 스탈의 실험

- ^{15}N가 있는 배양액에서 키운 대장균을 ^{14}N가 있는 배지에서 1 또는 2 세대 배양한 후 DNA 분석
- 1번 복제 후 중간 무게 DNA가, 2번 복제 후 중간 무게와 가벼운 무게 DNA가 확인됨

  ➡ DNA는 반보존적으로 복제된다.

2. DNA의 반보존적 복제

(1) DNA 이중 가닥이 분리되어 각각이 주형으로 사용됨

(2) DNA 중합 효소가 합성되는 가닥의 ❼ _____ 에 상보적인 뉴클레오타이드 첨가

(3) 선도 가닥: DNA가 풀어지는 방향으로 합성이 연속적으로 진행

(4) ❽ _____ : DNA가 풀어지는 반대 방향으로 작은 조각이 합성된 후 DNA 연결 효소로 연결

정답 | ❶ 유전 물질 ❷ DNA 분해 효소 ❸ 인산 ❹ 방향성 ❺ 선형 ❻ 보존적 ❼ 3′ 말단 ❽ 지연 가닥

개념 확인하기

1 다음 설명에 해당하는 유전 물질을 보기에서 찾아 쓰시오.

(1) 당, 인산, 염기로 이루어진 DNA의 구성단위 ……( )

(2) 뉴클레오타이드가 연결된 사슬 형태의 중합체 ……( )

(3) DNA에서 나타나는 특정 염기 사이의 수소 결합 ……( )

보기

ㄱ. 폴리뉴클레오타이드 ㄴ. 상보적 결합
ㄷ. 뉴클레오타이드

2 이중 나선 DNA 가닥의 한쪽 끝에서 한 가닥이 5′ 말단이라면, 다른 가닥은 어떤 말단일지 쓰시오.

3 다음 설명 중 옳은 것은 ○, 옳지 않은 것은 ×표를 하시오.

(1) 진핵생물의 유전체는 원핵생물의 유전체보다 크다. ……( )

(2) 핵이 없는 원핵세포에서는 유전체 DNA가 세포질 공간에 퍼져 존재한다. ……( )

(3) 이중 나선 DNA는 10염기쌍마다 한 바퀴씩 회전하는 나선 구조를 가지고 있다. ……( )

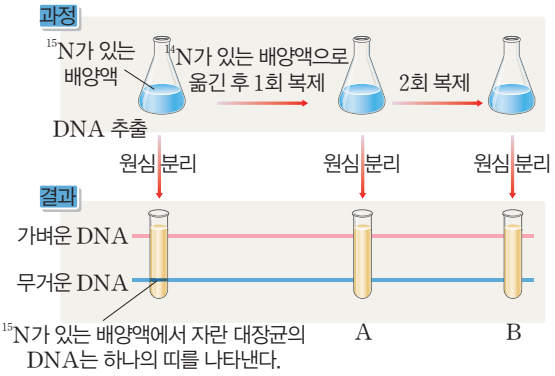
4 다음 글의 ( ) 안에 들어갈 알맞은 말을 쓰시오.

DNA 이중 나선 구조가 풀리면 DNA 중합 효소가 DNA 가닥의 3′ 말단에 ( ) 가닥과 상보적인 뉴클레오타이드를 하나씩 첨가한다. 합성되는 DNA 가닥 중 한 가닥이 ( ) 가닥이면, 다른 가닥은 작은 조각이 합성된 후 DNA 연결 효소로 연결되어 합성되는 ( ) 가닥이다.

개념 응용하기

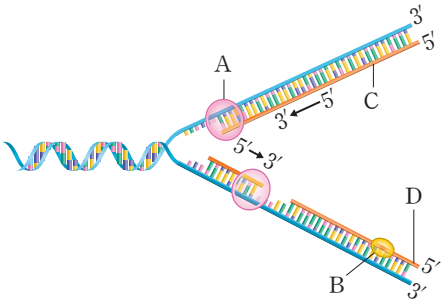
1 샤가프의 법칙은 DNA에서 A와 T 염기의 양과 G와 C 염기의 양이 항상 같다는 것이다. 샤가프의 법칙이 나타나는 까닭은 무엇인지 염기와 수소 결합을 관련지어 서술하시오.

2 그림은 DNA 복제 모델을 확인하기 위한 메셀슨과 스탈의 실험을 나타낸 것이다.



분산적 모델과 같은 방식으로 DNA 복제가 일어난다면 위의 A와 B에 예상되는 결과를 서술하시오.

3 그림은 DNA가 복제되는 과정을 나타낸 것이다.



(1) 효소 A와 B의 명칭과 가닥 C와 D의 명칭을 각각 쓰시오.

(2) 그림과 같이 두 주형 가닥에 합성되는 방식이 다른 까닭을 서술하시오.

유전자 발현

01. 유전자의 기능과 유전부호
02. 전사와 번역

이 단원의 학습 목표

유전자가 단백질 합성으로 생물의 형질을 결정한다는 것을 이해하고, 모형을 이용하여 유전 정보의 흐름을 설명할 수 있다. 또한 코돈표를 사용하여 유전자에 담긴 정보를 해독할 수 있다.

자기 점검 – 알고 있는 용어에 표시해 보자.

유전자 ☐	유전병 ☐	아미노산 ☐	유전 형질 ☐
효소 ☐	단백질 ☐	RNA ☐	리보솜 ☐

▶ 표시하지 못한 용어는 생명 과학 I 교과서 '유전' 단원에서 확인해 보자.

학습 계획 세우기 – 학습 목표를 달성하기 위해 어떤 준비를 할 수 있을지 써 보자.

예 RNA에는 어떤 종류가 있는지 알아보고, 각각의 기능을 조사해 본다.

01 유전자의 기능과 유전부호

유전자가 생물의 형질을 결정하는 원리를 유전자와 단백질의 관계로 설명할 수 있다.
유전 정보의 흐름을 전사와 번역으로 설명할 수 있다.

"영희야, 너는 엄마와 정말 닮았구나?", "당연하지! 엄마, 아빠 유전자를 물려받았는데." 유전자가 생물의 특징을 결정한다는 것을 알고 있던 영희는 자신 있게 대답했다. 그런데 유전자는 어떻게 생물의 특징을 결정하는 걸까?

1 유전자의 기능

DNA가 유전 물질이라는 사실이 밝혀지기 이전부터 유전 현상에 관한 연구로 유전자의 기능이 알려지기 시작했다. 1900년대 초에 개로드(Garrod, A., 1857~1936)는 오줌이 검게 변하는 증상이 나타나는 알캅톤뇨증은 유전병이며, 알캅톤뇨증 환자는 알캅톤을 분해하는 효소를 만드는 능력을 물려받지 못했다고 생각했다. 이를 토대로 개로드는 유전자가 화학 반응의 촉매 역할을 하는 효소를 만들어 냄으로써 유전 형질을 나타낼 것이라는 가설을 처음으로 제안하였다.

이후에 물질대사 경로와 관련한 여러 연구 결과를 토대로 대사 경로의 화학 반응은 각각 특정한 효소가 촉진한다는 연구 결과가 축적되었다. 1941년에 비들(Beadle, G. W., 1903~1989)과 테이텀(Tatum, E. L., 1909~1975)은 붉은빵곰팡이의 아미노산 합성에 관한 실험으로 유전자가 특정 효소 생성을 결정한다는 사실을 확인함으로써, 유전자가 효소를 만들어 내어 특정한 화학 반응을 일으킨다는 것을 최초로 증명하였다.

알캅톤뇨증
타이로신을 분해하는 효소에 결함이 있어, 체내에 알캅톤(호모겐티신산)이 축적되고 오줌으로 배출되는 열성 유전 질환이다. 뼈와 관절에 이상이 나타나며 조직이 갈색으로 변하고 짙은 색 소변을 보는 갈색증이 나타난다.

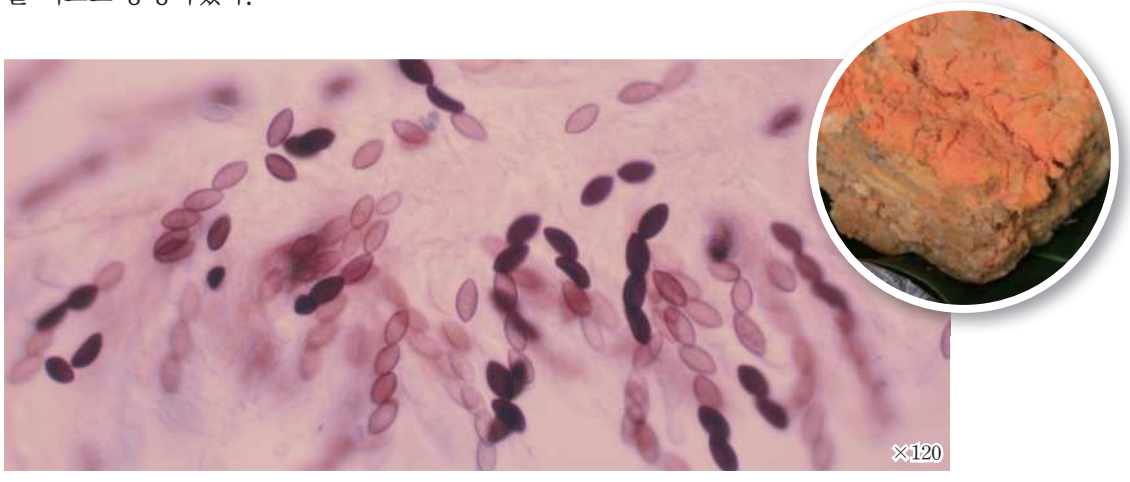


그림 Ⅳ-11 붉은빵곰팡이(좌)와 곰팡이가 생긴 빵(우)

영양 요구주
유전적 결함으로 생장에 필요한 특정 물질을 합성하지 못하는 돌연변이는 탄소원, 질소원, 무기염류, 비타민만을 포함하고 있는 최소 배지에서는 자라지 못한다. 따라서 배양하려면 최소 배지에 물질을 넣어 주어야만 하는데 이를 영양 요구주라고 한다.

비들과 테이텀은 야생형 붉은빵곰팡이의 포자에 X선을 쪼여 돌연변이를 일으킨 다음, 아르지닌이 없는 최소 배지에서 자라지 못하는 세 종류의 영양 요구주를 얻었다. 이들을 아르지닌 합성 경로의 중간 물질인 오르니틴 또는 시트룰린을 첨가한 배지에서 배양한 결과, |그림 Ⅳ-12|와 같이 Ⅰ형 돌연변이는 오르니틴, 시트룰린, 아르지닌을 각각 첨가한 배지에서 모두 자라지만, Ⅱ형 돌연변이는 오르니틴을 첨가한 배지에서는 자라지 못하고, Ⅲ형 돌연변이는 오르니틴이나 시트룰린을 첨가한 배지에서 자라지 못한다는 사실을 알 수 있었다. 이 결과로 세 종류의 아르지닌 영양 요구주 각각이 아르지닌 합성 과정의 다른 반응 단계에 결함이 있으며, 아르지닌 합성이 전구물질 → 오르니틴 → 시트룰린 → 아르지닌의 순서로 일어남을 알았다.

배지 / 형		최소 배지	최소 배지+오르니틴	최소 배지+시트룰린	최소 배지+아르지닌
야생형		자란다	자란다	자란다	자란다
영양 요구주	Ⅰ형	자라지 못한다	자란다	자란다	자란다
	Ⅱ형	자라지 못한다	자라지 못한다	자란다	자란다
	Ⅲ형	자라지 못한다	자라지 못한다	자라지 못한다	자란다

그림 Ⅳ-12 붉은빵곰팡이 영양 요구주의 특징

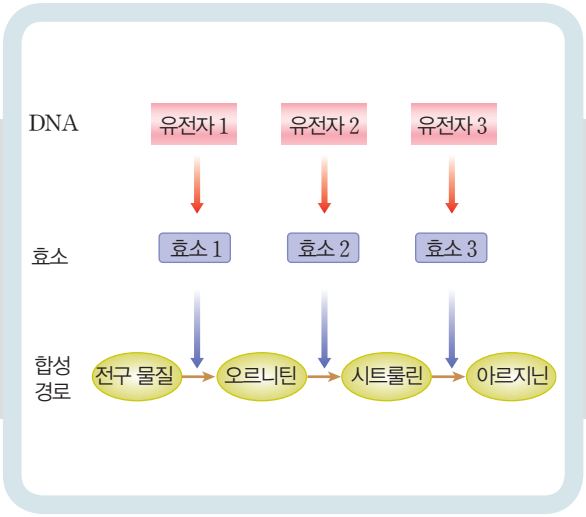


그림 Ⅳ-13 아르지닌 합성 경로와 관계하는 유전자 및 효소의 관계

세포 안에서 물질대사 경로의 화학 반응은 각각 서로 다른 효소의 작용 때문에 일어나므로, 이러한 결과는 각 영양 요구주에서 돌연변이가 일어나 한 효소에 결함이 생긴 것으로 해석할 수 있다. 이를 근거로 이들은 하나의 유전자가 특정한 한 효소의 생산을 지정한다는 1유전자 1효소설을 제안하였으며, 이후 각 영양 요구주에서 실제로 특정한 효소가 결핍되어 있음이 확인됨으로써 이들의 주장이 입증되었다.

1유전자 1효소설은 이후 효소로 작용하지 않는 단백질의 합성도 유전자가 지시한다는 사실과 하나의 단백질이 여러 종류의 폴리펩타이드로 구성된 예가 알려지면서, 1유전자 1단백질설, 1유전자 1폴리펩타이드설로 수정되었다. 현재는 1유전자 1폴리펩타이드설에도 맞지 않는 현상들이 발견되어 이 가설이 항상 옳은 것은 아니다. 하지만 대부분 유전자가 단백질 합성에 필요한 정보를 저장하고 있으므로, 일반적으로는 유전자가 단백질 합성으로 생물의 특성, 즉 형질을 결정한다고 말할 수 있다.

1유전자 1폴리펩타이드설의 예외
- 예외 1: 진핵생물에서는 하나의 유전자에서 합성된 RNA가 다르게 가공되어 여러 종류의 폴리펩타이드가 만들어질 수 있다.
- 예외 2: rRNA나 tRNA의 유전자와 같이 유전자의 최종 산물이 단백질이 아니라 RNA인 경우가 있다.

2 중심 원리

유전자에 저장된 정보에 따라 합성된 단백질이 생물의 형질을 결정한다는 사실이 알려진 이후로 유전자로부터 어떻게 단백질이 합성되는지가 관심의 초점이 되었다.

유전자를 구성하는 DNA와 단백질은 뉴클레오타이드와 아미노산이라는 다른 단위체로 구성되어 있으므로 유전자 DNA를 주형으로 사용하여 단백질을 직접 합성할 수는 없다. 하지만 유전자의 DNA 가닥에 4종류 뉴클레오타이드를 문자처럼 사용하여 단백질의 아미노산 배열 순서를 저장해 놓고, 이 정보를 사용해서 아미노산을 특정한 순서대로 펩타이드 결합으로 연결한다면 특정한 단백질을 합성할 수 있을 것이다. 실제로 각각의 유전자에는 단백질의 아미노산 배열 순서가 저장되어 있으며, 이 정보를 사용해서 세포 안에서 단백질이 합성된다. 이렇게 유전자에 저장된 정보로부터 단백질이 합성되는 과정을 유전자 발현이라고 한다.

중심 원리 | 유전자 발현 과정에서 DNA에 저장된 염기 서열 정보는 RNA로 전달되고, RNA의 염기 서열 정보가 단백질 합성 과정에 사용된다. 따라서 세포 안에서 DNA의 유전 정보는 |그림 Ⅳ-14|와 같이 DNA → RNA → 단백질(폴리펩타이드)의 순서로 전달되는데, 1956년에 크릭은 이를 중심 원리(central dogma)라고 불렀다. 이러한 중심 원리 개념은 일부 예외가 발견되었음에도 그 중요성이 인정되어 지금까지도 생물학의 가장 중요한 원리로 널리 받아들여지고 있다.

DNA의 유전 정보를 사용하여 RNA를 합성하는 과정을 전사, RNA를 사용해서 단백질을 합성하는 과정을 번역이라고 한다. DNA와 RNA는 둘 다 뉴클레오타이드를 사용하므로 DNA 가닥을 주형으로 사용해서 상보적인 서열을 가지는 RNA 가닥이 만들어질 수 있다. 번역은 리보솜에서 일어나는데, 여기에서 RNA의 뉴클레오타이드 서열이 폴리펩타이드의 아미노산 서열이라는 다른 언어로 번역되는 것이다.

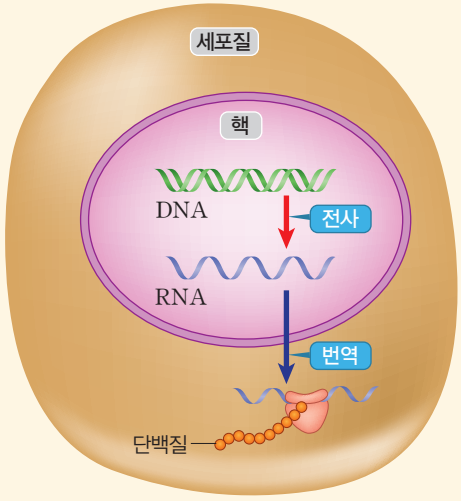


그림 Ⅳ-14 중심 원리 | DNA의 유전 정보는 DNA → RNA → 단백질(폴리펩타이드) 순으로 전달된다.

창의력 키우기 '전사'는 글을 옮겨 쓰는 것, '번역'은 한 언어를 다른 언어로 바꾸어 쓰는 것이다. DNA에서 RNA가 만들어지는 과정과 RNA에서 단백질(폴리펩타이드)이 만들어지는 과정을 왜 각각 전사와 번역이라고 이름 붙였을지 생각해 보자.

3 유전부호

한글은 14개의 자음과 10개의 모음으로 글자를 만들어 의미를 전달하고, 컴퓨터는 0과 1의 두 숫자로 모든 정보를 저장할 수 있다. 그렇다면 4종류의 뉴클레오타이드로 구성된 DNA는 어떻게 유전 정보, 즉 단백질 합성을 지시하는 정보를 저장할까?

뉴클레오타이드는 4종류밖에 없는데, 단백질을 구성하는 아미노산은 20종류이므로, 모든 아미노산을 지정하려면 4종류의 뉴클레오타이드를 적어도 3개씩 짝을 지어 부호로 사용해야 한다. 1960년대에 유전학적 연구와 생화학적 연구로 유전부호가 세 자리의 연속된 염기로 구성된 부호(3염기 조합)임을 알게 되었는데, mRNA에 있는 하나의 아미노산을 지정하는 유전부호를 코돈이라고 부르며, 5′ → 3′ 방향으로 쓴다.

글을 쓰거나 읽을 때 그 의미를 정확하게 전달하고 파악하기 위해서는 문자를 정확하게 묶어 사용하는 것이 중요하다. 이것은 유전부호로 단백질에 관한 정보를 저장하고, 이를 사용해 단백질을 합성할 때도 마찬가지이다. mRNA의 코돈은 겹쳐 사용되지 않으며, 코돈 사이에 공백도 없다. 따라서 어느 한 부분만을 보면 그 서열은 3가지로 번역될 수 있다. 그러므로 유전 정보를 올바르게 번역하려면 단백질의 합성이 정확한 부위에서 시작되고 끝나는 것이 중요하다. 실제로 mRNA에서 단백질 정보가 저장된 부위는 항상 개시 코돈에서 시작하여 종결 코돈에서 끝나며, 번역 또한 개시 코돈에서 시작하여 종결 코돈에서 끝난다.

코돈
코돈은 mRNA에 있는 특정 아미노산을 지정하는 세 자리 유전부호를 가리키는 말이지만, 때로는 DNA의 비주형 가닥에 있는 세 자리 유전부호 서열을 지칭하는 말로 사용되기도 한다.

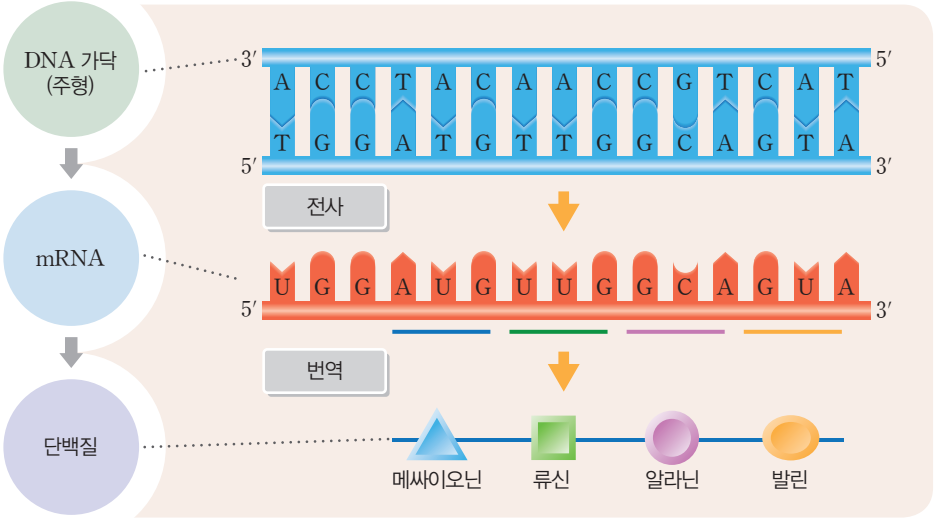


그림 Ⅳ－15 유전부호의 해독

니런버그 (Nirenberg, M. W., 1927~2010)
미국의 생화학자이다. 유전부호의 해독에 관한 연구 업적으로 1968년에 노벨상을 수상하였다.

코돈은 4종류의 뉴클레오타이드를 사용하는 세 자리 유전부호이므로, 모두 4^3인 64가지가 있다. 니런버그 등을 비롯한 여러 과학자의 노력으로 64개의 코돈이 각각 어떤 부호인지 모두 알아냈다.

64개 코돈 가운데 61개는 아미노산을 지정하는데, 이 수가 아미노산의 종류인 20개보다 많으므로 하나의 아미노산을 지정하는 코돈이 여러 개인 경우가 대부분이다. 아미노산을 지정하는 코돈 중 AUG는 메싸이오닌을 지정하는 동시에 단백질 합성을 시작하는 개시 코돈으로도 사용된다. 64개 가운데 아미노산을 지정하지 않는 나머지 세 코돈, UAA, UAG, UGA가 있는 곳에서 단백질 합성이 멈추는데, 이 세 코돈을 종결 코돈이라고 한다.

유전부호는 거의 모든 생명체에서 동일하게 사용되므로 한 생명체의 유전 정보가 다른 생명체에서도 같은 의미로 사용될 수 있다.

코돈표

첫 번째 염기	두 번째 염기 U		두 번째 염기 C		두 번째 염기 A		두 번째 염기 G		세 번째 염기
U	UUU	페닐알라닌	UCU	세린	UAU	타이로신	UGU	시스테인	U
	UUC		UCC		UAC		UGC		C
	UUA	류신	UCA		UAA	종결 코돈	UGA	종결 코돈	A
	UUG		UCG		UAG		UGG	트립토판	G
C	CUU	류신	CCU	프롤린	CAU	히스티딘	CGU	아르지닌	U
	CUC		CCC		CAC		CGC		C
	CUA		CCA		CAA	글루타민	CGA		A
	CUG		CCG		CAG		CGG		G
A	AUU	아이소류신	ACU	트레오닌	AAU	아스파라진	AGU	세린	U
	AUC		ACC		AAC		AGC		C
	AUA		ACA		AAA	라이신	AGA	아르지닌	A
	AUG	메싸이오닌 (개시 코돈)	ACG		AAG		AGG		G
G	GUU	발린	GCU	알라닌	GAU	아스파트산	GGU	글리신	U
	GUC		GCC		GAC		GGC		C
	GUA		GCA		GAA	글루탐산	GGA		A
	GUG		GCG		GAG		GGG		G

창의력 키우기 같은 아미노산을 지정하는 코돈 사이에는 어떤 공통점이 있을까? 또, 이렇게 한 아미노산을 지정하는 코돈이 여러 개이면 어떤 장점이 있을지 생각해 보자.

자기 평가하기

✱ 성취 정도를 ✓ 표시해 보자

1 유전자와 단백질의 관계를 설명할 수 있는가? 1 | 2 | 3 | 4 | 5

2 코돈표를 사용하여 mRNA의 유전 정보를 해독할 수 있는가? 1 | 2 | 3 | 4 | 5

02 전사와 번역

- 유전자 발현 과정을 전사와 번역으로 나누어 설명할 수 있다.
- 모형을 이용하여 유전자 발현 과정을 설명할 수 있다.

사람은 글을 옮겨 쓰거나 번역할 때 필기구나 컴퓨터를 사용한다. 생물은 DNA에 담겨 있는 유전 정보를 사용할 때 어떻게 전사와 번역을 할까? 원핵세포와 진핵세포 모두 같은 방법을 사용하는 것일까?

1 전사

전사는 RNA 중합 효소가 전사 개시 앞 부위에 있는 프로모터에 결합하여 시작된다. |그림 Ⅳ-16|과 같이 프로모터에 결합한 RNA 중합 효소는 DNA 이중 나선을 풀고, 이 중 한 가닥을 주형으로 사용하여 5′ → 3′ 방향으로 뉴클레오타이드를 연결하여 상보적인 RNA 가닥을 합성한다. 이때 DNA 복제와는 달리 DNA의 A에 상보적인 염기로 U(유라실)을 사용하며, 합성된 RNA는 주형 가닥에서 떨어져 나오고, 합성이 완료된 부위의 DNA 가닥은 다시 이중 나선을 형성한다. RNA 중합 효소가 전사 종결 부위에 도달하면 합성된 RNA가 방출되고, RNA 중합 효소가 DNA에서 떨어져 나온다.

프로모터
유전자 DNA에 존재하는 조절 부위로, RNA 중합 효소가 결합하여 전사가 시작되는 곳이다.

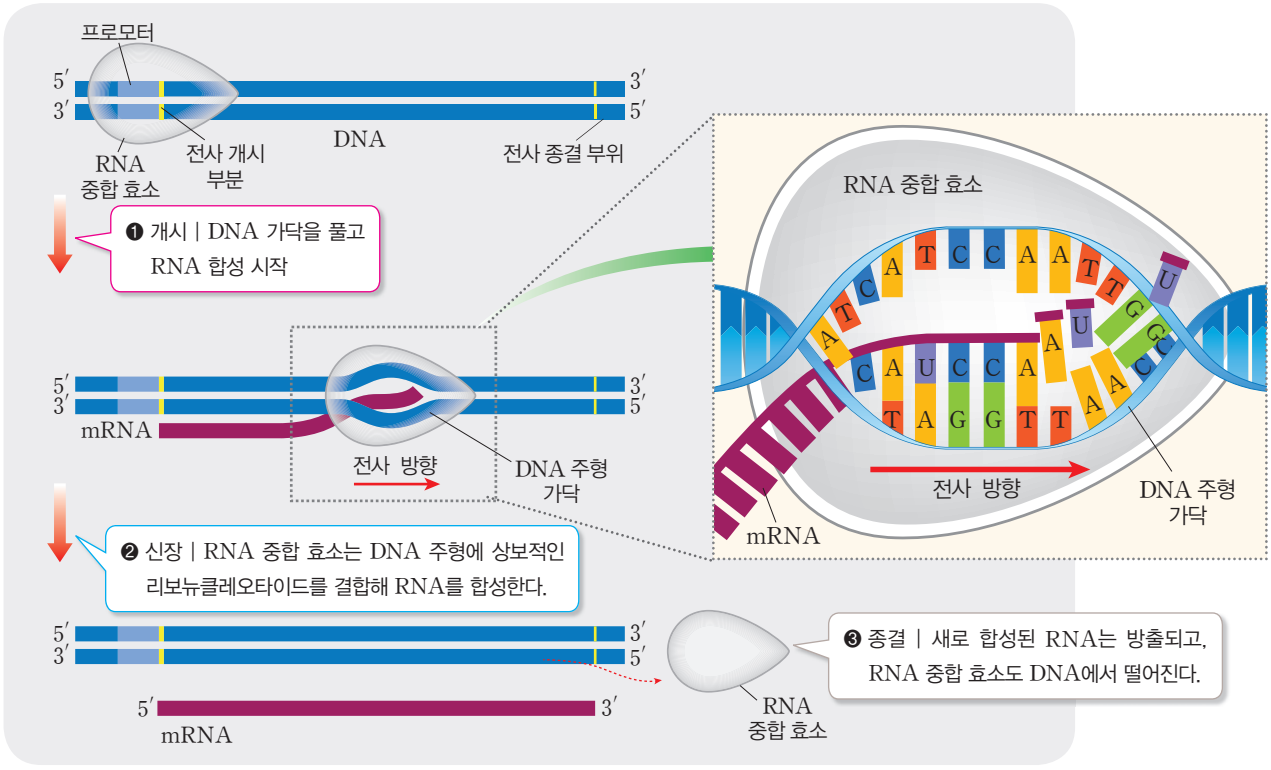


그림 Ⅳ-16 DNA에서 RNA가 전사되는 원리

RNA는 전령 RNA(mRNA), 리보솜 RNA(rRNA), 운반 RNA(tRNA)의 세 종류가 있다. 이 가운데 mRNA는 단백질 합성 정보를 전달하는 역할을 한다. rRNA는 단백질 합성 기구인 리보솜을 구성하는 주요 성분으로 단백질 합성을 촉진하는 핵심적인 역할을 하며, tRNA는 단백질 합성 과정에서 아미노산을 리보솜으로 운반하는 역할을 한다.

2 단백질 합성 기구

mRNA에 전달된 유전 정보를 사용해 단백질을 합성하는 데에는 tRNA와 리보솜이 필요하다. |그림 Ⅳ-17|과 같이 tRNA에는 mRNA의 코돈과 결합하는 안티코돈이 있으며, tRNA 3′ 말단에는 안티코돈과 짝이 맞는 아미노산이 결합한다. 따라서 tRNA는 코돈에 맞는 아미노산을 mRNA가 결합한 리보솜으로 운반하는 역할을 한다.

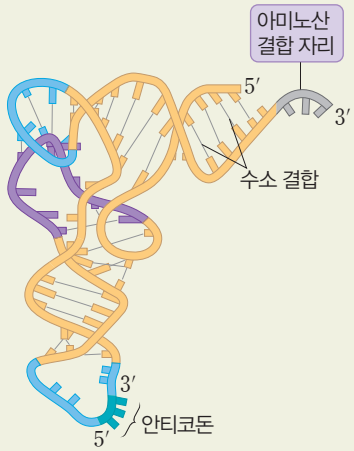


그림 Ⅳ-17 tRNA의 구조

리보솜은 mRNA에 저장된 정보를 사용하여 단백질을 합성하는 공장 역할을 한다. 리보솜은 |그림 Ⅳ-18|과 같이 대단위체와 소단위체로 구성되며, 각각은 rRNA와 여러 종류의 단백질로 구성되어 있다. 이 두 단위체는 분리되어 있다가 |그림 Ⅳ-19|와 같이 먼저 소단위체와 mRNA, mRNA의 개시 코돈에 결합하는 tRNA가 결합한 다음 대단위체가 결합하여 완전한 리보솜을 형성하며, 아미노산을 펩타이드 결합으로 연결해 단백질을 합성한다. 리보솜의 소단위체에는 mRNA 결합 자리가 있으며, 대단위체에는 아미노산이 붙어 있는 tRNA 결합 자리(A 자리), 신장되는 폴리펩타이드가 붙어 있는 tRNA 결합 자리(P 자리), tRNA가 빠져나가기 전에 잠시 머무는 자리(E 자리)가 있다.

그림 Ⅳ-18 리보솜의 구조

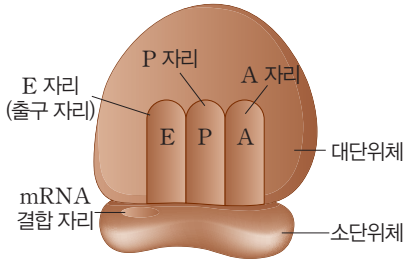
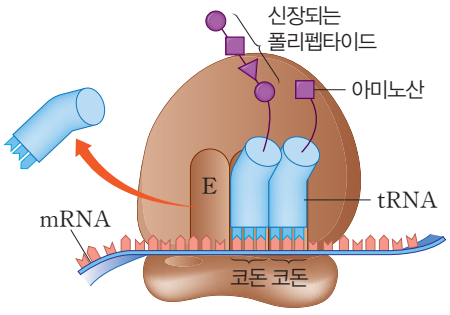


그림 Ⅳ-19 mRNA와 tRNA를 포함한 리보솜



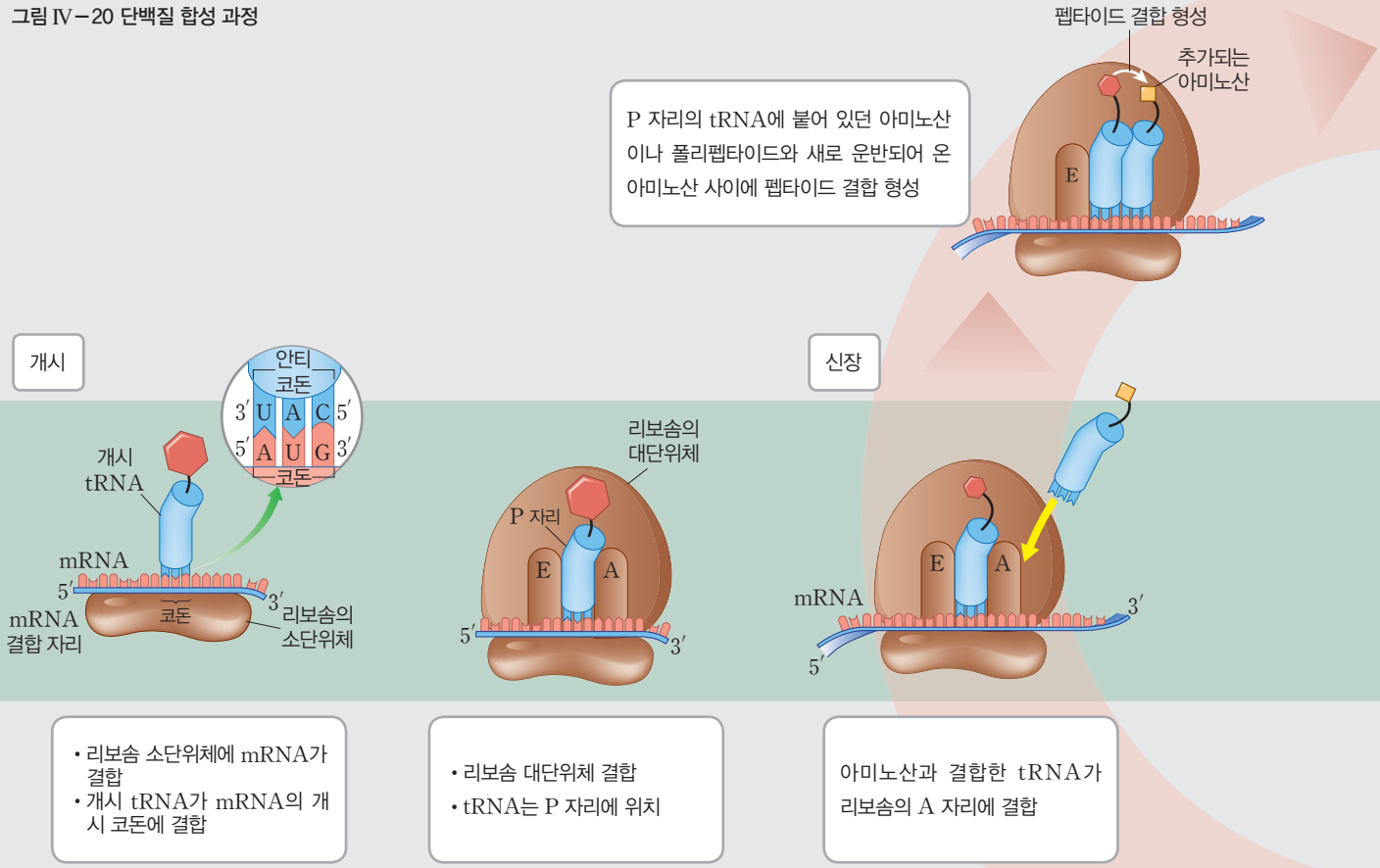
3 번역 – 단백질 합성 과정

단백질 합성 과정은 |그림 Ⅳ–20|과 같이 개시, 신장, 종결의 세 단계로 진행된다.

개시 단계에서는 먼저 리보솜 소단위체에 mRNA와 메싸이오닌을 가진 개시 tRNA가 결합하고, 그 다음 리보솜 대단위체가 결합하여 완전한 리보솜이 만들어진다. 이때 개시 tRNA는 P 자리에 위치하고, 이 tRNA의 안티코돈은 mRNA의 개시 코돈과 상보적인 염기쌍 결합을 형성한다.

신장 단계에서는 비어 있는 A 자리에 mRNA의 코돈과 짝이 맞는 안티코돈을 가진 tRNA가 결합하고, P 자리의 tRNA에 붙어 있는 아미노산 또는 폴리펩타이드 사슬과 A 자리에 결합한 tRNA의 아미노산 사이에 펩타이드 결합이 형성된다. 이때 이 반응의 촉매 역할을 하는 것은 리보솜 대단위체를 구성하는 rRNA이다. 그 다음 리보솜은 하나의 코돈만큼 mRNA를 따라 이동하여 A 자리에 있던 tRNA가 P 자리로 이동하고, P 자리에 있던 tRNA는 E 자리로 이동한 다음 떨어져 나간다. 비어 있는 A 자리에 새로운 tRNA가 결합하여 이 과정을 반복하면서 폴리펩타이드 사슬이 신장된다.

그림 Ⅳ–20 단백질 합성 과정



리보솜이 종결 코돈에 도달하면 |그림 Ⅳ−21|과 같이 종결 코돈과 결합하는 안티코돈을 가진 tRNA가 없어 폴리펩타이드 사슬이 떨어져 나가며, 리보솜, tRNA 등과 같은 번역 기구도 분리되어 단백질 합성이 종결된다. 분리된 리보솜 대단위체와 소단위체, tRNA 등은 새로운 단백질 합성에 재사용된다.

단백질이 합성될 때 리보솜이 개시 코돈을 벗어나면 새로운 리보솜이 mRNA에 결합할 수 있다. 이처럼 하나의 mRNA에 리보솜이 여러 개 결합하여 폴리펩타이드를 합성하면 단시간에 많은 양을 합성할 수 있다.

합성된 폴리펩타이드는 접혀서 고유한 입체 구조를 나타내며, 세포 내 기능에 따라 핵, 소포체, 세포막, 기타 세포 소기관 등으로 이동하여 효소, 수송체, 구조 단백질 등 자신이 담당하는 고유한 기능을 수행한다.

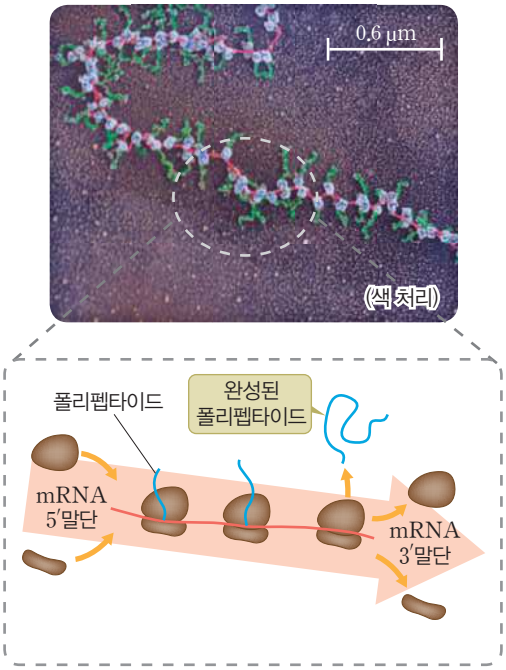
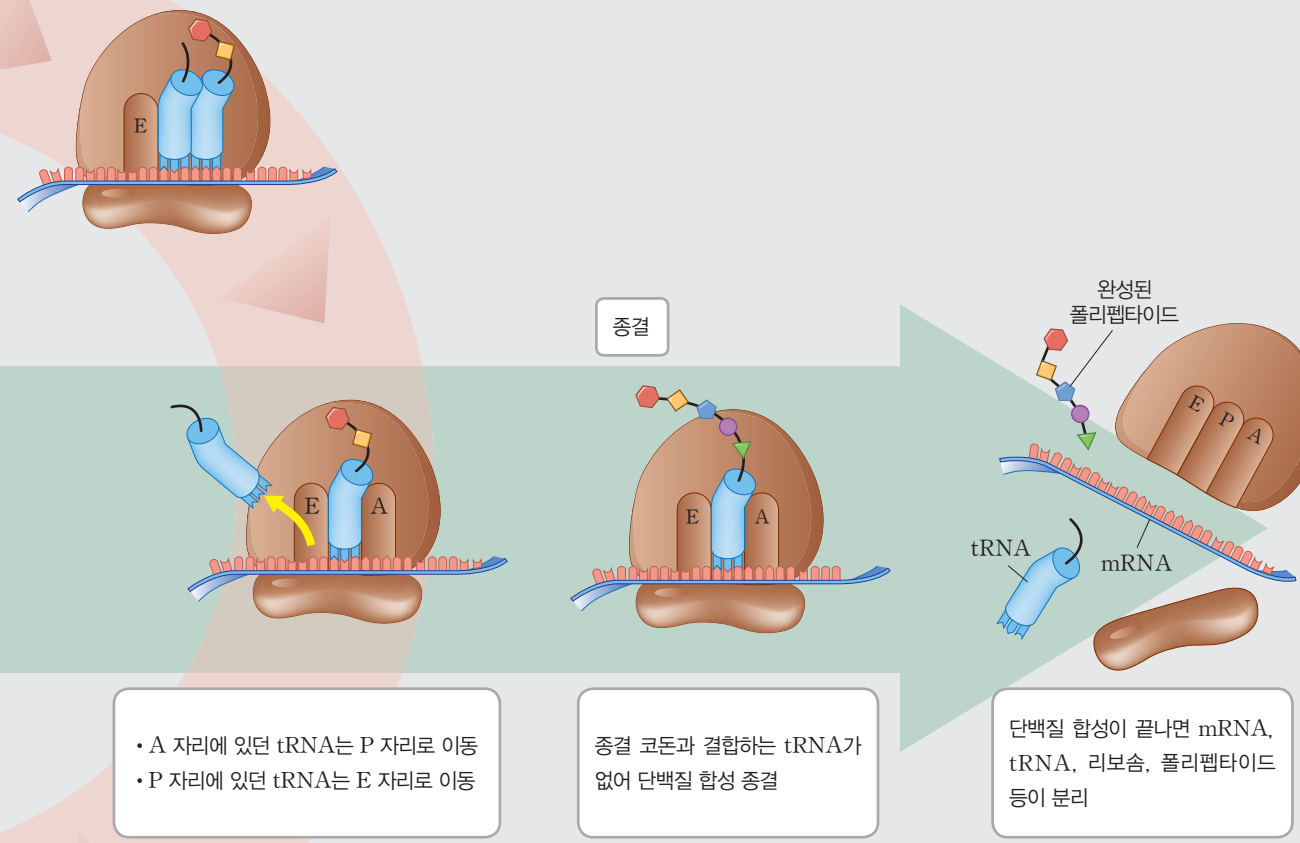


그림 Ⅳ−21 세포질에서의 단백질 합성 과정



탐구 모의실험

중심 원리의 정보 흐름 모의실험하기

• **목표**: 모형을 이용하여 유전 정보의 흐름과 유전자 발현 과정을 이해할 수 있다.

준비물

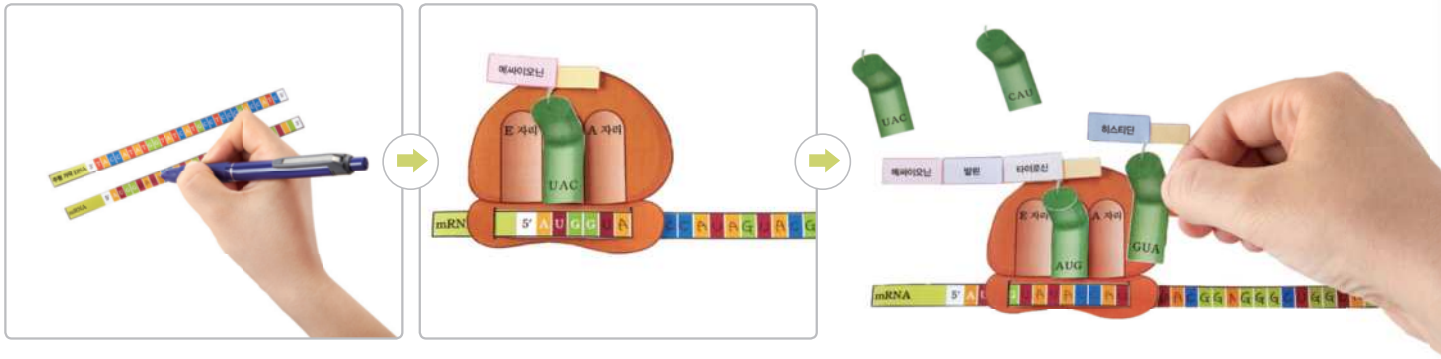
부록 223쪽의 DNA, mRNA, tRNA, 리보솜 모형, 아미노산 모형, 가위, 칼, 풀, 펜

리보솜 소단위체와 대단위체의 결합

실제 번역 과정에서는 먼저 소단위체와 mRNA, 개시 코돈에 결합하는 tRNA가 결합한 후 대단위체가 결합한다. 하지만 이 탐구에서는 탐구 과정을 수행하기 쉽도록 소단위체와 대단위체가 결합한 모양을 사용한다.

과정

1. 부록 223쪽의 DNA, mRNA, tRNA, 리보솜 모형을 자른다.
2. 잘라 낸 mRNA 모형에 주어진 DNA 모형의 주형 가닥과 상보적인 염기 서열을 써넣는다.
3. mRNA를 리보솜의 홈에 끼워 P 자리에 mRNA의 개시 코돈이 위치하도록 한다.
4. 개시 코돈에 결합하는 안티코돈을 가진 tRNA를 리보솜의 P 자리에 위치시켜 mRNA의 개시 코돈과 염기쌍을 이루도록 한다.
5. mRNA의 A 자리 코돈에 상응하는 안티코돈을 가진 tRNA를 리보솜의 A 자리에 위치하도록 한다.
6. P 자리에 있는 tRNA에서 아미노산 또는 폴리펩타이드를 잘라 내어 A 자리의 tRNA에 붙어 있는 아미노산 말단에 풀로 붙인다.
7. 리보솜을 mRNA 가닥의 3′ 방향으로 움직여 A 자리에 있던 tRNA를 P 자리에 옮겨 놓고, A 자리에는 mRNA의 다음 코돈이 오게 한다.
8. 종결 코돈이 A 자리에 올 때까지 과정 **5**~**7**을 반복하고, 종결 코돈이 A 자리에 오면, 합성된 폴리펩타이드, mRNA, tRNA, 리보솜을 각각 떼어 낸다.



주의 사항

• 모형을 자를 때 손을 다치지 않도록 주의한다.

정리

❶ 전사와 번역에 해당하는 과정의 번호를 각각 쓰시오.

❷ 과정 **7**에서 아미노산을 풀로 붙이는 과정은 실제 어떤 결합이 형성되는 과정을 나타내는 것인가?

❸ 합성된 폴리펩타이드의 아미노산 서열을 써 보자.

자기 평가하기

1. 전사 과정을 DNA 복제 과정과의 차이점 중심으로 설명할 수 있는가?
2. 단백질이 합성되는 과정을 모형을 이용하여 설명할 수 있는가?

✱성취 정도를 ✓표시해 보자

1 | 2 | 3 | 4 | 5

1 | 2 | 3 | 4 | 5

읽고 생각하기

항생제와 단백질 합성

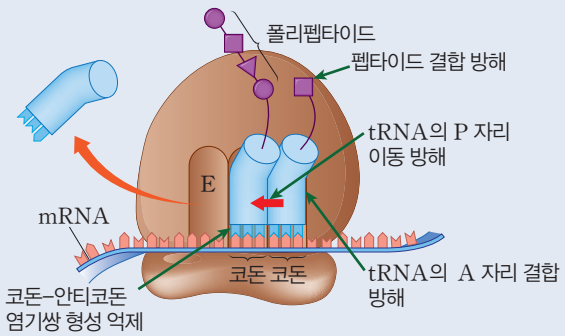
세균은 폐렴, 결핵, 콜레라 등을 비롯한 다양한 질병의 원인이 된다. 과거에는 세균 감염으로부터 우리를 보호할 수 있는 효과적인 방법이 없어 수많은 사람이 세균 감염으로 고생하거나 목숨을 잃었지만, 페니실린 발견 이후로 사람은 더 이상 세균의 공격에 힘없이 당하는 희생에서 상당히 벗어날 수 있게 되었다.

사람은 세균 감염에 따른 질병으로부터 스스로를 보호하기 위해 다양한 항생제를 개발해 사용하고 있다. 최초로 개발된 항생제인 페니실린은 세균의 세포벽을 약화시켜서 세균을 죽이는 항생제로, 페니실린 이외에도 여러 항생제가 세포벽에 작용하여 항균 효과를 나타낸다. 그러나 이보다 훨씬 더 많은 항생제가 단백질 번역을 담당하는 리보솜에 작용하여 항균 효과를 나타낸다. 현재까지 알려진 항생제의 약 40 % 정도가 이러한 방법으로 작용한다. 리보솜의 A 자리에 결합하여 tRNA가 결합하는 것을 방해하는 테트라사이클린, 리보솜 대단위체에 결합하여 펩타이드 합성을 종결시키는 퓨로마이신 등 리보솜에서 일어나는 단백질 합성의 거의 모든 단계에서 작용하는 여러 종류의 항생제가 개발되었다. 단백질 합성은 모든 생물의 생명 유지에 필수적이므로 항생제가 세균과 사람의 단백질 합성을 모두 막는다면 사람이 살 수 없겠지만, 다행히도 사람과 세균은 리보솜을 구성하는 RNA와 단백질 구조가 서로 달라 세균의 리보솜에만 작용하는 항생제가 많이 개발될 수 있었다.

항생제 개발로 세균과의 전쟁에서 유리한 고지를 점령했지만, 항생제 오남용 등으로 이러한 기존 항생제에 내성을 가지는 세균이 점차 많아지고 있다. 이를 막으려면 항생제의 무분별한 사용을 억제하고, 감염 관리를 철저히 하며, 새로운 항생제나 백신을 개발하기 위한 지속적인 노력이 필요하다. 세균과의 전쟁은 지금도 계속되고 있으며 앞으로도 계속될 것이다.

항생제 종류	작용
테트라사이클린	tRNA의 A 자리 결합 방해
하이그로마이신	A자리 tRNA의 P 자리 이동 방해
파로마이신	코돈–안티코돈 염기쌍 형성 억제
클로람페니콜	펩타이드 결합 형성 방해
퓨로마이신	합성 종결을 유도
에리트로마이신	합성된 폴리펩타이드 사슬이 리보솜에서 나가는 것 차단

▲ 세균의 리보솜에 작용하는 항생제의 종류와 그 작용



생각해 보기 항생제의 오남용이 어떻게 항생제 내성 세균의 증가를 가져오는지 생각해 보자.

개념 정리하기

핵심 내용 정리하기

1 유전자의 기능과 유전부호

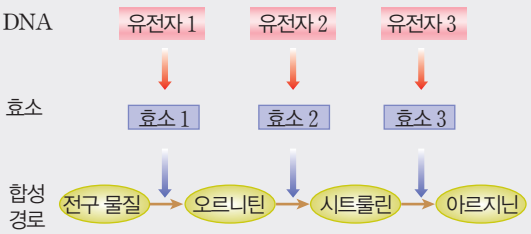
1. 유전자의 기능

(1) 개로드의 알캅톤뇨증 연구

- 유전병인 알캅톤뇨증 환자는 알캅톤을 분해하는 효소를 만드는 능력을 물려받지 못함
- 유전자는 ❶ _____ 를 만들어 유전 형질을 나타낸다는 가설을 최초로 제안

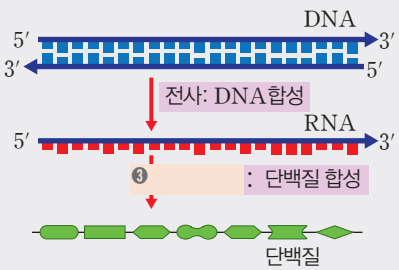
(2) 비들과 테이텀의 붉은빵곰팡이 실험

- 아르지닌 영양 요구주의 생장 특성 조사
- 각 영양 요구주는 아르지닌 합성 경로 중 한 반응을 담당하는 효소가 결핍되어 있다.



(3) 1유전자 1효소설이 제안되었으며 이후, 1유전자 1단백질설, 1유전자 1❷ _____ 로 수정

2. 중심 원리



3. 유전부호

(1) 유전부호는 연속된 3자리 염기로 구성되며, mRNA에 있는 하나의 유전부호를 코돈이라 함

(2) mRNA의 코돈은 겹치지 않고 공백이 없으며, 단백질 정보 부위는 개시 코돈에서 시작하여 종결 코돈에서 끝남

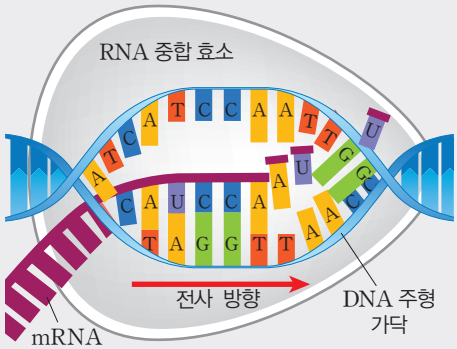
- 개시 코돈: AUG, 메싸이오닌을 지정
- ❹ _____ : UAA, UAG, UGA, 단백질 합성이 멈춤
- 유전부호는 거의 모든 생명체에서 동일

2 전사와 번역

1. 전사

(1) DNA 이중 나선의 한 가닥을 주형으로 사용하여 RNA 중합 효소가 5′ → 3′ 방향으로 뉴클레오타이드를 첨가

(2) RNA 종류: mRNA, ❺ _____ , tRNA



2. 단백질 합성 기구

(1) tRNA: 코돈에 맞는 아미노산을 리보솜으로 운반. ❻ _____ 이 코돈과 결합. 3′ 말단에 아미노산 결합

(2) 리보솜: rRNA와 단백질로 구성되며, 아미노산을 펩타이드 결합으로 연결하여 단백질 합성

- 소단위체: mRNA 결합 자리
- 대단위체: 3개의 tRNA 결합 자리(A, P, E 자리)

3. 번역

(1) mRNA를 이용하여 단백질 합성

(2) 개시: 소단위체에 mRNA와 개시 tRNA 결합 후 대단위체가 결합하고, 개시 tRNA는 P 자리에 위치

(3) 신장

- A 자리에 코돈과 짝이 맞는 tRNA 결합
- P 자리 tRNA의 아미노산 또는 폴리펩타이드와 A 자리 tRNA의 ❼ _____ 사이에 펩타이드 결합 형성
- 리보솜이 mRNA를 따라 한 코돈만큼 이동: A 자리 tRNA가 P 자리로, P 자리 tRNA가 E 자리로 이동
- 비어 있는 A 자리에 tRNA 결합하여 위 과정 반복

(4) 종결: 폴리펩타이드 사슬이 떨어져 나가고, 리보솜과 tRNA 등도 분리되어 재사용

정답 | ❶ 효소 ❷ 폴리펩타이드 ❸ 번역 ❹ 종결 코돈 ❺ rRNA ❻ 안티코돈 ❼ 아미노산

개념 확인하기

1 다음 설명에 알맞은 용어를 보기에서 찾아 쓰시오.

(1) 단백질 합성이 끝나는 부위로 UAA, UAG, UGA의 3개가 있음 ····· (　　)

(2) 하나의 유전자는 특정한 폴리펩타이드의 합성을 지정 ····· (　　)

(3) 뼈와 관절의 이상과 갈색증이 나타나는 열성 유전 질환 ····· (　　)

(4) 크릭이 제안한 세포 안에서 유전 정보의 흐름에 관한 설명 ····· (　　)

보기

ㄱ. 알캅톤뇨증
ㄴ. 중심 원리
ㄷ. 종결 코돈
ㄹ. 1유전자 1폴리펩타이드설

2 다음 설명 중 옳은 것은 ○, 옳지 않은 것은 ×표를 하시오.

(1) tRNA의 5′ 말단에는 안티코돈과 짝이 맞는 아미노산이 결합한다. ····· (　　)

(2) 리보솜을 구성하는 대단위체와 소단위체는 항상 결합해 있다. ····· (　　)

(3) 리보솜의 대단위체에는 mRNA의 결합 자리와 tRNA의 결합 자리가 있다. ····· (　　)

3 다음은 유전자 발현 과정에 관한 설명이다. (　　) 안에 들어갈 알맞은 말을 쓰시오.

신장 단계에서는 리보솜의 A 자리에 코돈과 짝이 맞는 (　　)가 결합하여 운반한 아미노산과 P 자리 tRNA의 폴리펩타이드 사이에 (　　) 결합이 형성되고, 리보솜이 하나의 코돈만큼 이동한 후 위의 과정이 반복된다.

개념 응용하기

1 그림은 유전자와 효소의 관계를 확인한 비들과 테이텀의 실험 결과이다.

형 \ 배지		최소 배지	최소 배지+오르니틴	최소 배지+시트룰린	최소 배지+아르지닌
야생형		자란다	자란다	자란다	자란다
영양 요구주	Ⅰ형	자라지 못한다	자란다	자란다	자란다
	Ⅱ형	자라지 못한다	자라지 못한다	자란다	자란다
	Ⅲ형	자라지 못한다	자라지 못한다	자라지 못한다	자란다

(1) 위의 아르지닌 영양 요구주 중 Ⅱ형은 어떤 결함을 가지고 있는지 쓰시오.

(2) 위의 실험만으로 전구 물질로부터 아르지닌이 합성되는 경로를 알 수 있는지 아닌지를 쓰고, 그렇게 생각한 까닭을 서술하시오.

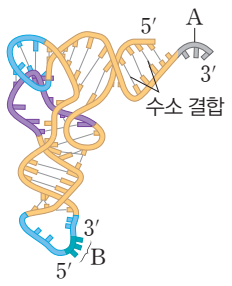
2 다음은 유전자의 단백질 정보를 저장하고 있는 어떤 부위에서 전사가 일어날 때 주형 가닥에 해당하는 DNA 염기 서열을 나타낸 것이다.

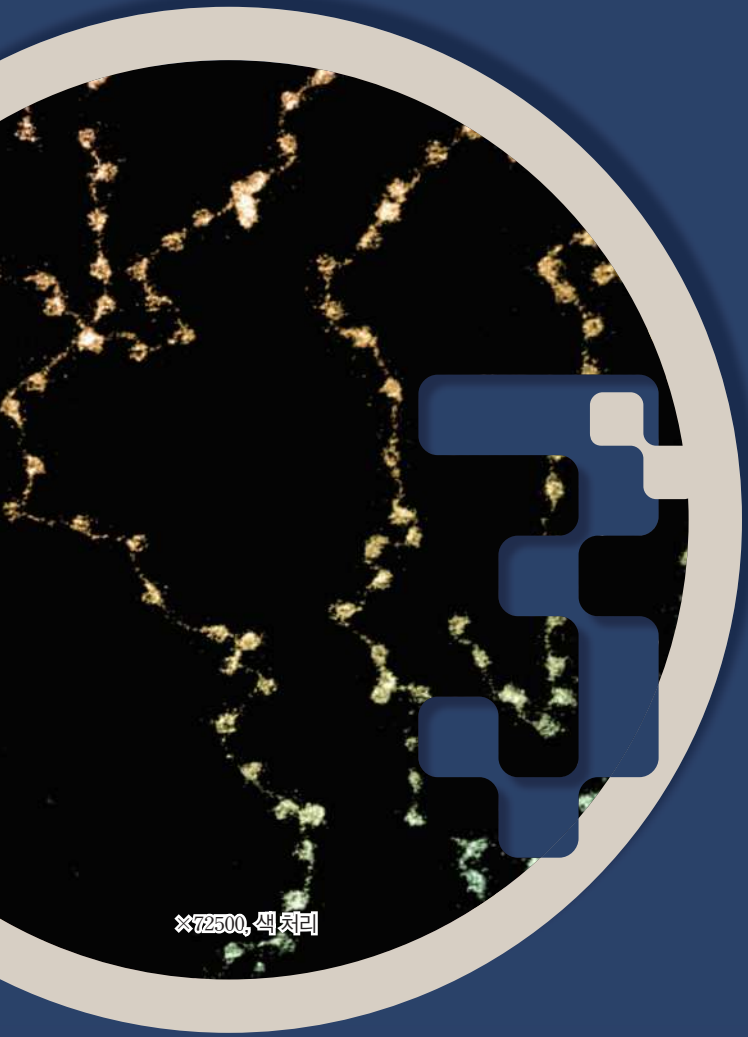
5′–TACAACCGTAATCTGACGATT–3′

(1) 이 DNA에서 생성될 mRNA의 서열을 쓰시오.

(2) (1)의 mRNA에서 첫 번째 염기부터 유전부호가 시작된다고 가정하고, 이 mRNA가 번역될 때 만들어지는 폴리펩타이드의 아미노산 서열을 쓰시오.

3 그림은 tRNA의 구조를 나타낸 것이다. A와 B는 번역 과정에서 각각 어떤 역할을 하는지 서술하시오.





유전자 발현의 조절

01. 유전자 발현 조절의 원리
02. 세포 분화와 발생

이 단원의 학습 목표

원핵생물의 유전자 발현 조절 과정을 이해하고 원핵생물과 진핵생물에서 유전자 발현 조절 과정의 차이점을 비교하여 설명할 수 있다. 또한 진핵생물의 발생과 세포 분화 과정에서 유전자 발현의 조절과 그 중요성을 설명할 수 있다.

자기 점검 – 알고 있는 용어에 표시해 보자.

유전자 ☐	원핵생물 ☐	단백질 ☐	젖당 ☐
진핵생물 ☐	뉴클레오솜 ☐	근육 세포 ☐	발생 ☐

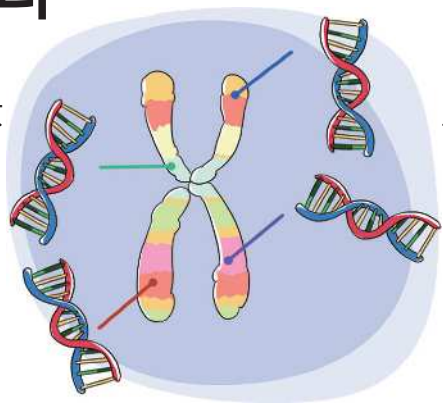
▶ 표시하지 못한 용어는 생명 과학 Ⅰ 교과서 '유전' 단원에서 확인해 보자.

학습 계획 세우기 – 학습 목표를 달성하기 위해 어떤 준비를 할 수 있을지 써 보자.

예 오페론의 기능을 조사해 본다.

01 유전자 발현 조절의 원리

- 원핵생물의 유전자 발현 조절 원리를 설명할 수 있다.
- 진핵생물과 원핵생물에서 유전자 발현 조절의 차이점을 설명할 수 있다.



우리 몸의 세포에는 20000여개 이상의 많은 유전자가 있다. 이렇게 많은 유전자가 모두 다 발현되고 있을까? 만일 세포 분열과 생장을 촉진하는 유전자가 계속 발현된다면 우리 몸이 계속 커질까?

1 유전자 발현 조절의 중요성

|그림 Ⅳ-22|와 같이 세포에 있는 유전자 중에는 발현이 잘되는 것도 있고 잘되지 않는 것도 있으며, 특정한 시기나 조건에서만 발현되는 것도 있다. 모든 유전자가 항상 발현된다면 필요 없는 단백질까지 만들어져 에너지 측면에서 불리할 뿐만 아니라, 정상적으로 생명을 유지하기도 어렵다. 따라서 유전자 발현을 조절하는 체계는 생물의 생명 유지를 비롯한 다양한 생명 현상에 있어 매우 중요하다.

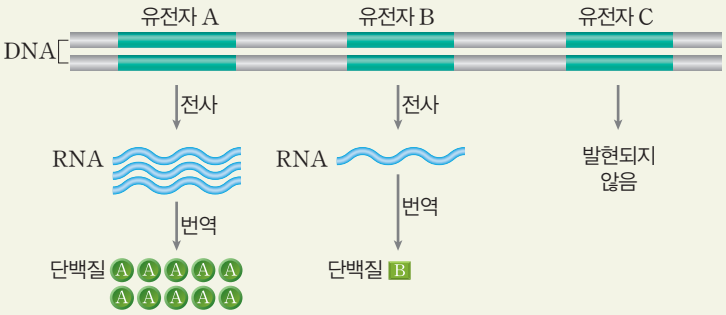


그림 Ⅳ-22 유전자의 발현 | 유전자에 따라 발현 여부와 발현 수준이 서로 다르다.

2 원핵생물의 유전자 발현 조절

원핵생물은 주변 환경에 잘 적응하기 위해 유전자 발현을 조절한다. 예를 들어 대장균은 가장 좋은 에너지원인 포도당이 있는 환경에서는 포도당을 분해하여 에너지를 얻는다. 하지만 포도당이 없고 젖당만 있는 환경에서는 젖당을 분해하여 에너지를 얻는다. 따라서 젖당 분해에 필요한 효소는 젖당이 없을 때는 필요 없으며, 젖당 유무에 따라 발현이 조절되어야 한다. 원핵생물에서 유전자 발현은 주로 전사 단계에서 조절된다.

궁금해요

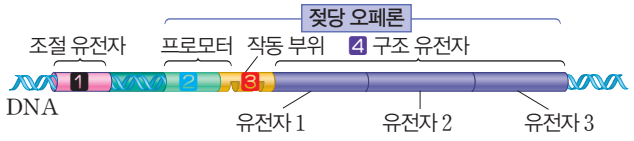
오페론이 모두 억제 단백질의 결합 여부로 조절될까?

원핵생물의 오페론에서 유전자 발현은 대부분 젖당 오페론과 같이 억제 단백질의 결합 여부로 발현이 조절되지만 일부 오페론은 전사 촉진 인자로도 발현이 조절된다.

대장균에서 젖당을 세포 안으로 수송하고 분해하는 데 필요한 효소의 유전자는 염색체의 한 부위에 모여 있으며, 하나의 전사 단위로 한꺼번에 발현이 조절된다. 이들의 상단부에는 RNA 중합 효소가 결합하여 전사가 시작되는 부위인 프로모터와 전사를 조절하는 스위치 역할을 하는 작동 부위가 있다. 이렇게 하나의 프로모터와 작동 부위 아래에 기능이 연관된 여러 유전자가 모여 있어 하나의 단위로 전사가 조절되는 유전자 집단을 오페론이라고 부른다.

자코브(Jacob, F., 1920~2013)와 모노(Monod, J., 1910~1976)는 젖당 오페론 발현이 조절 유전자에서 발현되는 억제 단백질로 조절된다는 사실을 밝혀냈다. |그림 Ⅳ-23|과 같이 젖당이 없을 때는 억제 단백질이 작동 부위에 결합하여 RNA 중합 효소가 프로모터에 결합하는 것을 방해하므로 젖당 오페론 발현이 억제된다. 반면에 포도당이 없고, 젖당이 있을 때는 젖당 유도체가 억제 단백질에 결합하여 입체 구조가 변형되므로 억제 단백질이 더는 작동 부위에 결합하지 못한다. 따라서 RNA 중합 효소가 프로모터에 결합하여 전사가 시작되고 젖당을 분해하는 효소가 합성된다.

젖당 오페론의 구조



1 조절 유전자: 억제 단백질을 합성
2 프로모터: 전사 시작에 필요한 DNA 부위로 RNA 중합 효소가 결합한다.
3 작동 부위: 억제 단백질이 결합하는 부위
4 유전자 1, 유전자 2, 유전자 3: 구조 유전자 부위로 젖당 분해에 관련된 효소의 유전부호 부위

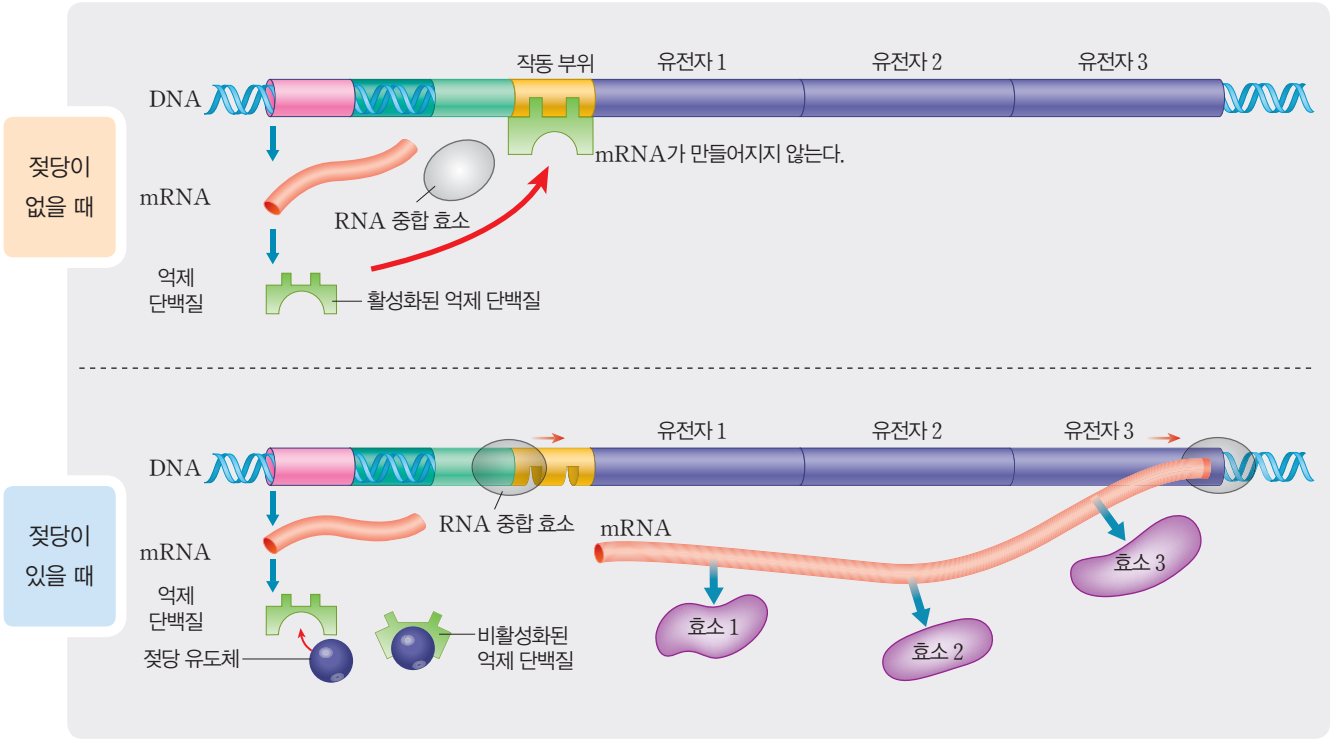


그림 Ⅳ-23 젖당 오페론의 구조(위)와 젖당 유무에 따른 젖당 오페론의 발현 조절(아래)

3 진핵생물의 유전자 발현 조절

진핵생물은 원핵생물보다 가지고 있는 유전체의 크기가 크고, 유전자 수가 많으며, 발현되는 유전자의 종류와 발현되는 정도가 세포의 종류나 발현 시기 등에 따라 매우 다양하다. 따라서 진핵생물에서의 유전자 발현은 원핵생물보다 훨씬 더 다양하게 조절되어야 한다. 실제로 진핵생물에서는 원핵생물과 달리 각각의 유전자가 모두 자신의 프로모터를 가지고 있어 개별적으로 전사가 조절된다.

진핵생물에서 DNA는 뉴클레오솜 구조를 형성하고, 이들이 응축된 염색질 구조를 가지고 있다. 염색질이 응축되어 있으면 RNA 중합 효소를 비롯한 전사에 필요한 인자가 결합할 수 없으므로 유전자가 발현되려면 |그림 Ⅳ-24|와 같이 먼저 염색질 구조가 풀려야 한다. 실제로 염색질 구조의 조절은 전사 조절에서 매우 중요한 역할을 담당하고 있다.

염색질
진핵세포의 염색체를 구성하는 DNA와 단백질의 복합체를 염색질이라 한다. 염색질의 기본 구조는 뉴클레오솜이며, 뉴클레오솜 가닥은 핵 안에서 다양한 정도로 응축될 수 있다.

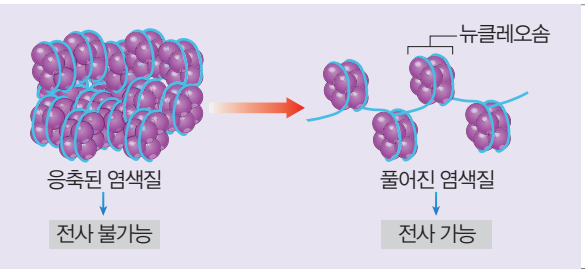


그림 Ⅳ-24 염색질의 응축 정도에 따른 유전자 발현 조절 | 염색질 구조의 응축 정도는 히스톤을 변형시키는 여러 효소의 작용으로 조절된다.

진핵생물의 유전자 발현 과정에서 전사는 DNA가 있는 핵 안에서 일어나고 번역은 리보솜이 있는 세포질에서 일어나므로 원핵생물과는 달리 전사와 번역이 동시에 일어나지 못한다. 진핵생물에서는 |그림 Ⅳ-25|와 같이 핵에서 전사된 처음 만들어진 RNA가 가공되어 mRNA가 된 후, 핵공을 지나 세포질로 수송되어 번역에 이용된 후 분해된다. 또한 세포질에서 합성된 단백질은 변형되어 활성이나 수명이 달라질 수 있다. 진핵생물에서는 이러한 모든 단계가 조절되어 유전자 산물의 양이 달라질 수 있지만, 대부분 발현의 첫 단계인 전사 단계에서의 조절이 매우 중요하다.

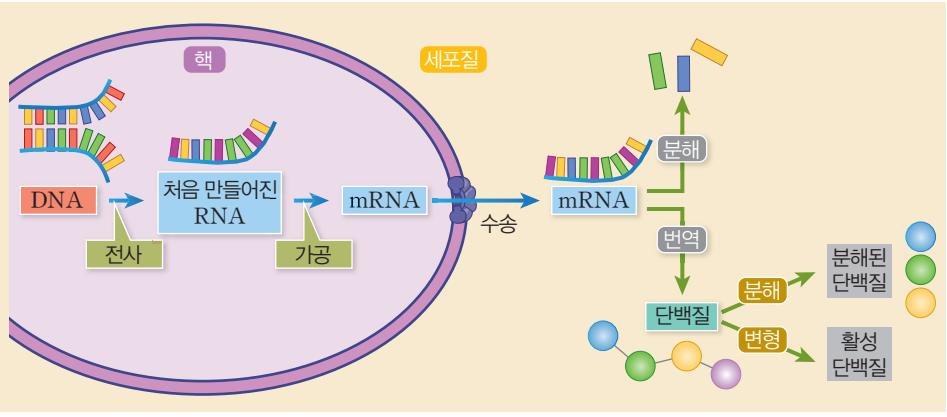


그림 Ⅳ-25 진핵생물에서 유전자 발현이 조절되는 단계

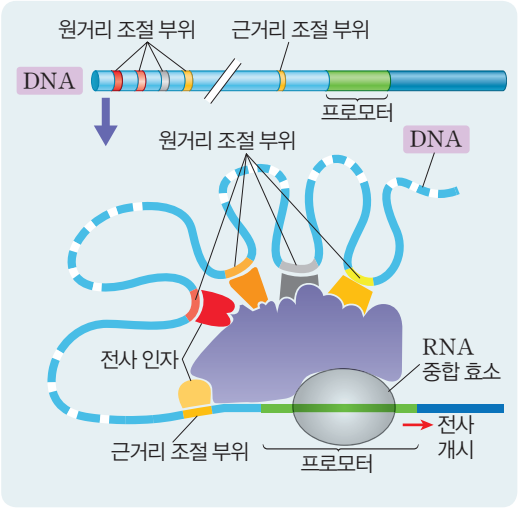
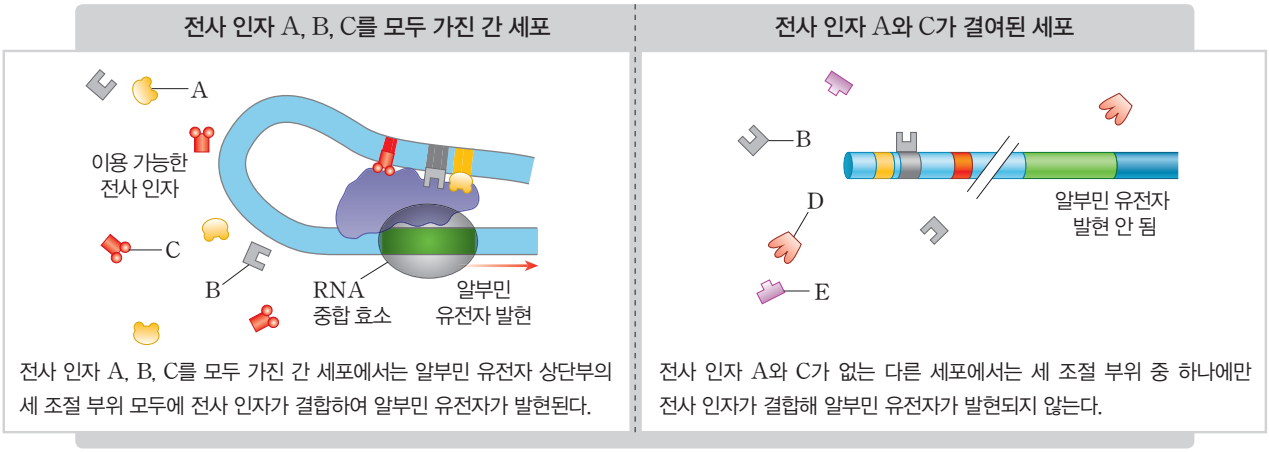


그림 Ⅳ-26 전사 개시 복합체에 의한 유전자 발현 조절

진핵생물의 전사 조절 | 진핵생물에서 전사는 여러 종류의 전사 인자가 조절하는데 전사를 촉진하는 것을 전사 촉진 인자, 억제하는 것을 전사 억제 인자라고 한다. 이러한 전사 인자가 결합하는 DNA의 특정 부위를 조절 부위라고 하며, 조절 부위에는 프로모터에 가까이 위치하는 근거리 조절 부위와 멀리 떨어져 있는 원거리 조절 부위가 있다. 전사 촉진 인자는 RNA 중합 효소의 결합이나 활성을 자극하여 전사 개시를 촉진하지만 전사 억제 인자는 전사 촉진 인자 또는 RNA 중합 효소의 결합이나 활성을 방해하여 전사를 억제한다.

진핵생물에서도 억제 단백질과 같은 전사 인자가 사용되지만 원핵생물과 다른 점은 한 유전자의 프로모터 상단 부분에 여러 개의 조절 부위가 존재하며, 이들 조절 부위에 여러 종류의 전사 인자가 서로 다른 조합으로 결합하여 유전자 발현을 조절한다는 것이다. |그림 Ⅳ-27|과 같이 각 유전자의 프로모터 상단에 존재하는 조절 부위는 변하지 않지만, 세포의 종류, 시기, 세포 안팎의 다양한 환경에 따라 세포가 가지고 있는 전사 인자가 달라지면 여러 조절 부위에 결합하는 전사 인자의 조합이 달라지고, 그 결과 유전자의 전사 여부와 전사량이 달라질 수 있다. 이렇게 진핵생물은 제한된 종류의 전사 인자를 다양한 조합으로 사용하여 많은 유전자의 발현을 다양한 수준으로 조절할 수 있다.

알부민
혈액에 있는 단백질 중 가장 양이 많으며, 혈액 안의 다양한 물질을 운반하는 역할을 담당한다. 알부민은 주로 간에서 합성되기 때문에, 혈액 내의 알부민 양은 간의 기능을 알아보는 중요한 지표로 사용된다.



전사 인자 A, B, C를 모두 가진 간 세포에서는 알부민 유전자 상단부의 세 조절 부위 모두에 전사 인자가 결합하여 알부민 유전자가 발현된다.

전사 인자 A와 C가 없는 다른 세포에서는 세 조절 부위 중 하나에만 전사 인자가 결합해 알부민 유전자가 발현되지 않는다.

그림 Ⅳ-27 전사 개시 복합체와 유전자 발현

자기 평가하기

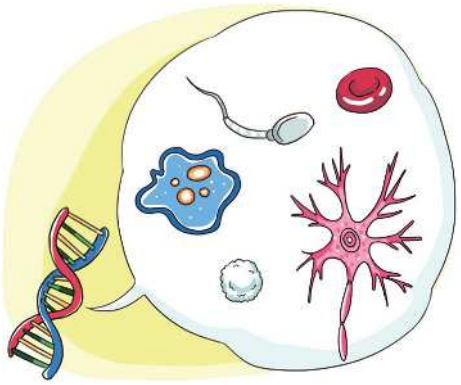
✱성취 정도를 ✓표시해 보자

1 오페론의 조절 원리를 설명할 수 있는가? 1 | 2 | 3 | 4 | 5

2 원핵생물과 진핵생물에서 전사 조절의 차이점을 비교할 수 있는가? 1 | 2 | 3 | 4 | 5

02 세포 분화와 발생

- 유전자 발현의 조절로 세포 분화가 일어남을 설명할 수 있다.
- 발생 과정에서 유전자 발현의 중요성을 조사하여 발표할 수 있다.



우리 몸의 모든 세포는 같은 유전자를 가지고 있다. 생명체의 특징은 유전자에 따라 결정되는데, 왜 같은 유전자를 가진 우리 몸의 세포는 모양과 기능이 제각각일까? 유전 정보가 같은 세포가 나타내는 특징이 서로 다른 까닭은 무엇일까?

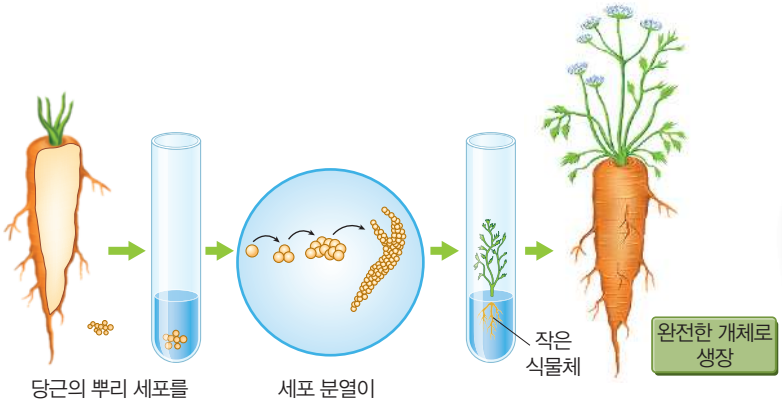
1 세포 분화와 유전자 발현의 조절

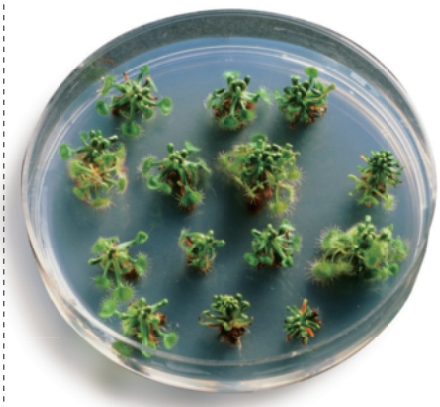
우리 몸의 세포는 모두 하나의 수정란에서 만들어지지만, 모양이나 기능은 서로 다르다. 개체의 발생이나 유지 과정에서 구조와 기능이 특수화된 세포가 만들어지는 과정을 세포 분화라고 한다. 근육 세포, 혈구, 피부 세포 등과 같이 분화된 세포는 자신의 구조와 기능에 필요한 단백질을 만들어 자신만의 고유한 특성을 나타낸다.

세포의 분화가 유전자의 변화 때문에 일어난다면 분화된 세포 또는 그 유전 물질로부터 더는 완전한 개체가 만들어질 수 없을 것이다. 그러나 |그림 Ⅳ-28|과 같이 당근의 뿌리 세포를 떼어 내 배양하면 완전한 개체를 얻을 수 있다. 동물에서는 분화된 세포를 배양하여 개체를 얻을 수는 없지만, 핵을 제거한 난자에 분화된 세포의 핵을 이식하면 완전한 개체를 얻을 수 있다. 따라서 수정란과 마찬가지로 분화된 세포에도 완전한 개체를 만드는 데 필요한 유전자가 모두 있으며, 분화 과정에서 유전자는 변하지 않는다는 것을 알 수 있다.

분화된 세포가 만드는 주요 단백질

- 근육 세포: 액틴과 마이오신
- 적혈구: 헤모글로빈
- 피부: 케라틴





▲ 조직 배양 중인 식물

그림 Ⅳ-28 당근 뿌리 세포의 조직 배양 실험(좌)과 조직을 배양한 실험체 식물(우)

그렇다면 세포의 분화는 어떻게 일어나는 것일까? 세포가 분화되는 과정은 근육 세포의 예에서 확인할 수 있다. |그림 Ⅳ−29|와 같이 근육 세포는 액틴과 마이오신 등과 같은 단백질을 합성하는데 이들의 합성과 근육 세포로의 분화는 여러 전사 인자의 작용에 따른 일련의 유전자 발현 조절로 일어난다. 근육 세포의 분화에서 *MyoD* 유전자는 전구 세포가 근육 세포로 분화되도록 운명을 결정하는 핵심 조절 유전자로 작용한다. 발현된 *MyoD* 유전자 산물, 즉 MyoD 단백질은 전사 촉진 인자로 작용하여 다른 전사 촉진 인자의 발현을 유도하고, 이 전사 촉진 인자들은 액틴과 마이오신을 비롯한 여러 종류의 근육 단백질을 발현시켜 근육 세포로의 분화가 일어난다.

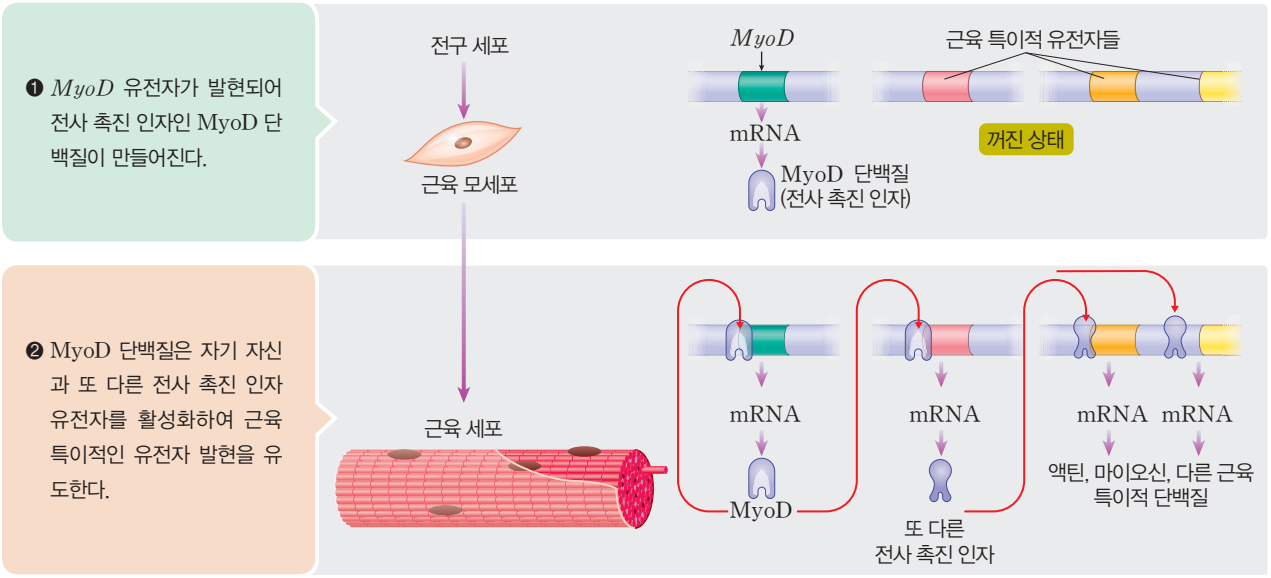


그림 Ⅳ−29 근육 세포의 분화

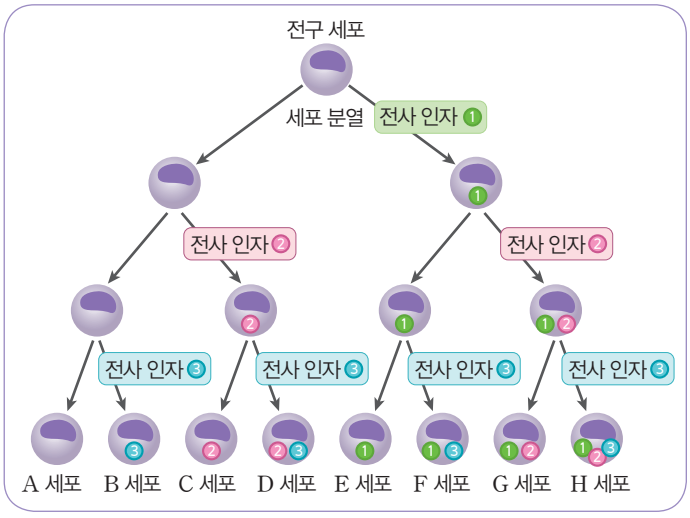


그림 Ⅳ−30 세포의 분화 | 3종류 전사 인자의 다양한 조합으로 A~H 세포가 형성된다.

근육 세포의 예에서와 같이 세포의 분화는 핵심 조절 유전자 산물을 비롯한 여러 전사 인자의 연속적인 작용으로 일어난다. 이렇게 한 종류의 세포 분화가 하나의 전사 인자가 아니라 |그림 Ⅳ−30|과 같이 여러 종류 전사 인자의 작용으로 일어나기 때문에 인간과 같은 진핵생물에서는 제한된 종류의 전사 인자를 여러 조합으로 사용하여 다양한 세포를 만들어 낼 수 있다.

2 발생과 유전자 발현의 조절

다세포 생물의 발생 과정에서는 세포의 분열과 분화를 거쳐 만들어진 여러 세포가 조직과 기관으로 조직화되어 개체를 형성한다. 세포 분화에서 핵심 조절 유전자를 비롯한 여러 전사 인자에 따른 유전자 발현 조절이 중요한 것처럼, 유전자 발현의 조절은 동물의 형태가 결정되는 초기 발생 과정에서도 매우 중요한 역할을 한다.

동물의 초기 발생 과정에서 유전자 발현 조절의 중요성은 초파리의 혹스(또는 호미오) 유전자 연구 과정에서 자세히 알려지게 되었다. 초파리의 혹스 유전자는 초파리 배아의 방향성이 결정되고, 체절이 형성된 후 각 체절에서 어떤 구조가 형성되는지를 결정하는 데 중요한 역할을 한다. 혹스 유전자의 중요성은 다양한 돌연변이 연구로 밝혀지기 시작했다. 예를 들면 원래 가슴 두 번째 체절 부위에서 발현되는 *Antp* 유전자에 돌연변이가 생겨 유전자 발현 양상이 변하면 더듬이가 생겨야 할 머리 체절 부위에 다리가 생긴다. 또한 *Ubx* 유전자에 돌연변이가 생겨 기능이 손상되면 날개 한 쌍이 더 생긴다. 이러한 결과는 이 두 혹스 유전자가 다리와 날개 형성에 핵심적인 역할을 한다는 것을 의미한다.

그림 Ⅳ－31 초파리 돌연변이체

▲ 야생형 초파리

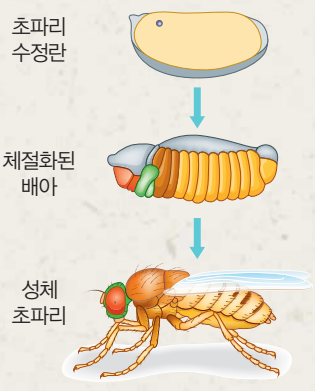
▲ *Antp* 돌연변이

▲ *Ubx* 돌연변이

핵심 역량 기르기

초파리 배아의 방향성

초파리 연구 과정으로 동물의 초기 발생 과정에서 유전자 발현 조절이 중요하다는 것이 알려지게 되었다. 초파리의 발생에는 여러 유전자의 작용이 필요한데, 먼저 모계로 전달되어 난자의 세포질에 불균일하게 분포하는 유전자(모계 영향 유전자) 산물의 작용으로 초파리 배아의 방향성(앞－뒤 방향과 등－배 방향)이 결정되고, 그 다음 배아에서 발현되기 시작하는 여러 유전자의 작용으로 체절이 형성되기 시작한다. 체절의 경계가 만들어지기 시작하면 각 체절 부위에서 발현되는 혹스 유전자의 작용으로 각 체절이 어떤 구조를 형성할지 그 운명이 결정된다. 배아의 방향성을 결정하는 모계 영향 유전자, 체절 형성 관련 유전자, 혹스 유전자 모두 유전자 발현을 조절하는 기능을 한다.



Q 모계 영향 유전자와 체절 형성 유전자에 결함이 생길 때 나타날 수 있는 다양한 표현형의 가능성을 생각해 보자.

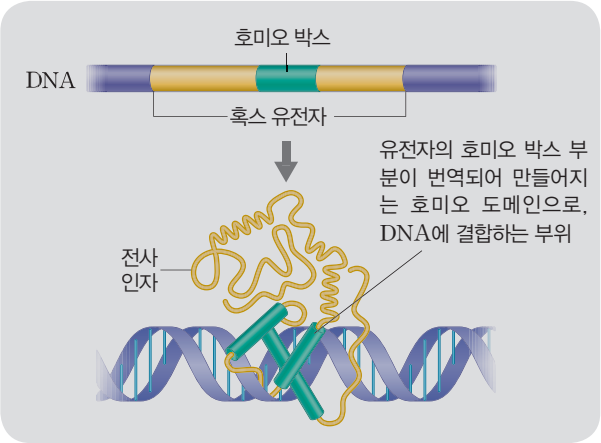


그림 Ⅳ-32 혹스 유전자

혹스 유전자의 산물은 모두 유전자 발현을 조절하는 전사 인자이다. 혹스 유전자는 모두 호미오 박스라는 공통적인 염기 서열을 가지고 있는데, 이 부분이 번역되면 DNA에 결합하는 부위인 호미오 도메인이 된다. 혹스 유전자 산물은 호미오 도메인 부분이 특정한 유전자의 프로모터 또는 조절 부위에 결합하여 전사를 조절한다.

동물의 초기 배아에서 발현되는 혹스 유전자가 체절에 따라 달라 각 체절의 유전자 발현 양상이 달라지고, 그 결과 각 체절에서는 서로 다른 구조가 형성된다. 혹스 유전자는 초파리뿐만 아니라 포유류를 비롯한 여러 생물의 발생 단계에서도 핵심적인 역할을 담당하고 있으며, 이들 중 일부는 진화적으로 잘 보존되어 있다. 혹스 유전자뿐만 아니라 배아의 발생을 조절하는 다른 여러 유전자 산물도 유전자 발현을 조절하는 기능을 한다. 따라서 동물의 발생은 연속적인 유전자 발현의 조절로 일어난다고 할 수 있을 것이다.

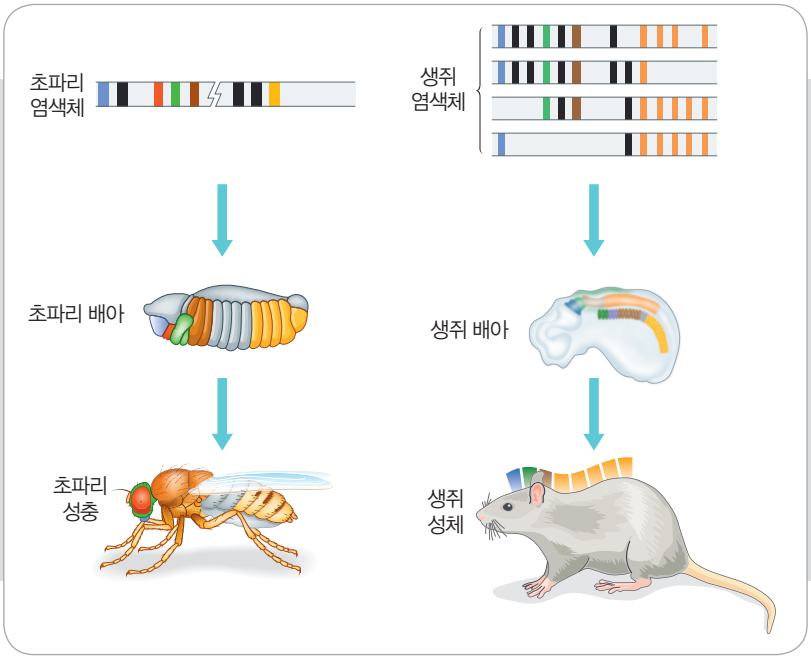


그림 Ⅳ-33 초파리와 생쥐의 혹스 유전자 비교 | 초파리와 생쥐의 혹스 유전자와 유전자가 발현되는 부위를 같은 색으로 표시하였다. 같은 색의 유전자는 공통으로 존재하는 유전자이고, 검은색은 차이가 나는 유전자이다.

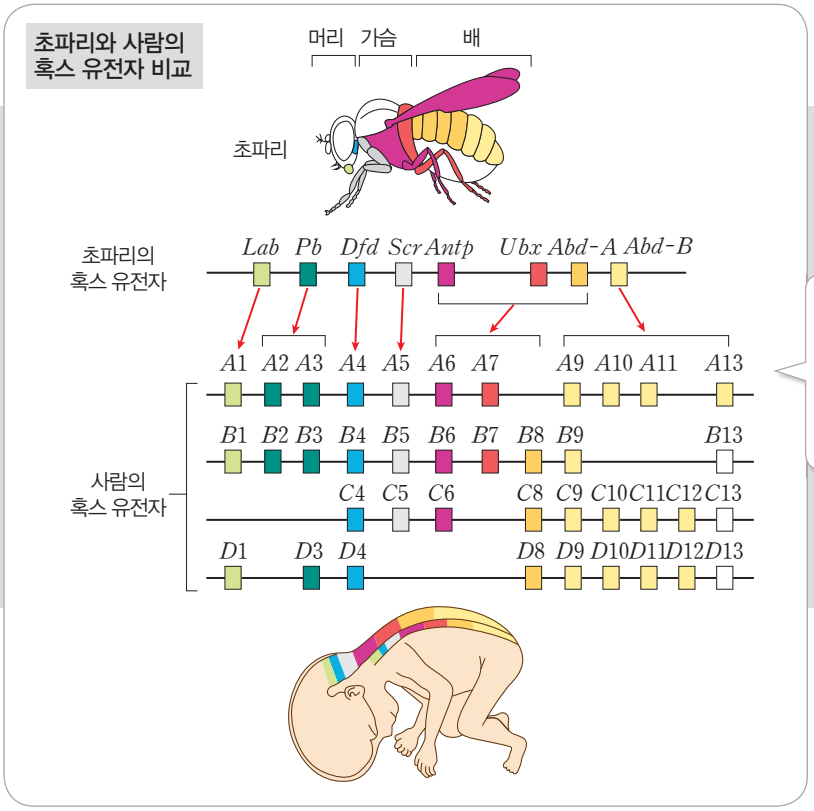
탐구 자료 조사

혹스 유전자의 기능에 관한 연구 사례 조사 발표하기

• **목표**: 연구 사례를 조사 발표하여 동물의 발생 과정에서 유전자 발현 조절의 중요성을 이해할 수 있다.

과정

그림은 초파리와 사람의 혹스(Hox) 유전자를 나타낸 것이다. 혹스 유전자는 초파리뿐만 아니라 사람에 이르기까지 많은 동물의 발생에 필수적인 역할을 담당한다. 초파리에는 *Lab*, *Pb*, *Dfd*, *Scr*, *Antp*, *Ubx*, *Abd*−*A*, *Abd*−*B*의 8가지 혹스(호미오) 유전자가 있으며, 포유류에서도 여러 종류의 혹스 유전자가 알려져 있다.



모둠별로 혹스 유전자를 연구한 사례를 한 가지씩 조사해 보자.

정리

❶ 모둠별로 조사한 사례를 연구의 목표와 결과를 포함해서 발표해 보자.

❷ 발표한 내용을 바탕으로 동물의 발생과 유전자 발현 조절 사이의 관련성에 관한 각자의 생각을 이야기하고 토의해 보자.

자기 평가하기

✸ 성취 정도를 ✓ 표시해 보자

1 세포 분화가 유전자 발현 조절로 일어난다는 것을 설명할 수 있는가? 1 | 2 | 3 | 4 | 5

2 발생 과정에서 유전자 발현 조절이 중요하다는 것을 설명할 수 있는가? 1 | 2 | 3 | 4 | 5

개념 정리하기

핵심 내용 정리하기

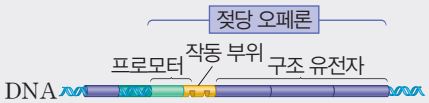
1 유전자 발현 조절의 원리

1. 유전자 발현 조절의 중요성: 우리 몸의 유전자는 세포의 종류, 시기, 환경 등의 다양한 요인에 따라 발현 여부와 ❶ 가 서로 다르다.

2. 원핵생물의 유전자 발현 조절

(1) 원핵생물의 유전자 발현 조절은 주로 전사 단계에서 일어난다.

(2) **오페론**: 기능이 연관된 여러 유전자가 모여 하나의 단위로 전사가 조절되는 유전자 집단으로 하나의 ❷ 와 작동 부위를 가진다.



3. 젖당 오페론의 조절

(1) **젖당이 없을 때**: 억제 단백질이 작동 부위에 결합하여 RNA 중합 효소가 프로모터에 결합하는 것을 방해 ➡ 구조 유전자가 발현 안 됨

(2) **젖당이 있을 때**: 젖당 유도체가 억제 단백질에 결합하여 억제 단백질이 작동 부위에 결합하지 않는다. ➡ RNA 중합 효소가 프로모터에 결합하여 전사가 시작

(3) 원핵생물의 오페론은 대부분 ❸ 로 조절되지만 일부는 전사 촉진 인자로 조절된다.

4. 진핵생물의 유전자 발현 조절

(1) 각각의 유전자가 모두 자신의 프로모터를 가지고 있어 개별적으로 전사를 조절한다.

(2) 전사, mRNA의 수송, 번역, 단백질 변형, 분해 등의 모든 단계에서 조절되어 유전자 산물의 양이 달라질 수 있다.

(3) 많은 경우 ❹ 단계의 조절이 매우 중요하며 여러 전사 촉진 인자와 억제 인자가 여러 조절 부위에 다양한 조합으로 결합하여 전사의 여부와 정도를 조절한다.

(4) 유전자 발현을 위해서는 염색질의 구조가 풀어져야 하므로 염색질의 구조 조절은 전사 조절에 중요한 역할을 한다.

(5) 원핵생물과 진핵생물에서 전사 조절의 차이

구분	원핵세포	진핵세포
조절 단위	각 유전자, 오페론	각 유전자
조절 부위	오페론당 1개 (일부는 2개)	한 유전자에 다수의 조절 부위 있음
염색질의 영향	없음	있음
영향을 미치는 요인	환경 요인	세포의 종류, 시기, 환경 등 다양한 요인

2 세포 분화와 발생

1. 세포 분화와 유전자 발현의 조절

(1) **세포 분화**: 구조와 기능이 특수화된 세포가 만들어지며, 자신의 구조와 기능에 맞는 ❺ 생산이 필요하다.

(2) 세포 분화는 유전자의 변화가 아니라 ❻ 의 변화로 일어난다.

- 식물 세포를 조직 배양하면 완전한 개체를 얻을 수 있다.
- 동물 세포의 핵을 무핵 난자에 이식하여 완전한 개체를 얻을 수 있다.

(3) 전사 촉진 인자에 따라 세포 분화가 유도된다.

- *MyoD*가 발현되면 다른 전사 촉진 인자의 발현이 유도되어 근육 단백질이 발현되고 근육 세포로 분화된다.

(4) 진핵생물에서는 여러 전사 인자를 다양한 조합으로 사용함으로써 다양한 세포로 분화된다.

2. 발생과 유전자 발현의 조절

(1) 발생 과정에서는 분열과 분화로 만들어진 여러 세포가 조직과 기관으로 조직화되어 개체를 형성한다.

(2) **혹스(호미오) 유전자**

- 초파리에서 배아의 방향성과 체절이 형성된 후 각 체절이 어떤 구조를 형성하는지 결정하는 데 중요하다.
- 유전자 산물에서 호미오 도메인이라는 DNA 결합 부위에 해당하는 ❼ 를 가진다.
- 체절에 따라 발현되는 혹스 유전자와 이들이 조절하는 유전자의 발현 양상이 달라져 각각의 체절에서 서로 다른 구조가 형성된다.

정답 | ❶ 발현 정도 ❷ 프로모터 ❸ 억제 단백질 ❹ 전사 ❺ 단백질 ❻ 유전자 발현 ❼ 호미오 부스

개념 확인하기

1 다음은 원핵세포의 유전자 발현에 관련된 부위에 관한 설명이다. 설명에 해당하는 용어의 기호를 보기에서 찾아 쓰시오.

(1) RNA 중합 효소가 결합하여 전사가 시작되는 부위 ····· (　　)

(2) DNA의 특정 부위에 결합하는지가 여러 요인에 의해 조절될 수 있다. ····· (　　)

(3) 전사를 조절하는 스위치 역할을 하는 부위 ····· (　　)

(4) 하나의 프로모터와 작동 부위를 가지며, 기능이 연관된 구조 유전자가 모여 있다. ····· (　　)

보기

ㄱ. 오페론　　ㄴ. 억제 단백질

ㄷ. 프로모터　　ㄹ. 작동 부위

2 진핵생물의 유전자 발현 조절에 관한 설명으로 옳은 것은 ○, 옳지 않은 것은 ×표를 하시오.

(1) 전사 촉진 인자는 RNA 중합 효소의 결합이나 활성을 촉진한다. ····· (　　)

(2) 세포에 따라 특정 유전자의 프로모터 상단에 위치한 조절 부위가 서로 다르다. ····· (　　)

(3) 세포가 분화하려면 고유한 특성을 나타내는 단백질 합성이 필요하다. ····· (　　)

(4) 세포의 분화는 유전자의 변화로 일어난다. ····· (　　)

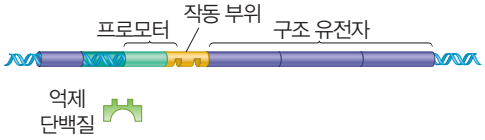
3 다음은 혹스 유전자에 관한 설명이다. (　　) 안에 들어갈 알맞은 말을 쓰시오.

혹스 유전자는 호미오 박스라는 공통적인 (㉠　　)을 가진다. 이 부분은 유전자 산물에서 호미오 도메인이라는 DNA 결합 부위를 형성하여 특정 유전자의 (㉡　　)에 결합한다.

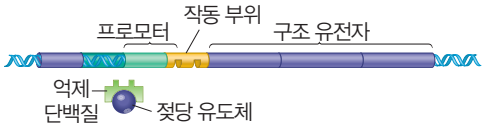
개념 응용하기

1 그림은 젖당 오페론을 나타낸 것이다.

(가) 젖당이 없을 때



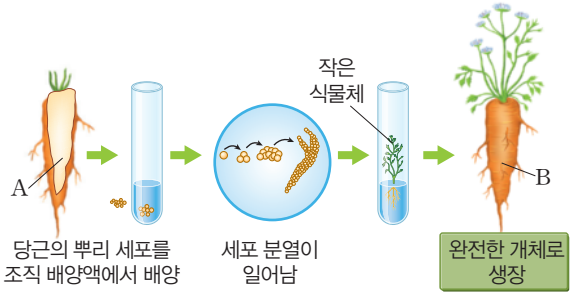
(나) 젖당이 있을 때



(가)와 (나)에서 각각 억제 단백질과 RNA 중합 효소의 결합 여부를 표시하고, 발현 여부를 쓰시오.

2 사람의 유전체에는 대략 2000여 종의 전사 인자가 있다고 알려져 있다. 사람의 유전자가 약 20000개 정도라고 할 때 2000여 종의 전사 인자로 어떻게 10배가 넘는 많은 유전자의 발현을 서로 다르게 조절할 수 있는지 서술하시오.

3 그림은 당근의 뿌리 세포를 배양한 실험 결과를 나타낸 것이다.



(1) A와 B의 유전 형질이 같을지 다를지 쓰시오.

(2) 세포의 분화가 유전자의 변화로 일어난다고 가정할 때 예상되는 실험 결과를 서술하시오.

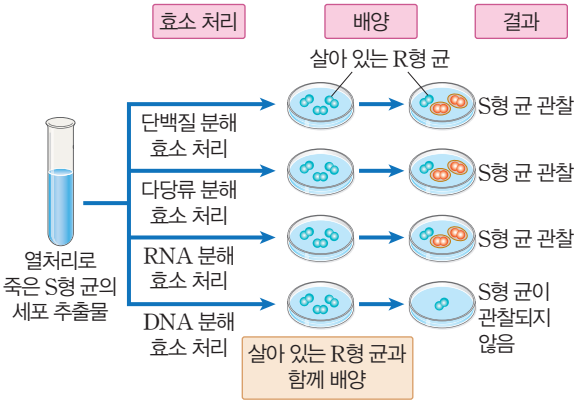
(3) 위의 실험 결과 알 수 있는 사실을 모두 서술하시오.

단원 마무리

핵심 바로 알기

유전 물질 확인
에이버리는 형질 전환을 일으키는 물질이 DNA라고 발표하였다.

1 그림은 에이버리의 실험 과정을 나타낸 것이다.

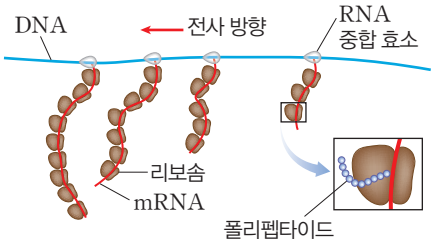


(1) 에이버리가 DNA를 유전 물질로 판단한 까닭을 서술하시오.

(2) 에이버리의 연구가 당시 다른 과학자들에게 인정받기 힘들었던 까닭을 서술하시오.

단백질 합성
단백질 합성은 개시 → 신장 → 종결의 세 단계로 진행된다.

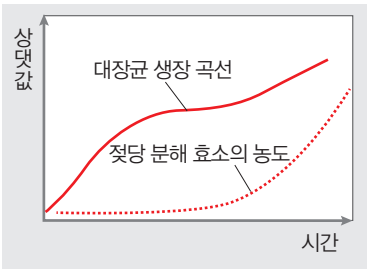
2 그림은 세포에서 단백질이 합성되는 과정을 나타낸 것이다.



하나의 mRNA에 다수의 리보솜이 결합하였을 때 어떠한 장점이 있을지 서술하시오.

원핵생물의 유전자 발현 조절
젖당을 분해하는 데 필요한 효소 유전자는 오페론에 모여 있다.

3 그림은 대장균을 젖당과 포도당이 모두 포함된 배지에서 길렀을 때 시간에 따른 대장균의 수와 젖당 분해 효소 농도를 나타낸 것이다.



(1) 젖당과 포도당 중 대장균이 먼저 사용하는 에너지원을 쓰시오.

(2) 젖당 분해 효소 합성을 조절하는 원리를 서술하시오.

4 다음은 사람 유전체 사업과 관련한 설명이다.

사람 유전체 사업은 DNA의 염기 서열을 분석하고 그 기능을 알아내어 이를 제약, 의료 등 각종 산업에 응용하고자 하는 연구이다. 1980년대 중반에 시작된 사람 유전체 연구는 2000년대 초에 사람 DNA의 염기 서열 상당 부분이 밝혀지면서 사람 생명의 신비가 모두 밝혀질 것으로 기대를 모았다. 하지만 염기 서열을 알아내는 것과 그에 담긴 생명의 정보를 이해하는 것에는 매우 큰 차이가 있다. 이를 극복하려고 염기 서열로부터 만들어진 단백질의 기능과 역할을 활발히 연구하는 중이다.

밝혀진 염기 서열은 다양한 분야에 응용되고 있으며, 그중 하나가 유전자 칩을 이용한 유전자 검사이다. 개인의 유전 정보를 분석하는 기술이 발달하면서 개인의 유전 정보가 어디까지 수집되고 활용되며 공개될 수 있는지에 대한 문제가 제기되고 있다.

(1) 사람 유전체를 분석한 결과에서 알아낼 수 있는 정보에는 무엇이 있는가?

(2) 사람의 DNA 염기 서열만으로 생명의 정보를 알아내기 힘든 까닭은 무엇인지 서술하시오.

(3) 개인의 유전 정보를 수집하고 분석하는 데 찬성하는지 반대하는지 자신의 의견을 쓰고, 그 까닭을 서술하시오.

핵심 바로 알기

사람 유전체 사업
사람 유전체 DNA의 염기 서열을 분석하여 사람이 가지는 모든 유전 정보를 알아내기 위해 시작된 국제적인 공동 연구 사업이다.

✱ 성취 정도를 ✓ 표시해 보자

		1	2	3	4	5
1	원핵생물과 진핵생물의 유전체를 비교하여 설명할 수 있다.					
2	DNA 복제 과정을 설명할 수 있다.					
3	유전자 발현 과정을 설명할 수 있다.					
4	세포의 분화를 유전자 발현의 조절로 설명할 수 있다.					
5	혹스 유전자 연구 사례 조사 및 발표 활동에 적극적으로 참여하였다.					

■ 이 단원과 연계된 학습 과정

통합과학
- 지질 시대
- 화석, 대멸종
- 진화와 생물 다양성

생명 과학 Ⅰ
- 생태계의 구성과 기능
- 생물 다양성과 보전

생명 과학 Ⅱ
- Ⅴ. 생물의 진화와 다양성

V

생물의 진화와 다양성

지구에는 수백만 종의 생물이 살고 있을 것으로 추정하고 있으며, 이 중 120만 종 이상이 데이터베이스에 등록되었다. 지구에서 생명체가 탄생하여 현재의 다양한 생물로 진화하는 과정과 원리를 알아보고, 생물의 분류 체계와 유연관계, 그리고 대표적인 생물의 특징을 알아보자.

1. 생명의 기원과 다양성
2. 생물의 진화

■ 이 단원의 주요 핵심 역량

과학적 사고력	생명체의 탄생과 생물의 진화 과정 이해하기
과학적 탐구 능력	생물의 특징을 조사하여 계통수 만들기
과학적 문제 해결력	고리종의 사례를 찾아 종이 분화되는 과정 설명하기
과학적 의사소통 능력	분류 체계가 변화되어 온 까닭 토의하기
과학적 참여와 평생 학습 능력	주변의 다양한 생물을 문 또는 강 수준에서 분류하기

생명의 기원과 다양성

01. 생명의 기원과 진화
02. 생물의 분류 체계
03. 생물의 다양성

이 단원의 학습 목표

원시 세포의 탄생 과정을 이해하고, 원핵생물에서 진핵생물, 단세포 생물에서 다세포 생물로 진화하는 과정을 설명할 수 있다. 또한 생물의 분류 체계가 변화해 온 과정과 그 까닭을 설명할 수 있고, 대표적인 생물의 특징을 근거로 계통수를 작성할 수 있다.

자기 점검 – 알고 있는 용어에 표시해 보자.

종 ☐	분류 체계 ☐	핵막 ☐	동물 ☐
식물 ☐	세균 ☐	균류 ☐	원생생물 ☐

▶ 표시하지 못한 용어는 중학교 과학 교과서 '생물의 다양성' 단원에서 확인해 보자.

학습 계획 세우기 – 학습 목표를 달성하기 위해 어떤 준비를 할 수 있을지 써 보자.

예 학교 교정에 있는 식물을 조사해 본다.

01 생명의 기원과 진화

- 원시 생명체의 탄생 과정을 이해할 수 있다.
- 원핵생물에서 진핵생물, 단세포 생물에서 다세포 생물로 진화하는 과정을 이해할 수 있다.

악어는 알을 낳고, 알에서는 악어 새끼가 나온다. 악어와 악어 알 중 누가 먼저 지구에 나타났을까? 우주에서 지구가 탄생한 후 어떻게 생명체가 출현하였을까?

1 원시 생명체의 탄생

유기물의 생성 | 오파린(Oparin, A. I., 1894~1980)은 1924년에 『생명의 기원』에서 무기물로부터 간단한 유기물이 만들어지고, 간단한 유기물에서 촉매 역할을 할 수 있는 고분자 물질이 만들어졌으며, 이로부터 원시 생명체가 만들어졌다는 화학적 진화설을 제시하였다.

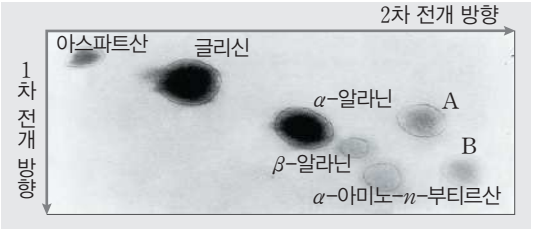
탐구 자료 해석

원시 지구에서 유기물의 생성 확인하기

• **목표**: 무기물에서 유기물이 생성됨을 알 수 있다.

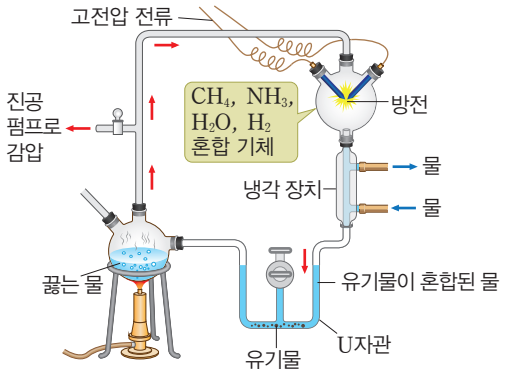
밀러(Miller, S. L., 1930~2007)는 1953년에 다음 실험으로 화학적 진화설을 뒷받침하는 증거를 제시하였다.

밀러는 오른쪽 그림과 같은 실험 장치에 환원성 기체인 수소, 메테인, 암모니아, 수증기를 플라스크에 넣은 후 1주일 동안 물을 끓여 순환시키면서 강한 방전을 일으켰다. 1주일 후 U자관에 존재하는 물질을 2차원 크로마토그래피로 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.



A, B: 확인 안 된 물질

출처: Lazxano and Bada, 2003.



▲ 밀러의 실험 장치

정리

❶ 이 실험에서 에너지원은 무엇이며, 혼합 기체의 특징은 무엇인가?

❷ 이 실험에서 U자관은 원시 지구에서 무엇에 해당한다고 생각하는가?

❸ 실험 결과로부터 얻을 수 있는 결론은 무엇인가?

그림 V-1 심해 열수구

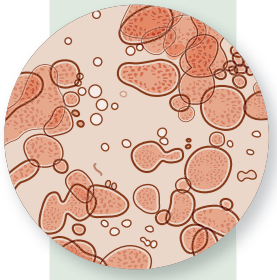
약 46억 년 전에 탄생한 지구의 원시 대기는 주로 질소, 수증기, 이산화탄소, 암모니아, 메테인으로 구성되었고, 이들이 태양의 자외선, 지구의 열, 방전, 운석의 충돌 등으로 화학 반응을 일으켜 유기물이 생성되었다. 특히 심해 열수구는 온도와 압력이 높고 수소, 암모니아, 메테인 등 환원성 물질이 높은 농도로 존재하므로 유기물이 생성되기에 적합하여 원시 지구에서 유기물이 생성된 장소로 제안되었다.

생명체가 탄생하기 위한 다음 단계는 간단한 유기물이 좀 더 복잡한 생체 물질로 바뀌는 것이다. 폭스(Fox, S. W., 1913~1998)는 간단한 유기물인 아미노산을 높은 온도에서 가열하면 복잡한 유기물이 만들어질 수 있음을 실험으로 입증하였다.

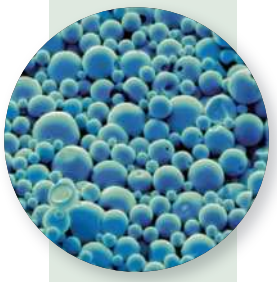
| 생명체 탄생에 필요한 막의 생성 | 원시 생명체가 되려면 안정적인 생명 활동이 일어날 수 있도록 외부 환경과 내부 환경을 구분하고, 물질을 선택적으로 통과시킬 수 있는 막이 발달해야 한다.

오파린은 탄수화물, 단백질, 핵산의 혼합물로부터 코아세르베이트라고 하는 유기물 복합체를 만들었다. 코아세르베이트는 원형질과 비슷하며, 막이 있어 주위와 분리되고 성장할 수 있다는 점에서 세포와 유사하다. 이후 폭스는 건조한 아미노산 혼합체를 가열하여 마이크로스피어를 만들었다. 마이크로스피어는 선택적 투과성이 있으며, 코아세르베이트보다 구조가 안정적이므로 원시 세포 출현에 중요한 역할을 했을 것이다.

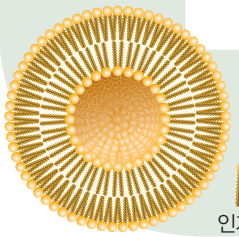
인지질은 친수성 머리와 소수성 꼬리가 있는 물질로, 물에 넣으면 소수성 꼬리가 서로 마주 보는 2중층의 리포솜이 형성된다. 초기 세포는 이처럼 인지질로 이루어진 리포솜과 유사했을 것이다. 리포솜은 물속에서 단백질을 막에 부착할 수 있을 뿐만 아니라 물질을 선택적으로 흡수하여 크기가 커질 수도 있으며, 소낭을 형성하여 분리되기도 한다.



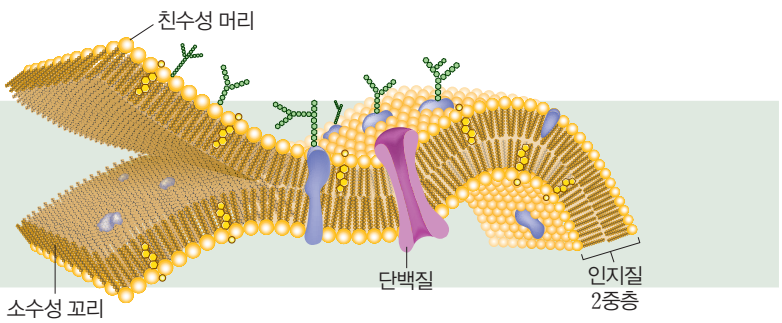
▲ 코아세르베이트



▲ 마이크로스피어



▲ 리포솜



▲ 세포막

그림 V-2 막의 생성

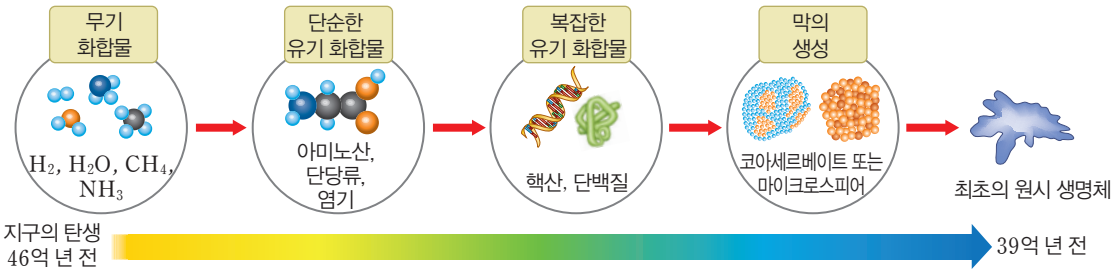


그림 V−3 원시 생명체의 탄생 과정

유전 물질과 원시 생명체의 탄생 | 진정한 생명체가 되려면 막을 형성할 뿐만 아니라 스스로 복제하여 번식할 수 있어야 하고, 물질대사를 위한 효소계가 발달해야 한다. 최초 원시 생명체의 유전 물질은 유전 정보를 저장하며, 다양한 3차원 입체 구조를 형성할 수 있어 효소처럼 작용할 수 있었을 것이다.

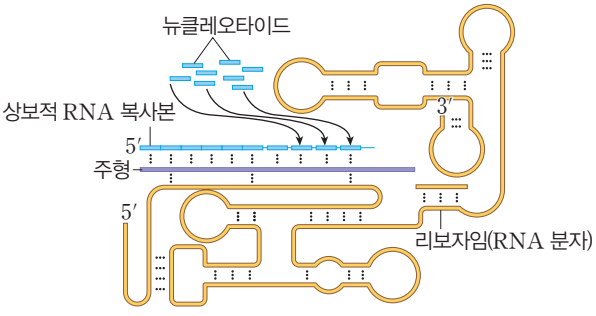
체크(Cech, T. R., 1947~)와 올트먼(Altman, S., 1939~)은 효소 활성이 있는 RNA를 발견하고, 이를 리보자임이라고 불렀다. 리보자임은 단일 가닥 RNA로 되어 있어 염기 서열에 따라 다양한 입체 구조를 만들며, RNA 중합 효소 기능이 있는 리보자임은 빠르게 복제할 수 있다. 이와 같이 리보자임은 최초로 유전 물질이 가져야 할 조건을 모두 갖추었다. 이를 근거로 최초의 유전자와 효소가 RNA 분자였을 것이라는 RNA 우선 가설이 제시되었다. 길버트(Gilbert, W., 1932~)는 RNA가 생명체의 유전 물질인 동시에 촉매 기능을 담당하던 원시 지구를 RNA 세계라고 하였다. 이후 효소 활성이 높은 단백질과 유전 정보를 더욱 안정적으로 저장할 수 있는 구조의 DNA가 출현하면서 RNA의 많은 기능을 대체하였을 것이다.

이로써 유전 정보의 저장은 DNA가 담당하고, RNA는 DNA의 유전 정보를 단백질 합성 기구에 정확히 전달하는 역할을 하며, 단백질 효소는 화학 반응을 촉매하는 역할을 하게 된 것으로 생각된다.

핵심 역량 기르기

최초의 유전 물질

리보자임은 효소의 기능을 가진 RNA를 말한다. 매우 짧은 단일 가닥의 뉴클레오타이드 사슬로 이루어진 리보자임은 다양한 3차 구조를 만들 수 있으며, 이 구조가 효소의 기능을 나타내기도 한다. 리보자임 중에는 뉴클레오타이드를 공급하면 단백질 효소 없이도 스스로 효소로 작용하여 RNA 가닥을 합성하는 것도 있다. 때로는 다른 RNA 분자들의 복제를 촉매하는 효소로 작용하기도 한다.



▲ 리보자임의 구조 | 3차 구조인 RNA 속에서 주형이 되는 RNA에 상보적인 RNA 복사본이 형성되고 있다.

Q 생물의 구조와 기능이 복잡해질수록 RNA보다 DNA가 유전 정보를 저장하기에 더 적합한 까닭을 생각해 보자.

그림 V−4 스트로마톨라이트 | 남세균과 같은 원시 광합성 원핵생물에 의해 만들어진 얇은 층을 이룬 암석이다. (×1250)

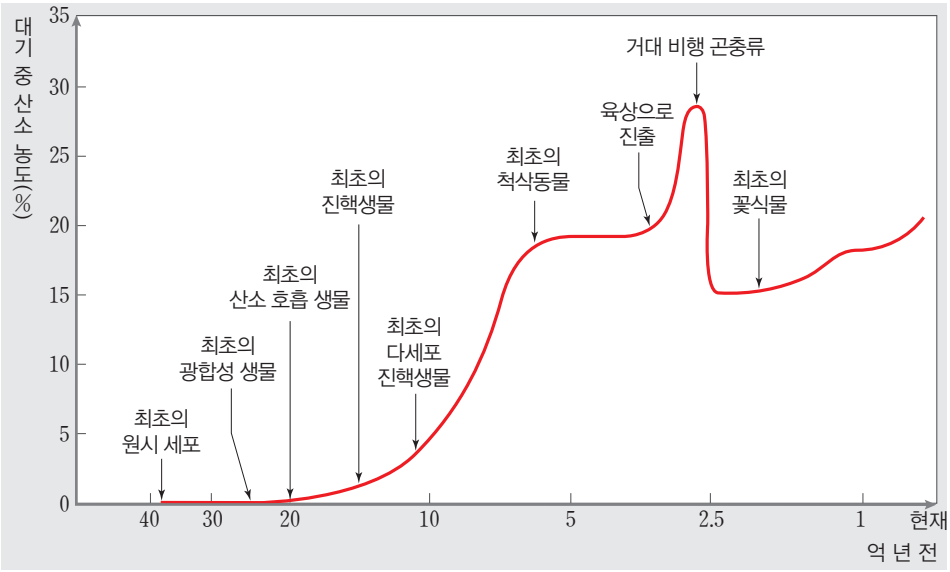
2 원시 생명체의 진화

| 원핵생물의 출현 | 약 39억 년 전에 지구에서 최초의 생명체가 출현한 것으로 추정된다. 이 생명체는 유전 물질과 효소가 있으며, 막이 있어 물질 출입을 조절할 수 있었을 것이다. 이들은 원시 바다에 농축되어 있던 유기물을 먹고 사는 종속 영양 생물이었다. 그러나 이 최초 생명체와 관련한 증거는 남아 있지 않고, 약 35억 년 전에 형성된 것으로 보이는 스트로마톨라이트에서 가장 오래된 생명체 화석이 발견되었다.

그림 V−5 산소의 증가 | 퇴적암의 붉은 띠는 산화 철이다.

| 환경의 변화 | 스트로마톨라이트에서 발견된 화석은 남세균이나 엽록체와 비슷하다. 이는 이때에 독립 영양 생물이 존재했음을 뜻한다. 초기의 독립 영양 생물은 빛에너지와 대기 중의 이산화 탄소, 황화 수소를 이용하여 유기물을 합성하였을 것이다. 이후 오늘날과 같이 물로부터 전자를 얻어 광합성을 하는 남세균이 출현하였으며, 물을 이용하는 광합성 세균의 증가로 대기 중에 산소가 증가하게 되었다. 이와 같은 산소의 증가는 산화 철이 풍부하게 존재하는 퇴적암에서 확인할 수 있다.

대기 중 산소 농도의 증가와 함께 무산소 환경에서 살아가던 생물은 사멸하거나, 일부는 오늘날의 무산소 호흡 생물로 진화하였고, 산소를 이용하는 산소 호흡 생물이 출현하여 번성하였다.



출처: Hillis 외, 2014.

그림 V−6 지구가 탄생한 46억 년 전부터 현재까지 대기 중 산소 농도의 변화

진핵생물의 출현 | 진핵생물은 약 21억 년 전에 출현하였다. 진핵생물의 출현 과정은 막 진화설과 세포내 공생설로 설명한다. 막 진화설에 따르면 원핵생물의 세포막이 안으로 접혀 들어갔고, 접혀 들어간 막은 세포막과 분리되어 소포체와 핵 등 막성 세포 소기관을 형성하였다. 핵막의 형성은 원핵생물에서 진핵생물로 진화하는 결정적인 사건이다.

세포내 공생설에 따르면 독립된 원핵세포가 다른 세포의 내부에 공생하면서 미토콘드리아나 엽록체와 같은 세포 소기관으로 분화하였다. 미토콘드리아는 산소 호흡을 하던 종속 영양 원핵생물이 숙주 세포에 공생하여 형성된 것으로, 무산소 호흡 세포인 숙주는 이와 같은 공생으로 산소 농도가 증가하는 환경에 적응할 수 있었을 것이다. 엽록체는 광합성을 하던 독립 영양 원핵생물이 숙주 세포에 공생하여 형성된 것이다. 시간이 지나면서 숙주 세포와 내부 공생자는 하나의 세포로 진화하게 되었다. 원핵세포는 이와 같은 연속적인 내부 공생으로 다양한 진핵세포로 진화하였다.

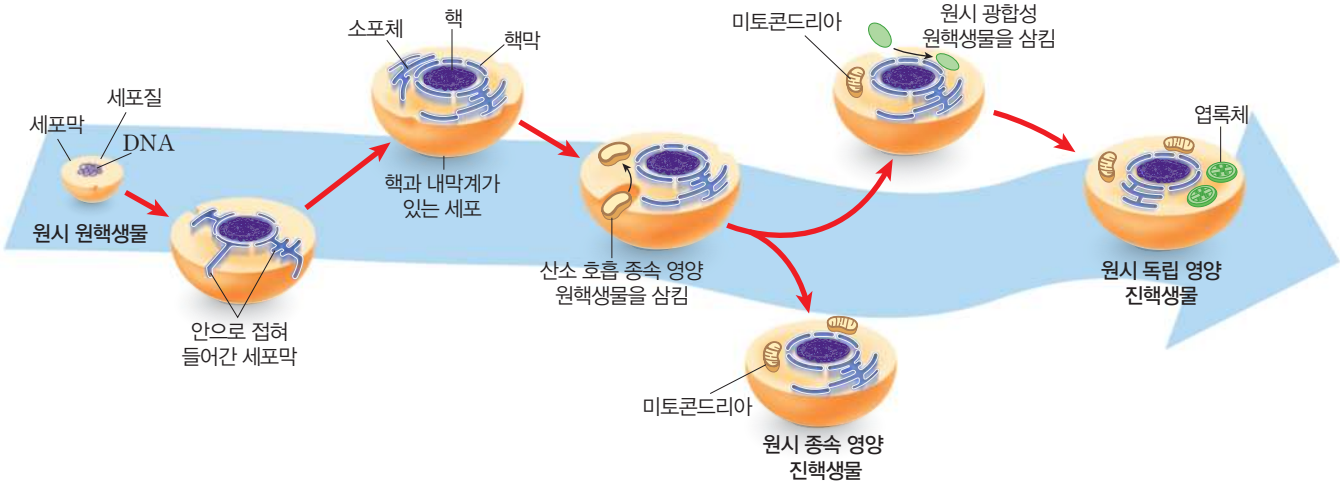


그림 V-7 막 진화설과 세포내 공생설에 근거한 진핵세포의 출현과 진화 과정

현재 살아 있는 생물의 세포에서 세포내 공생의 흔적을 찾아볼 수 있다. 미토콘드리아와 엽록체는 원핵생물의 DNA와 비슷한 원형의 독자적인 DNA와 복제 기구를 가지고 있으며, 크기도 단세포 원핵생물과 비슷하다. 원핵생물과 같이 단순한 분열법으로 증식하고 원핵생물의 리보솜과 유사한 리보솜을 가진다. 또한 엽록체와 미토콘드리아는 두 겹의 막 구조로 되어 있는데, 미토콘드리아의 내막과 엽록체의 틸라코이드 막에는 원핵생물의 세포막에 존재하는 효소와 전자 전달계가 존재한다. 이와 같은 특징으로 미토콘드리아와 엽록체는 공생 이전에 독립적인 원핵생물이었다는 것을 알 수 있다.

창의력 키우기 세포내 공생설을 지지하는 증거로부터 공생이 두 생물의 삶에 어떤 영향을 줄 수 있었을지 생각해 보자.

그림 Ⅴ-8 최초의 다세포 생물 화석(디킨소니아)

다세포 생물의 출현 | 약 15억 년 전에 형태적으로 다양한 진핵생물이 번성하였으며, 이 시기에 단세포 진핵생물에서 다세포 진핵생물이 진화하였다. |그림 Ⅴ-9|와 같이 일부 단세포 진핵생물은 군체를 형성하며 환경 적응력을 키웠다. 시간이 지나면서 군체를 형성하는 각각의 생물은 기능이 분화되었으며, 상호 의존성이 증가하였다. 군체는 형태와 기능이 분화되어 다양한 생명체로 진화할 수 있었다. 다세포 진핵생물은 진화하여 현재의 원생생물, 식물, 동물, 균류의 조상이 되었다.

다세포 진핵생물의 화석은 고생대 캄브리아기 초기인 약 5억 3천만 년 전에 형성된 지층에서 다량으로 발견되기 시작하였다. 이로부터 이 시기에 다세포 진핵생물이 폭발적으로 증가하였음을 알 수 있다.

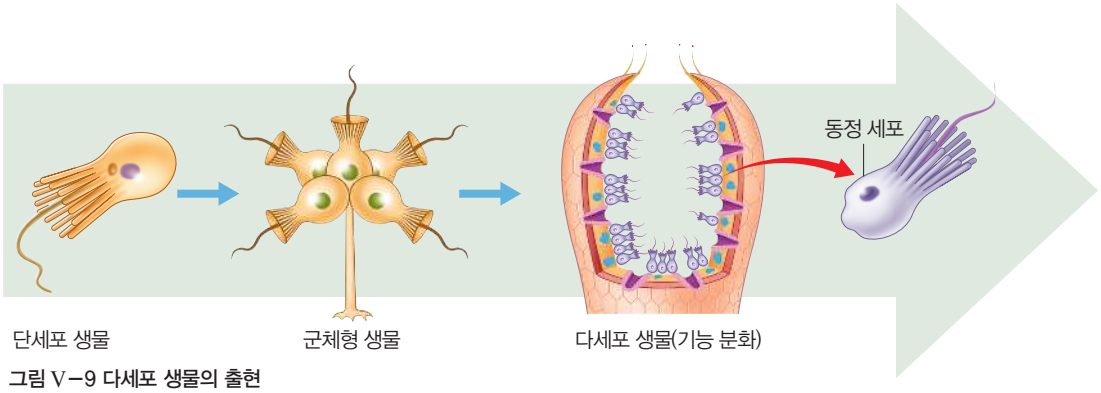


그림 Ⅴ-9 다세포 생물의 출현

생물의 육상 진출 | 광합성 생물의 증가는 대기 중 산소 농도를 증가시켰고, 미토콘드리아가 있는 진핵생물과 산소 호흡 생물은 산소를 이용하여 효율적으로 에너지를 얻을 수 있게 되었다. 산소가 축적되어 대기 중에 오존층이 형성되면서 지표면에 도달하는 자외선의 양이 감소하였고, 그 결과 생물의 육상 진출이 가능하게 되었다. 생물에게는 물이 필수적이므로 건조로부터 몸을 보호할 수 있는 형질이 발달한 생물은 육상 환경에 잘 적응하여 번성하였다. 약 5억 년 전에 다세포 진핵생물이 육상으로 진출한 것으로 추정된다.

자기 평가하기

✱성취 정도를 ✓표시해 보자

1 원시 생명체의 탄생 과정을 설명할 수 있는가? 1 2 3 4 5

2 원핵생물에서 다세포 생물이 출현하기까지의 과정을 설명할 수 있는가? 1 2 3 4 5

02 생물의 분류 체계

생물 분류 체계의 변화 과정을 설명할 수 있다.
5계와 3역 6계 체계를 비교하여 설명할 수 있다.

복숭아에 알레르기 반응을 보이는 민준이가 자두로 생각한 과일을 먹고 재채기를 하기 시작하였다. 알고 보니 민준이가 자두라고 생각한 것은 천도복숭아였다. 복숭아와 천도복숭아를 하나로 묶을 수 있는 특징은 무엇일까?

1 생물 분류

생물 분류란 생물의 이름을 찾고, 새로운 이름을 짓고, 비슷한 특징을 가지는 생물끼리 무리 지으며, 생물들 사이의 계통을 밝히는 것이다.

종의 개념 | 종이란 생물 분류의 기본 단위로, 18세기에 생물학자인 린네가 종의 개념을 체계화하였다. 린네는 종을 '변화하지 않으며 형태와 구조가 비슷하여 다른 개체들과 구별되는 개체들의 무리'라고 정의하였다. 이와 같이 형태와 구조를 기준으로 종을 정의하는 것을 형태학적 종이라고 하며, 주로 균류와 식물 분류에 사용한다.

하지만 다윈의 진화론 이후에 종은 변화한다는 것이 알려졌고, 유전학이 발달함에 따라 형태적 특징과 유전적 공통성에 근거한 새로운 종의 개념인 생물학적 종이 제안되었다. 생물학적 종이란 다른 종과 구별되는 공통적인 특징과 생활형을 가지며 서로 교배하여 생식 능력이 있는 자손을 낳을 수 있는 무리를 말한다. 이는 주로 동물 분류에 사용한다.

그림 V-10 종의 개념

분류 단계 | 린네는 생물 분류 단계로 종, 속, 과, 목, 강, 문, 계를 제안하였다. 비슷한 특징이 많은 종을 모아 하나의 속으로 묶을 수 있고, 비슷한 특징이 많은 속을 모아 하나의 과로 묶을 수 있다. 이와 같은 과정을 거쳐 최종 단계인 계로 묶을 수 있다. 하지만 린네의 제안 이후 미생물 분류학자인 우즈(Woese, C. R., 1928~2012)가 최상위 분류 단계로 역을 제안한 뒤 많은 생물학자들이 최상위 분류 단계로 역을 사용하고 있다.

학명 | 국제적으로 통용되는 생물의 이름을 학명이라고 하며, 국제명명규약에 따라 정해져야 인정을 받는다. 종의 학명은 기본적으로 린네가 제안한 이명법을 사용하며, 라틴어 또는 라틴어화 하여 이탤릭체로 기록한다. 이명법은 속명과 종소명으로 구성되며 속명의 첫 글자는 대문자로, 종소명은 모두 소문자로 적고 종소명 뒤에 학명을 지은 사람을 표기하기도 한다. 사람의 학명은 다음과 같다.

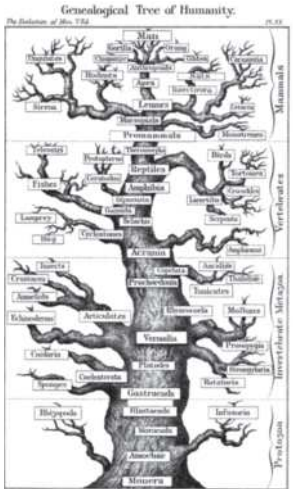
Homo *sapiens* Linné
속명 종소명 명명자

창의력 키우기 분류 단계에 따라 종부터 계까지 장미가 속한 무리의 학명을 조사해 보자.

2 계통 분류와 계통수

계통이란 생물이 진화해 온 역사를 말하며, 생물이 가지는 형질의 공통점과 차이점을 이용하여 간접적으로 진화적 유연관계를 나타내면 생물의 계통을 알 수 있다. 이처럼 생물이 진화해 온 계통을 밝히는 것을 계통 분류라고 하며, 그 결과를 나뭇가지 모양으로 나타낸 것을 계통수라고 한다.

계통 분류를 하려면 진화 경로를 유추할 수 있는 형질을 결정하고, 형질 특성을 조사해야 한다. 예를 들어 형질은 눈동자 색이고, 형질 특성은 갈색, 검은색, 푸른색 등이다. 형질을 결정할 때는 가급적 환경이나 계절 등에 따라 변하지 않으면서 관찰하기 쉬운 특징을 사용한다. 최근에는 분자 생물학이 발달하면서 다양한 기능을 하는 유전자의 염기 서열을 사용하기도 한다. 생물에 돌연변이가 일어나면 돌연변이체의 생존 가능성이 낮아지므로 계통수를 그릴 때는 진화적 변이가 가장 적은 최단 경로의 진화를 가정한다.



▲ 생물계에 관한 최초의 계통수

계통수 그리는 방법

1. 형질 특성을 가장 많이 공유하는 종부터 가장 적게 공유하는 종의 순서로 나열한다.
2. 원시 상태의 형질 특성을 가장 많이 가지는 종을 아래쪽에서 먼저 갈라져 나오게 배열한다.
3. 형질 특성의 변화가 가장 적게 일어나도록 다른 종들을 배열하여 계통수를 완성한다.

계통수는 생물의 유연관계와 진화 경로를 보여 준다. 계통수에서 같은 가지에 있는 생물은 공통 조상에서 나와 유연관계가 가까운 것이며, 가지가 갈라진 것은 진화 경로가 변경된 것이다.

탐구 자료 해석

특정 형질에 기초한 생물 계통수 작성하기

• **목표**: 주어진 형질에 기초하여 계통수를 작성할 수 있다.

생물 계통수 그리는 방법을 알아보자.

▲ 능이버섯 ▲ 고사리 ▲ 은행나무 ▲ 제비붓꽃 ▲ 호박 ▲ 우산이끼

다음은 위에 제시된 여러 가지 생물의 형질 특성을 정리한 것이다. 표에서 형질 특성 옆에 있는 숫자 0은 원시형을, 1은 파생형을 나타낸다.

형질 특성
- 원시형: 일찍 출현한 형질 특성
- 파생형: 원시형보다 늦게 출현한 형질 특성

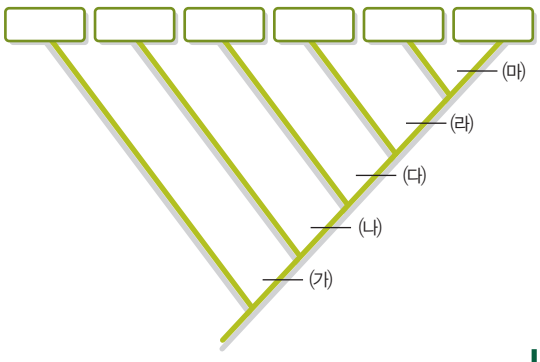
형질	능이버섯		고사리		은행나무		제비붓꽃		호박		우산이끼	
엽록소	없음	0	있음	1	있음	1	있음	1	있음	1	있음	1
관다발	없음	0	있음	1	있음	1	있음	1	있음	1	없음	0
번식 방법	포자	0	포자	0	종자	1	종자	1	종자	1	포자	0
씨방	없음	0	없음	0	없음	0	있음	1	있음	1	없음	0
꽃	없음	0	없음	0	없음	0	있음	1	있음	1	없음	0
꽃의 구분	해당 없음	–	해당 없음	–	해당 없음	–	암수 한꽃	1	암수 딴꽃	0	해당 없음	–

정리

❶ 오른쪽 그림과 같은 계통수를 만들 수 있도록 하는 가장 적은 형질 특성의 변화(0 → 1)를 찾아보자. 그리고 그림의 나뭇가지 끝에는 해당하는 종의 이름을, (가)~(마)에는 특성 변화가 일어나야 하는 형질을 적어 보자.

❷ 가장 최근에 갈라져 나온 생물은 무엇인가?

생각 넓히기 각 형질 특성의 변화가 여러 번 일어났다면 어떤 계통수가 만들어질지 생각해 보자.



3 분류 체계의 변화

다양한 종을 비교하여 계통적으로 관련이 있는 종끼리 묶어 체계적으로 정리한 것을 분류 체계라고 한다. 분류 체계는 |그림 V−11|과 같이 생명 과학의 발달과 함께 새로운 지식이 축적되며 계속 변화해 왔다. 초기의 분류 체계는 형태와 구조의 유사성을 중심으로 이루어져 진화적 관계가 명확하게 반영되지 않았으나, 최근의 분류 체계는 진화적 관계를 더욱 명확하게 반영한다.

린네는 생물을 크게 동물계와 식물계로 구분하였다. 이후 현미경의 발달과 함께 동식물 사이의 경계가 모호한 생물이 발견되었고, 헤켈(Haeckel, E. H. P. A., 1834~1919)은 동물과 식물에 속하지 않는 경계가 모호한 생물을 모아 원생생물계라고 제안하였다. 이후 전자 현미경의 발달로 핵막이 없는 원핵생물계가 원생생물계에서 분리되었다. 생태학자인 휘태커(Whittaker, R. H., 1920~1980)는 생물의 영양 방식을 강조하였으며, 이를 반영하여 식물계에서 균계를 독립시켜 5계 체계로 분류하였다.

우즈는 '분류 체계는 동일한 기준을 가지고 모든 생물에 적용해야 한다.'는 기본 생각을 가지고 특정 rRNA 염기 서열을 분석하여 원핵생물계가 진정세균계와 고세균계로 나누어져야 한다고 제안하였고, 분자 생물학적 계통의 중요성을 강조하여 계의 상위 단계를 세균역, 고세균역, 진핵생물역으로 하는 분류 체계를 제안하였다. 현재 많은 생물학자는 우즈가 제안한 6계 분류 체계나 3역 분류 체계 또는 이를 혼합한 3역 6계 분류 체계를 사용하고 있다.

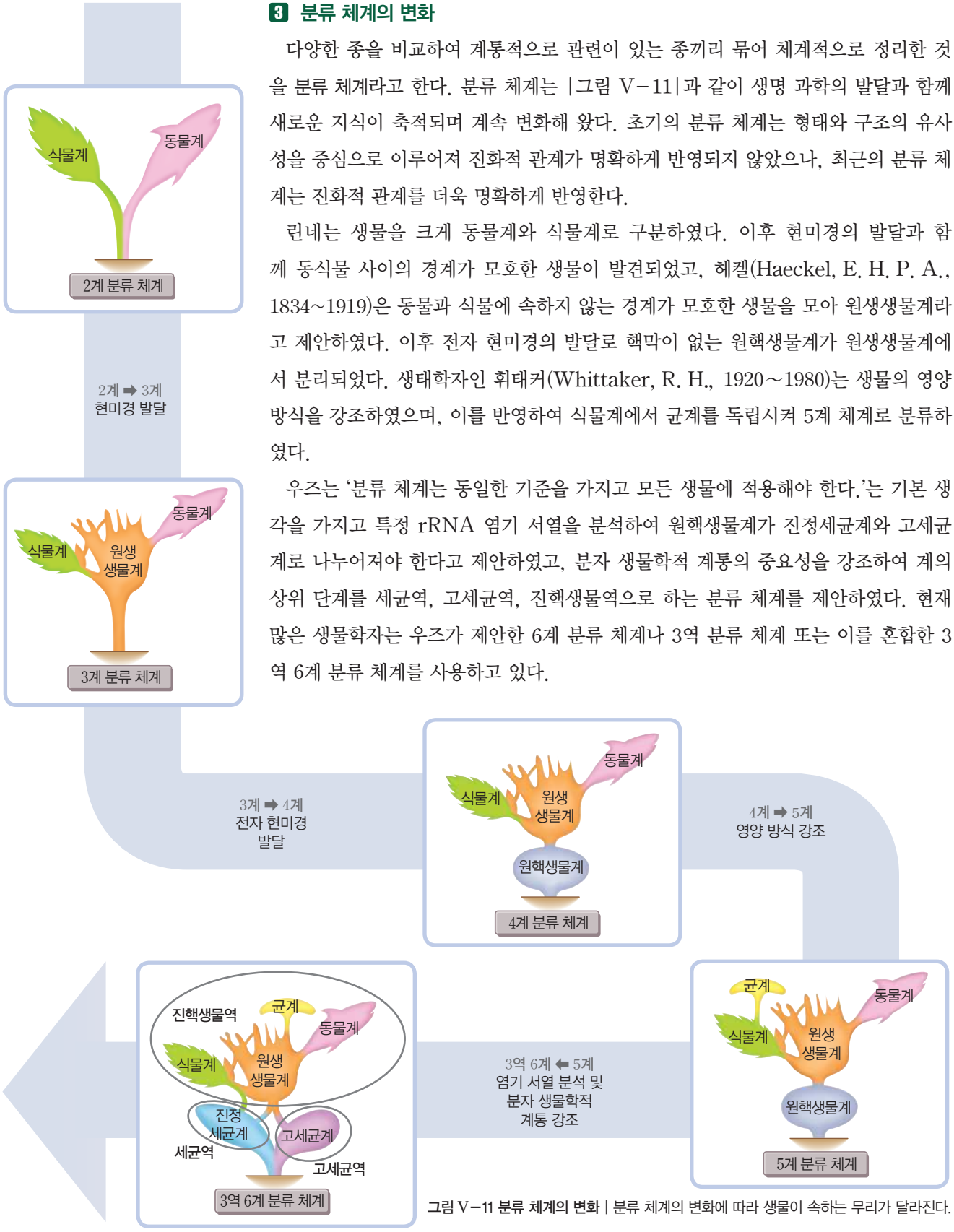


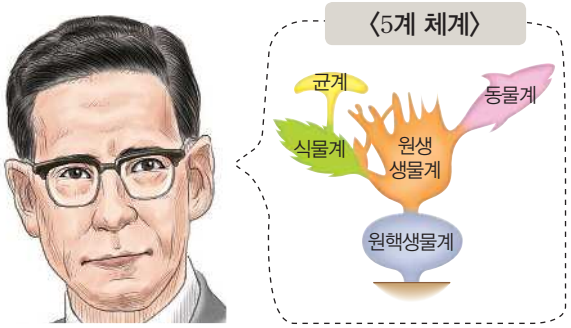
그림 V−11 분류 체계의 변화 | 분류 체계의 변화에 따라 생물이 속하는 무리가 달라진다.

탐구 자료 조사

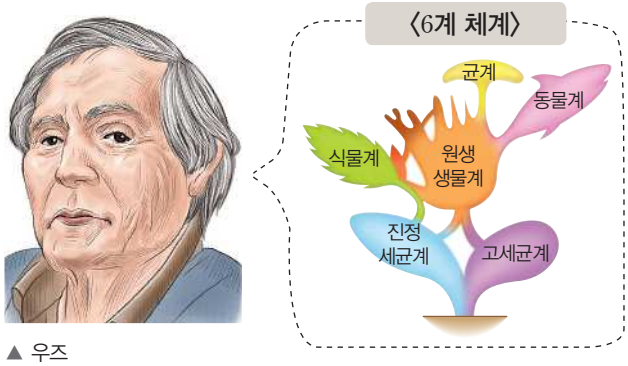
5계와 6계의 차이를 비교하고 토의하기

• **목표**: 5계 체계에서 6계 체계로 바뀐 까닭을 알 수 있다.

생물을 분류하는 체계로 휘태커는 5계 체계를 제안하였으며, 우즈는 6계 체계를 제안하였다.



▲ 휘태커



▲ 우즈

과정

1 5계와 6계의 차이점을 조사한다.

2 5계에서 6계로 변화하게 된 까닭을 조사한다.

정리

❶ 5계와 6계의 주요 차이점을 설명해 보자.

❷ 5계에서 6계로 변화하게 된 까닭을 토의해 보자.

생각 넓히기 앞으로 분류 체계가 바뀐다면 6계 중 어느 계에서 새로운 무리가 갈라져 나올 수 있을지 토론해 보자.

창의력 키우기 3역의 특징을 조사하여 다음 표의 빈칸을 완성해 보자.

특징	세균역	고세균역	진핵생물역
세포벽의 펩티도글리칸	있음	없음	
히스톤과 결합한 DNA	없음	있음	
염색체 모양	원형		선형

자기 평가하기

✱성취 정도를 ✓ 표시해 보자

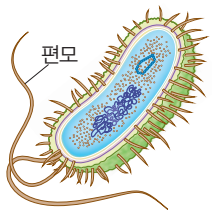
1 생물 분류 체계의 변화 과정을 설명할 수 있는가? 1 | 2 | 3 | 4 | 5

2 5계와 3역 6계 체계를 비교하여 설명할 수 있는가? 1 | 2 | 3 | 4 | 5

03 생물의 다양성

다양한 생물을 진화 계통을 고려하여 3역 6계로 분류할 수 있다.
문 수준에서 동식물의 특징을 이용하여 계통수를 만들 수 있다.

제주도 남쪽에 있는 문섬 주변의 바다에는 수많은 생물들이 살고 있다. 잠수함을 타고 들어가면 얼마나 다양한 생물을 볼 수 있을까?



▲ 세균의 구조

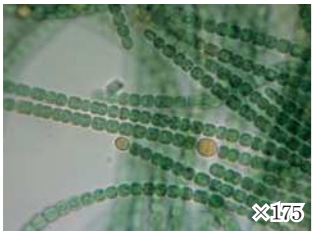
1 세균역(진정세균계)

세균은 단세포 원핵생물로 어디에나 존재하며, 지구에 존재하는 세균의 생물량을 모두 합하면 진핵생물을 합한 것의 10배를 넘는다. 세균은 모양에 따라 구형의 구균, 나선 모양의 나선균, 원통형의 간균으로 구분한다. 세균의 세포벽에는 펩티도글리칸이라는 물질이 있어 다른 역에 속하는 생물과 구분되며, 대부분 1개의 원형 염색체를 가진다. 편모를 사용하여 운동을 하기도 한다.

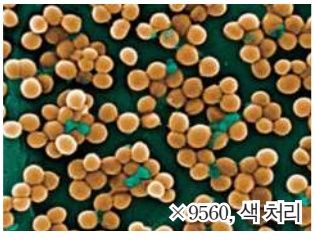
세균은 대부분 종속 영양 생물이지만 일부는 독립 영양 생물이다. 질병을 일으키는 세균, 발효에 이용되는 세균, 무기물을 산화하는 세균, 엽록소를 가져 광합성을 하는 세균 등이 있다.

세균은 대부분 분열법으로 빠르게 증식하고 세대가 짧아 돌연변이가 잘 생기고, 돌연변이체가 빠르게 증가할 수 있다. 또 세균은 환경이 나빠지면 증식을 멈추고 휴면 상태로 지내는 포자를 생성하였다가 환경이 좋아지면 다시 증식을 시작하는 특성이 있어 환경 변화에 잘 적응하며 진화해 왔다.

▲ 젖산균



▲ 아나베나(남세균)



▲ 포도상 구균

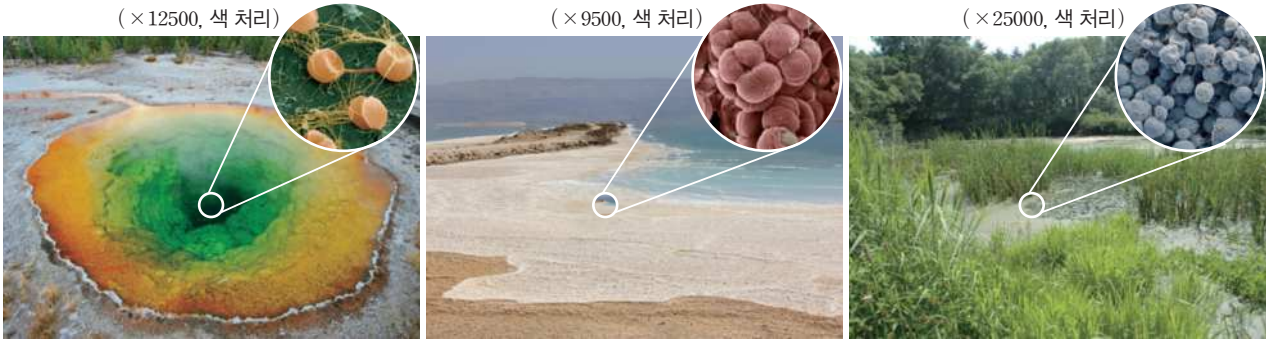
▲ 대장균

그림 Ⅴ-12 여러 종류의 세균

2 고세균역(고세균계)

고세균은 세균과 같이 핵막이 없는 단세포 원핵생물로, 주로 다른 생물이 생존할 수 없는 극한 환경에서 서식한다. 고세균역에 속하는 생물은 세포벽의 성분, 모양, 생리적 특성, 영양 방식 등이 매우 다양하여 다른 생물들과 분리된 극한 조건에서 고립되어 진화한 것으로 생각된다. 이들은 적응한 서식지의 특성에 따라 극호열균, 극호염균, 메테인 생성균 등으로 구분된다.

극호열균은 고온의 화산 온천, 심해의 열수구에 서식한다. 극호염균은 염분 농도가 높은 곳에 서식하며, 소금에 절인 음식이 부패하는 원인이다. 메테인 생성균은 산소가 부족한 습지, 하수 처리 시설, 심해 서식지, 초식 동물의 소화관 등에 서식하며, 메테인을 생성한다.



▲ 온천(옐로스톤 국립 공원)과 극호열균 ▲ 사해와 극호염균 ▲ 습지와 메테인 생성균

그림 Ⅴ-13 고세균의 종류와 서식지

3 진핵생물역

진핵생물은 핵막이 있어 유전 물질과 다른 세포질이 분리되며 미토콘드리아, 소포체, 골지체 등 다양한 막성 세포 소기관이 있다. 이러한 진핵생물은 |그림 Ⅴ-14|와 같이 크게 원생생물계, 식물계, 균계, 동물계로 분류한다.

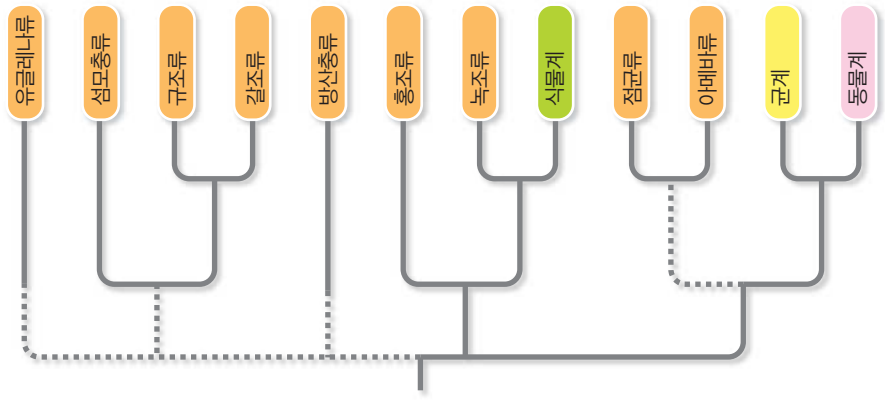
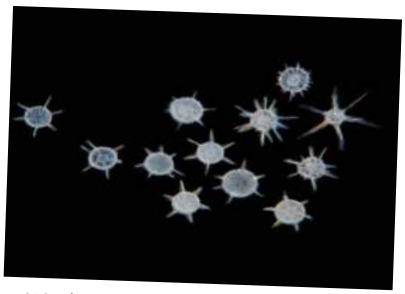


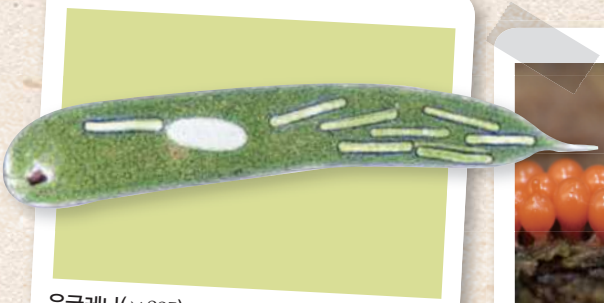
그림 Ⅴ-14 진핵생물의 분류 체계 | 식물계, 균계, 동물계를 제외하고 모두 원생생물계에 속하는 무리이다. 최근의 계통수는 원생생물계가 계통적으로 하나의 무리가 아님을 보여 준다.

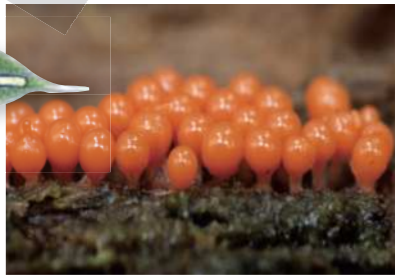
원생생물계 | 원생생물은 현미경이 발달하면서 관찰되기 시작하여 별도의 계로 분류된 무리이다. 단세포 생물부터 다세포 생물까지 종류가 다양하며, 물속부터 동물의 소화관까지 사는 곳 또한 다양하다. 이들은 특정한 특징으로 묶인 무리가 아니라 동물계, 식물계, 균계에 속하지 않는 진핵생물이 묶인 무리이다.

짚신벌레(×140)

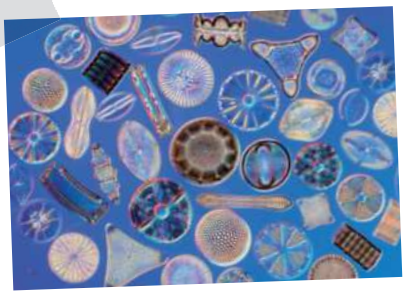
아메바(×200)


방산충(×30)


유글레나(×225)


갈적색털점균

다시마


규조류(×43)

우뭇가사리

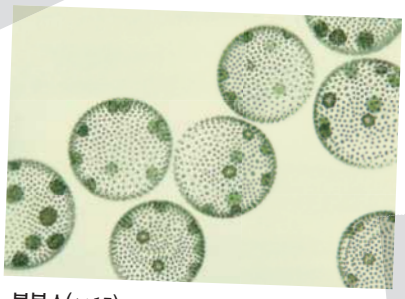

볼복스(×17)

그림 Ⅴ-15 원생생물계에 속하는 다양한 생물

식물계 | 식물은 주로 육상에서 광합성을 하는 다세포 독립 영양 생물이다. 약 5억 년 전에 물속 다세포 조류가 육상으로 진출하여 식물계에 속하는 다양한 생물로 분화하였다. 우리 주변에 어떤 식물이 살고 있는지 조사하여 분류해 보자.

탐구 자료 조사

주변의 식물 조사하고 분류하기

• **목표**: 식물의 특징을 조사하여 계통수를 작성할 수 있다.

다음은 주변에서 볼 수 있는 식물이다. 이들의 특징을 조사하여 아래의 표를 완성해 보자.

▲ 산개고사리

▲ 우산이끼

▲ 살구나무

▲ 소나무

특징	산개고사리	우산이끼	살구나무	소나무
뿌리, 줄기, 잎의 구분				구분됨
관다발의 유무				
생식 방법	포자			
씨방의 유무	해당 없음	해당 없음		

정리

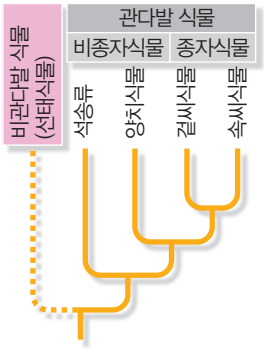
❶ 위 식물의 계통수를 작성할 때 분류 기준이 될 수 있는 형질을 찾아보자.

❷ 위 식물의 계통수를 그리고, 형질 특성의 변화가 일어난 부분을 계통수에 표시해 보자.

생각 넓히기

1 포자로 번식하는 식물과 종자로 번식하는 식물 중 어떤 식물이 건조한 환경에 더 잘 적응하였는지 생각해 보자.

2 위 4가지 식물은 각각 어떤 육상 환경에 잘 적응하였는지 생각해 보자.

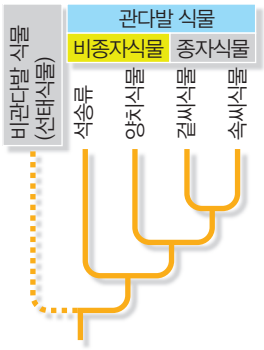


토탄
죽은 생물이 불완전하게 분해되어 퇴적된 것

≫ 비관다발 식물(선태식물) 비관다발 식물인 선태식물은 주로 그늘진 습지나 물이 흐르는 바위, 축축한 나무껍질, 늪 등에서 자란다. 기관이 분화되지 않았으나 헛뿌리를 가진다. 포자로 번식하며, 포자는 습기가 많은 곳에서 발아하여 자란다.

이끼는 북극 지방에서 지표면 대부분을 덮고 있으며, 토양의 개척자 역할을 한다. 습지에 사는 물이끼는 죽으면 토탄을 형성하여 유기물로 전환된 탄소를 저장하는 역할을 한다.

그림 Ⅴ-16 비관다발 식물(선태식물) | 포자로 번식한다.



≫ 비종자 관다발 식물(석송류, 양치식물) 비종자 관다발 식물은 그늘지고 습한 곳에 서식하며 뿌리, 줄기, 잎의 구별이 뚜렷하다. 체관과 헛물관으로 이루어진 관다발을 가지며, 포자로 번식한다. 석송류에는 석송이 있고 양치식물에는 솔잎란, 쇠뜨기, 고사리 등이 있으며, 고생대에 크게 번성하였다.

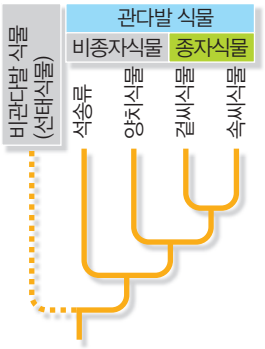
그림 Ⅴ-17 비종자 관다발 식물

≫ 종자식물(겉씨식물, 속씨식물) 종자식물은 육상 환경에 가장 잘 적응하여 번성한 식물로 뿌리, 줄기, 잎의 구별이 뚜렷하고 관다발이 발달하였다. 종자식물은 배우자가 이동하는 데 물이 필요하지 않고, 종자는 종자 껍질에 싸여 있으며 발아할 때 필요한 양분을 저장한다. 따라서 극한 환경에서도 잘 살아남아 자손을 퍼뜨릴 수 있다.

종자식물은 씨방의 유무에 따라 |그림 Ⅴ-18|과 같이 겉씨식물과 속씨식물로 구분된다. 겉씨식물은 씨방이 없어 밑씨가 겉으로 드러나 있으며 소철, 은행나무, 구상나무, 측백나무, 소나무 등이 있다.

속씨식물은 밑씨가 씨방 속에 들어 있어 외부로부터 보호된다. 꽃이 잘 발달하여 꽃식물이라고 하며 수분 과정과 종자가 퍼지는 과정에 동물이나 바람이 필요하다.

속씨식물은 다시 떡잎 수에 따라 외떡잎식물과 쌍떡잎식물로 구분된다. 외떡잎식물에는 벼, 보리, 강아지풀, 붓꽃 등이 있으며 쌍떡잎식물에는 콩, 무궁화, 호박, 민들레, 장미 등이 있다.



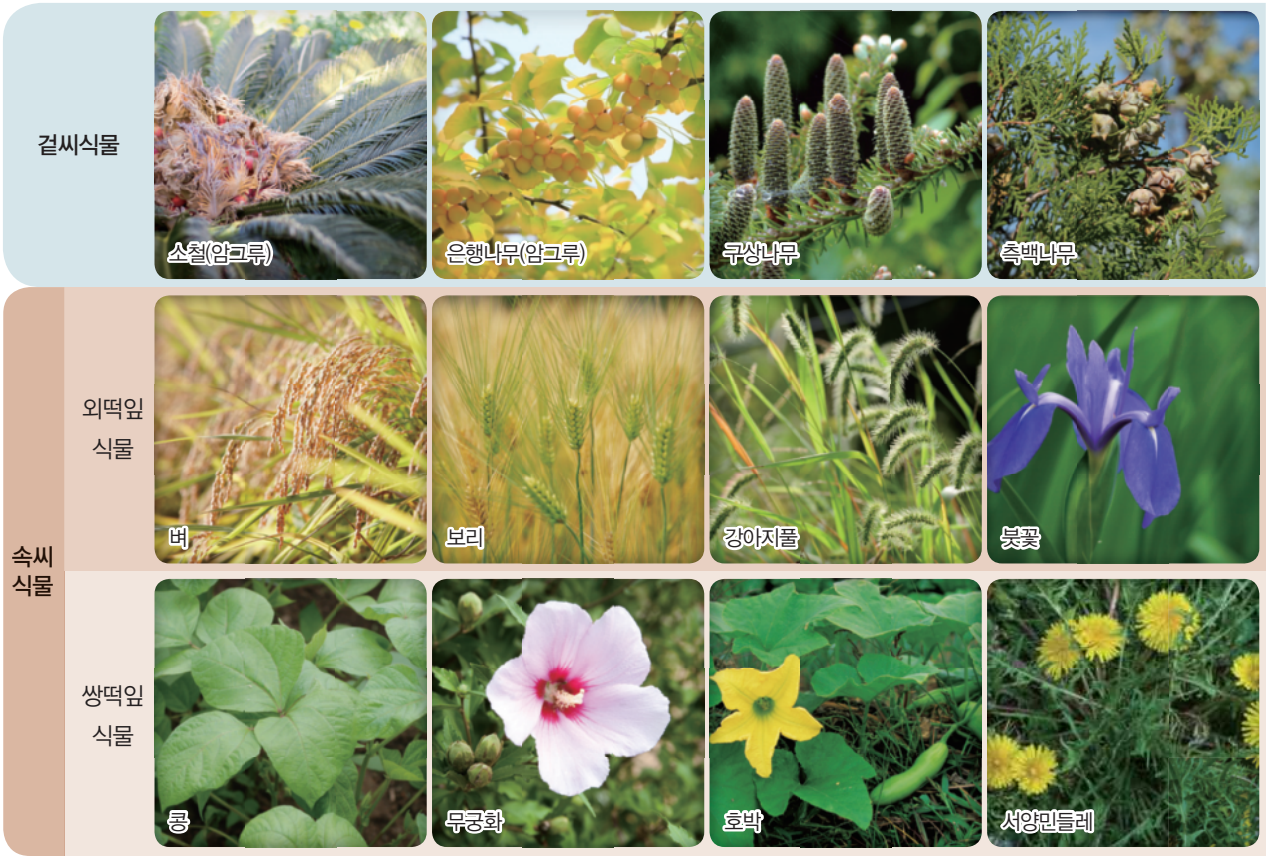


그림 Ⅴ-18 종자식물

창의력 키우기 외떡잎식물과 쌍떡잎식물의 떡잎 수, 잎맥, 뿌리, 관다발의 특징을 조사하여 비교해 보자.

연계 학습
상리 공생
▶ **생명 과학 I**
V. 생태계와 상호 작용 169쪽

균계 | 균류에는 효모와 같은 단세포 진핵생물도 있지만 대부분 다세포 진핵생물이며 유기물을 흡수하여 에너지를 얻는 종속 영양 생물이다. 운동성이 없고 세포벽이 있어 이전에는 균류의 기원을 식물에서 찾았지만 최근에는 여러 증거를 바탕으로 동물과 유연관계가 더 가깝다는 것이 밝혀졌다.

균류의 몸은 균사로 이루어져 있고, 균사 끝에서 생성된 포자로 번식한다. 균류는 대부분 외부로 소화 효소를 분비하여 주변의 유기물을 소화한 다음 흡수하는 종속 영양 생물이지만, 일부는 살아 있는 생물에 기생하기도 하며 다른 생물과 상리 공생하기도 한다.

푸른곰팡이

검은빵곰팡이

먹물버섯

그림 V−19 균계에 속하는 생물

동물계 | 동물은 세포벽이 없는 다세포 진핵생물로 종속 영양 생물이다. 동물은 신경과 근육이 발달하여 주위의 환경 변화에 능동적으로 반응한다.

동물은 몸의 대칭성, 배엽 수, 원구의 발달과 분화 정도, 체절의 유무 등에 따라 분류할 수 있다.

동물의 몸은 |그림 V−20|과 같이 방사 대칭과 좌우 대칭으로 구분된다. 방사 대칭 동물은 주로 고착 생활을 하거나 유영 생활을 한다. 좌우 대칭 동물은 앞뒤, 좌우, 머리, 꼬리의 방향성이 나타나며 감각이 집중되는 부위를 가진다.

해면동물을 제외한 동물은 발생 과정에서 배엽이 형성되는데, 이 중 2개의 배엽만 형성되는 2배엽성 동물과 3개의 배엽이 모두 형성되는 3배엽성 동물이 있다.

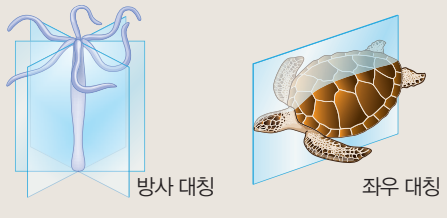


그림 V−20 동물의 대칭성

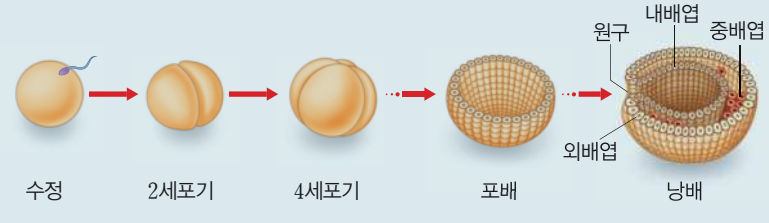


그림 V−21 동물의 배엽 형성

2배엽성 동물로는 자포동물이 있으며, 몸은 방사 대칭이다. 3배엽성 동물은 몸이 좌우 대칭이며 |그림 Ⅴ-22|와 같이 발생 과정 중 낭배 때 형성되는 원구가 입이 되는 동물을 선구동물이라 하고, 원구가 항문이 되고 반대쪽에 입이 새로 만들어지는 동물을 후구동물이라고 한다.

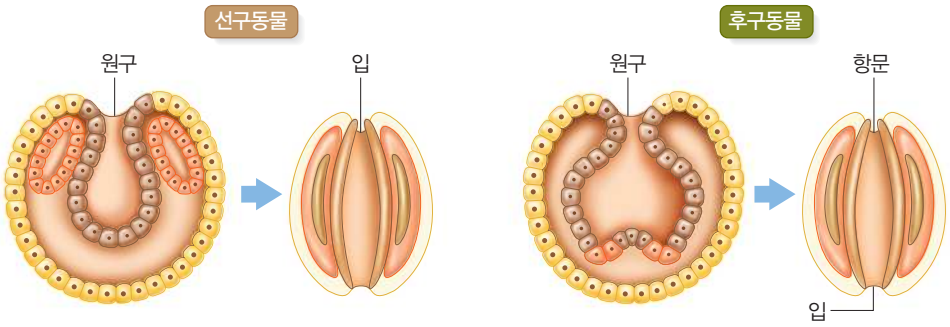


그림 Ⅴ-22 선구동물과 후구동물에서의 입 형성 과정

선구동물은 촉수담륜동물과 탈피동물로 구분된다. 촉수담륜동물에는 편형동물과 연체동물, 환형동물이 있고 탈피동물에는 선형동물과 절지동물이 있다. 후구동물은 극피동물과 척삭동물로 구분된다.

촉수담륜동물

발생 과정 중 담륜자 유생 단계를 거치는 동물과 촉수를 가지는 동물 무리

▲ 전복의 담륜자 유생

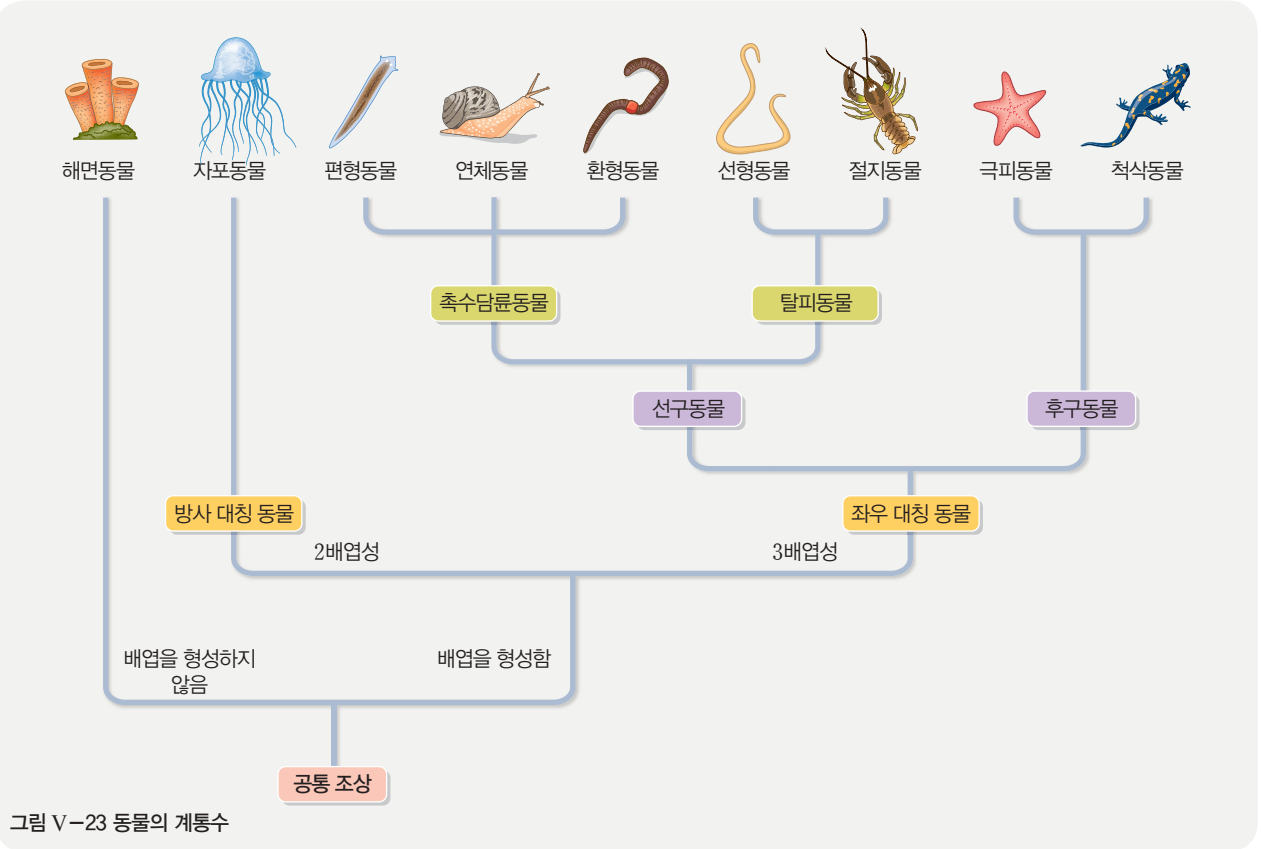
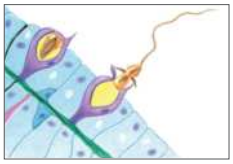


그림 Ⅴ-23 동물의 계통수

≫ 해면동물문 주로 바다에 살며 유생은 유영 생활을 하지만 성체는 고착 생활을 한다. 배엽을 형성하지 않는 동물로, 진정한 의미의 조직이 발달하지 않았다. 동정 세포는 편모를 이용해 위강으로 물이 들어오고 나가게 하여 물속에 있는 먹이를 잡아 세포 내 소화를 한다.



▲ 자세포 | 먹이 생물을 찔러 마취시키는 침세포인 자포를 만든다.

≫ 자포동물문 물에 살며 몸은 방사 대칭이고 항아리 모양으로 2배엽성이다. 몸 안쪽에는 속이 빈 강장이 있으며, 자세포가 있는 촉수를 이용하여 먹이를 잡거나 몸을 보호한다. 해파리는 유영 생활을 하고, 말미잘과 히드라는 고착 생활을 한다. 산호는 단단한 외골격을 형성한다.

≫ 편형동물문 가장 하등한 3배엽성 동물로, 몸이 납작하고 좌우 대칭이다. 원구는 입으로 발달하지만 항문이 없다. 물에 살며 체표면으로 기체 교환을 한다. 플라나리아, 디스토마, 촌충 등이 있다.

≫ 연체동물문 연체동물의 몸은 근육으로 된 발, 대부분의 기관이 들어 있는 내장낭, 패각을 분비하고 몸을 감싸는 외투막으로 이루어지며 순환계와 소화계가 발달하였다. 달팽이, 소라, 대합, 오징어, 문어 등이 있다.

≫ 환형동물문 주로 습기가 많은 흙 속에 살며, 몸은 고리 모양의 체절로 이루어져 있다. 체절은 몸의 중심축을 따라 차례로 반복되며 연속되는 단위이다. 환상근과 종주근의 수축과 이완으로 움직이며 피부로 호흡한다. 소화관이 길게 발달하였고 폐쇄 혈관계를 가진다. 지렁이, 갯지렁이, 거머리 등이 있다.

▲ 주황해변해면(해면동물문)

▲ 담황줄말미잘(자포동물문)

▲ 바다플라나리아(편형동물문)

▲ 피뿔고둥(연체동물문)

▲ 개량조개(연체동물문)

▲ 갑오징어(연체동물문)

▲ 참지렁이(환형동물문)

▲ 참거머리(환형동물문)

그림 Ⅴ-24 동물계

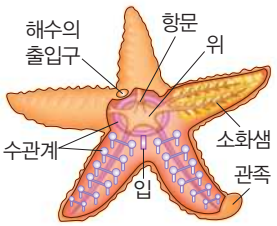
≫ 선형동물문 선구동물이며 몸은 원통형으로 체절이 없다. 몸이 큐티클층으로 덮여 있어 성장하면서 주기적으로 탈피를 한다. 호흡기와 순환기는 발달하지 않고 체표면으로 기체 교환을 한다. 예쁜꼬마선충, 회충, 선충 등이 있다.

≫ 절지동물문 선구동물이며 동물 중 종 수가 가장 많다. 몸은 머리와 몸통 또는 머리, 가슴, 배 또는 머리가슴과 배로 나뉘고 마디로 된 다리를 가진다. 체절로 된 몸은 외골격으로 싸여 있어 성장하려면 탈피를 해야 한다. 아가미나 기관으로 기체 교환을 하며 개방 혈관계를 가진다. 나비, 메뚜기 등이 속하는 곤충류, 게, 가재 등이 속하는 갑각류, 거미, 전갈 등이 속하는 협각류, 노래기, 지네 등이 속하는 다지류가 있다.

≫ 극피동물문 후구동물이며 유생은 좌우 대칭이나 성체는 방사 대칭이다. 호흡기와 순환기의 역할을 하는 수관계를 가지며, 수관계의 끝에 있는 관족으로 이동하고 먹이를 섭취한다. 단단한 석회질의 뼛조각이 피부에 박혀 있으며, 조직의 재생력이 뛰어나다. 불가사리, 성게, 해삼 등이 있다.

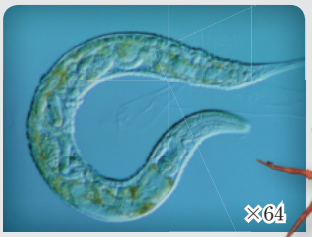
≫ 척삭동물문 후구동물이며 일생 또는 발생 과정 중 일정 시기에 척삭을 가진다. 좌우 대칭의 체절 구조를 가지며 발생 초기에 등 쪽의 속이 빈 신경 다발, 아가미 틈, 항문 뒤의 근육성 꼬리가 나타나는 공통점이 있다. 유생 시기에만 척삭이 나타났다가 없어지는 우렁쉥이와 같은 미삭동물과 일생 동안 뚜렷한 척삭이 나타나는 창고기와 같은 두삭동물, 발생 초기에는 척삭이 나타나지만 성장하면서 척추로 대치되는 척추동물이 있다. 척추동물은 성체의 등 쪽에 신경관을 둘러싼 척추가 있는 동물로 원구류, 어류, 양서류, 파충류, 조류, 포유류로 나눌 수 있다.

큐티클층
생물의 체표 세포로부터 분비되어 생긴 딱딱한 층



▲ 불가사리의 구조

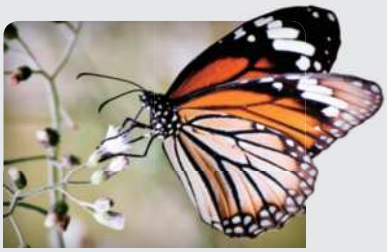
척삭
체축을 따라 막대기 모양으로 뻗은 조직으로서 몸의 지지 작용을 한다.



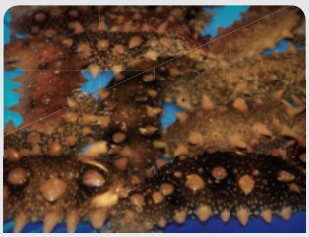
▲ 예쁜꼬마선충(선형동물문)

▲ 왕지네(절지동물문, 다지류)

▲ 민꽃게(절지동물문, 갑각류)


▲ 호랑나비(절지동물문, 곤충류)

▲ 산왕거미(절지동물문, 협각류)


▲ 해삼(극피동물문)

▲ 우렁쉥이(척삭동물문, 미삭동물)

▲ 창고기(척삭동물문, 두삭동물)

탐구 자료 해석

동물의 검색표 사용과 계통수 작성하기

• **목표**: 검색표에 제시된 특징을 사용하여 계통수를 작성할 수 있다.

다음은 주변에 사는 동물의 사진과 검색표이다.

과정

1 각각의 생물이 검색표에 제시된 특징을 갖는지 조사한다.

2 조사한 특징과 검색표를 이용하여 각각의 생물이 속한 무리를 찾는다.

가. 별불가사리

나. 맛조개

다. 방아깨비

라. 원앙(수컷)

1. 척삭이 없다.
  2. 몸은 스펀지 모양이다. ····· 해면동물문
  2. 몸은 스펀지 모양이 아니다.
    3. 몸은 납작하다. ····· 편형동물문
    3. 몸은 납작하지 않다.
      4. 몸은 체절로 이루어진다.
        5. 주로 땅 위에 살며 외골격을 가진다. ····· 절지동물문
        5. 주로 물속이나 땅속에 살며 외골격이 없다. ····· 환형동물문
      4. 몸은 체절로 이루어지지 않는다.
        6. 외투막을 가지며, 패각을 가지는 것도 있다. ····· 연체동물문
        6. 석회질의 뼛조각을 가진다. 수관계로 이동한다. ····· 극피동물문
1. 척삭이 있다. ····· 척삭동물문

3 검색표에 제시된 특징을 근거로 4종의 계통수를 그린다.

정리

❶ 별불가사리, 맛조개, 방아깨비, 원앙은 각각 어느 문에 속하는가?

❷ 작성한 계통수와 163쪽의 계통수는 어떻게 다른가? 그 까닭은 무엇인가?

자기 평가하기

✸ 성취 정도를 ✓ 표시해 보자

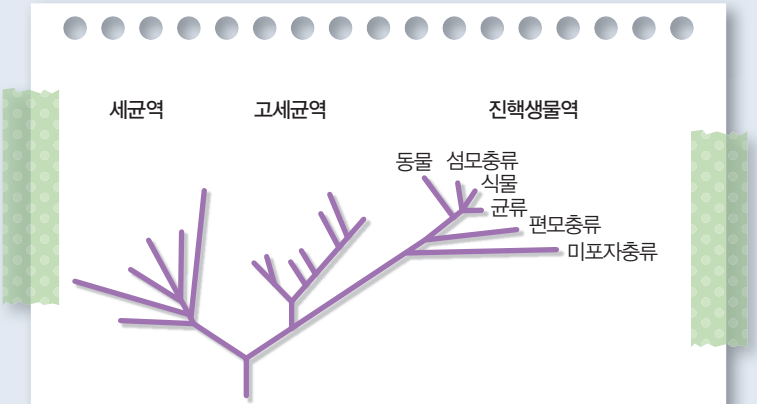
1 다양한 생물을 진화 계통을 고려하여 3역 6계로 분류할 수 있는가? 1 | 2 | 3 | 4 | 5

2 동식물의 특징을 이용하여 문 수준에서 계통수를 만들 수 있는가? 1 | 2 | 3 | 4 | 5

읽고 생각하기

3역 체계의 제안과 반론

1977년에 미생물 분류학자인 우즈와 폭스(Fox, G. E., 1945~)는 생물의 분류 체계는 동일한 기준을 모든 생물에 적용해야 한다는 기본 생각을 가지고 미생물의 특정 rRNA 염기 서열을 분석하였고, 분석 결과를 바탕으로 원핵생물계가 진정세균계와 고세균계의 두 생물계로 나누어져야 함을 제안하였다. 1990년에 우즈와 동료들은 진정세균계와 고세균계를 계보다 상위 단계인 역으로 조정할 것을 제안하였다. 이로써 세균역, 고세균역, 진핵생물역이 탄생하게 되었다. 그러나 우즈와 폭스가 제안한 계통수를 보면 5계 체계에서의 계와 동등한 수준의 무리가 훨씬 더 많이 존재한다. 많은 생물학자는 3역을 인정하면서 하위 단계는 우즈와 폭스가 제안한 분류 체계가 아닌 기존의 분류 체계를 그대로 사용하고 있다. 이는 우즈와 폭스가 제안한 분류 체계가 하위 단계에서는 유용하지 않다는 것을 의미한다.



▲ 우즈와 폭스가 제안한 계통수

1998년에 형태와 구조를 중요시하는 분류학자인 카발리에-스미스(Cavalier-Smith, T., 1942~)는 특정 rRNA의 유전적 차이보다 막의 모양이 더 중요한 식별 형질임을 강조하면서 원핵생물계를 두 개의 계로 나누는 것을 인정하지 않았다. 즉, 유전적 차이보다는 다른 형태적인 차이가 생물학적으로 더 의미가 있다고 주장하면서 단계통군(한 조상에서 나온 모든 생물 무리)은 분류군 설정의 필요조건이 아니며, 모든 생물에 적용 가능한 한 가지의 특성만을 가지고 만들어진 불완전한 유연관계보다는 생물의 다양한 유사성을 고려한 분류 체계가 만들어져야 한다고 주장하였다. 그래서 특정 rRNA 염기 서열을 분석하여 만들어진 3역 체계를 인정하지 않았다.

역 체계는 동일한 기준을 가지고 모든 생물에 적용해야 한다는 기본 전제를 가지고 있는 반면, 계 체계는 다양한 형질에 근거한 분류 체계이기 때문에 서로 위배된다. 따라서 현재까지 이들은 서로 다양한 데이터를 기반으로 논쟁을 벌이고 있다. 지구상에 존재하는 모든 생물의 계통수를 완성하려는 시도는 지금도 활발하게 이루어지고 있으며, 생물 분류 체계는 계속해서 연구될 것이다.

생각해 보기

1 우즈와 카발리에-스미스가 주장하는 요지는 무엇인가?

2 우즈의 제안과 카발리에-스미스의 견해에 관해 찬성과 반대로 나누어 토론해 보자.

개념 정리하기

핵심 내용 정리하기

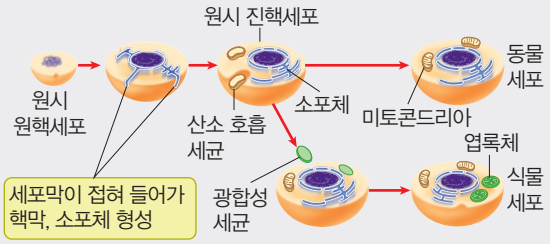
1 생명의 기원과 진화

1. 원시 생명체의 탄생: 원시 대기 성분의 무기물 → 간단한 유기물(아미노산 등) → 복잡한 유기물(폴리펩타이드) → 막의 생성(코아세르베이트, 마이크로스피어) → 원시 생명체

2. 원시 생명체의 진화

(1) 원핵생물의 출현: 원시 생명체(무산소 호흡, ❶ 생물) → 광합성을 하는 원핵생물(독립 영양 생물) 출현 → 대기 중 산소 농도 증가 → 산소 호흡을 하는 원핵생물(종속 영양 생물) 출현

(2) 진핵생물의 출현: 막 진화설은 세포내 막성 세포 소기관의 형성을 설명하며, ❷ 은 미토콘드리아나 엽록체와 같은 세포 소기관의 형성을 설명한다.



(3) 다세포 생물의 출현: 군체를 형성하며 생활하는 단세포 진핵생물이 다세포 진핵생물로 진화하였다.

2 종의 개념과 분류 체계

1. 종의 개념

(1) 형태학적 종: 형태와 구조가 비슷해 다른 개체들과 구분되는 무리

(2) ❸ 종: 서로 교배하여 생식 능력이 있는 자손을 낳을 수 있는 무리

2. 학명: 국제적으로 통용되는 생물의 이름으로, 종의 학명은 속명, ❹ , 명명자로 구성

3. 계통 분류와 계통수

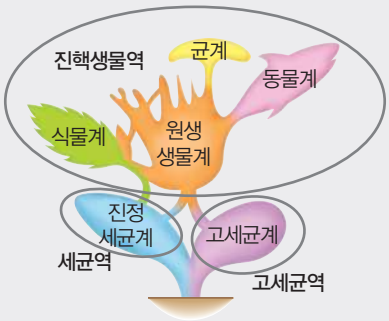
(1) 계통 분류: 생물이 진화해 온 계통을 밝히는 것

(2) ❺ : 생물의 진화적 유연관계를 나뭇가지 모양의 그림으로 나타낸 것으로, 같은 가지에 있는 생물은 유연관계가 가깝다.

4. 분류 체계의 변화

(1) 생명 과학 연구 방법의 발달과 연구자의 논리에 따라 2계, 3계, 4계, 5계, 6계, 3역의 분류 체계로 변화

(2) 3역 6계 분류 체계



3 생물의 다양성

1. 세균역: 단세포 원핵생물 무리
   - 분열법으로 빠르게 증식하고 세대가 짧아 돌연변이가 빠르게 생성될 수 있고, 구균, 나선균, 간균으로 구분

2. 고세균역: 단세포 원핵생물 무리
   - 주로 극한 환경에 서식하며 서식지의 특성에 따라 극호열균, 극호염균, 메테인 생성균 등으로 구분된다.

3. 진핵생물역: 핵막을 가지는 생물 무리

(1) ❻ : 식물계, 균계, 동물계에 속하지 않는 생물을 모아 놓은 분류군으로, 진화적 관계가 불명확하다.

(2) 식물계: 주로 육상에서 광합성을 하는 다세포 독립 영양 생물
   - 비관다발 식물(선택식물), 비종자 관다발 식물(석송류, 양치식물), 종자식물(겉씨식물, 속씨식물)로 분류
   - 종자식물은 씨방의 유무에 따라 겉씨식물과 속씨식물로 구분되고, 속씨식물은 다시 떡잎 수에 따라 외떡잎식물과 쌍떡잎식물로 구분된다.

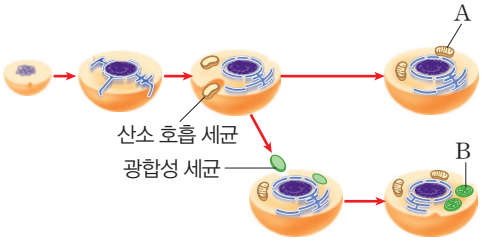
(3) 균계: 종속 영양 생활을 하며, ❼ 로 이루어진 진핵생물이다. 세포벽을 가지고, 포자로 번식한다.

(4) 동물계: 다세포 진핵생물로 종속 영양 생물
   - 몸의 대칭성, 배엽 수, 원구의 발달과 분화 정도, 체절의 유무 등에 따라 분류
   - 해면동물문, 자포동물문, 편형동물문, 연체동물문, 환형동물문, 선형동물문, 절지동물문, 극피동물문, 척삭동물문 등으로 구분된다.

정답 | ❶ 종속 영양 ❷ 세포내 공생설 ❸ 생물학적 ❹ 종소명 ❺ 계통수 ❻ 원생생물계 ❼ 균사

개념 확인하기

1 그림은 진핵세포의 출현 과정을 나타낸 것이다.



진핵세포 내 세포 소기관 A와 B의 유래를 이와 같이 설명하는 가설을 쓰시오.

2 다음 설명에 해당하는 용어를 보기에서 찾아 쓰시오.

(1) 국제적으로 통용되는 생물의 이름 …… (　　)

(2) 이명법의 두 번째 구성 요소로 모두 이탤릭체로 표기 …… (　　)

(3) 생물이 진화해 온 계통을 나뭇가지 모양으로 나타낸 것 …… (　　)

보기

ㄱ. 학명　　ㄴ. 종소명　　ㄷ. 계통수

3 다음 설명 중 옳은 것은 ○, 옳지 않은 것은 ×표를 하시오.

(1) 3역은 고세균역, 세균역, 진핵생물역을 말한다. …… (　　)

(2) 고세균에는 히스톤이 있다. …… (　　)

(3) 세균은 빠르게 증식하고 세대가 짧아 돌연변이체가 빠르게 생성될 수 있다. …… (　　)

(4) 5계 분류 체계 중 원생생물은 다른 계에 속하지 못하는 생물을 모아 놓은 무리이다. …… (　　)

4 각 생물이 속하는 무리를 연결하시오.

(1) 누룩곰팡이 •	• ㉠ 식물계
(2) 보리 •	• ㉡ 고세균계
(3) 메테인 생성균 •	• ㉢ 동물계
(4) 불가사리 •	• ㉣ 원생생물계
(5) 짚신벌레 •	• ㉤ 균계

개념 응용하기

1 밀러의 유기물 생성 실험에서 사용한 기체는 CH_4, NH_3, H_2O, H_2로 구성된 환원성 기체였다. 그러나 초기 원시 대기는 주로 이산화 탄소, 질소, 수증기로 구성되었다고 추정된다. 밀러가 사용한 CH_4과 NH_3는 초기 원시 대기에서 어떻게 생성되었을지 서술하시오.

2 종의 정의에는 생물학적 종과 형태학적 종이 있다. 각각을 설명하고, 해당하는 예를 하나씩 쓰시오.

(1) 생물학적 종:

(2) 형태학적 종:

3 다음은 계통수를 그리는 방법에 관한 설명이다. 옳지 않은 부분을 찾아 옳게 고치시오.

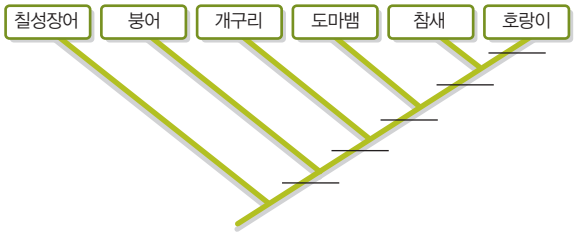
(1) 형질 특성을 가장 많이 공유하는 종부터 가장 적게 공유하는 종의 순서로 종을 나열한다.

(2) 원시 형질을 가장 많이 가지는 종을 아래쪽에서 먼저 갈라져 나오게 배열한다.

(3) 형질 특성의 변화가 가장 많이 일어나도록 다른 종들을 배열한다.

4 다음은 척추동물을 분류하는 기준이다. 아래의 계통수에 형질 특성의 변화가 나타난 곳을 찾아 쓰시오.

ㄱ. 턱의 유무　　ㄴ. 팔다리의 유무
ㄷ. 체외 또는 체내 수정　　ㄹ. 젖 분비 여부
ㅁ. 변온 또는 정온 동물



생물의 진화

01. 진화의 증거
02. 진화의 원리와 종분화

이 단원의 학습 목표

진화의 증거 사례를 조사하여 변이와 자연 선택으로 진화의 원리를 설명하고, 다양한 종분화 사례를 조사하고 발표하여 종분화 과정의 원리를 이해할 수 있다.

자기 점검 – 알고 있는 용어에 표시해 보자.

생물 다양성 ☐	유전 ☐	돌연변이 ☐	형질 ☐
종 ☐	환경 변화 ☐	화석 ☐	진화 ☐

▶ 표시하지 못한 용어는 통합과학 교과서 '생물 다양성과 유지' 단원에서 확인해 보자.

학습 계획 세우기 – 학습 목표를 달성하기 위해 어떤 준비를 할 수 있을지 써 보자.

예 다윈의 자연 선택설을 조사해 본다.

01 진화의 증거

- 진화의 다양한 증거를 제시할 수 있다.
- 진화의 증거를 조사하여 진화의 원리를 찾아낼 수 있다.

삼엽충과 같이 사라진 초기 생명체의 흔적을 찾기는 쉽지 않지만, 과학 기술이 발달하면서 다양한 진화의 증거가 발견되고 있다. 지금까지 발견된 진화의 증거에는 어떤 것들이 있을까?

1 화석상의 증거

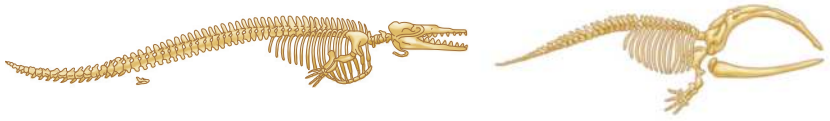
과거에 존재했던 생물의 흔적을 대표하는 것이 화석이다. 각 지층에서 발견되는 화석을 연구하면 지층이 형성될 당시의 생물 다양성과 환경의 특성을 알 수 있다. 따라서 화석은 환경 변화와 생물의 진화를 보여 주는 가장 직접적인 증거이다. 화석이 포함된 지층의 퇴적 연대를 추정하여 화석을 연대순으로 배열하면 생물이 변해 온 과정을 알 수 있다. 고래 화석으로 생물의 진화 과정을 알아보자.

탐구 자료 해석 화석을 통한 고래의 진화 과정 확인하기

• **목표**: 화석을 통한 고래의 진화 과정을 이해할 수 있다.

고래는 진화 과정에서 수중 생활에 적합하도록 뒷다리가 퇴화되었다. 다음은 고래 조상종과 고래의 화석을 순서 없이 나열한 것이다.

로도케투스 파키세투스



도루돈 고래

출처: Gingerich, 2003., Thewissen, 2001.

정리

❶ 가장 오래된 지층에서 발견된 것부터 현재의 고래 순으로 나열하고, 그 근거를 제시하시오.

❷ 현재 고래의 조상이 네 발 달린 육상 생물이라고 할 수 있는지 토의해 보자.

▲ 종자고사리 화석 ▲ 삼엽충 화석 ▲ 암모나이트 화석

그림 V−25 여러 가지 화석

생물의 진화를 잘 보여 주는 화석으로 고래 화석 외에 말 화석이 있는데, 말은 발가락 수가 줄어들고, 몸집이 점점 커지는 방향으로 진화하였음을 알 수 있다. 공룡과 조류를 이어 줄 수 있는 깃털 달린 육식 공룡 화석, 양치식물과 종자식물을 이어 줄 수 있는 종자고사리 화석 등과 같이 생물의 진화 과정에서 중간 단계에 해당하는 생물 화석은 진화의 중요한 증거이다.

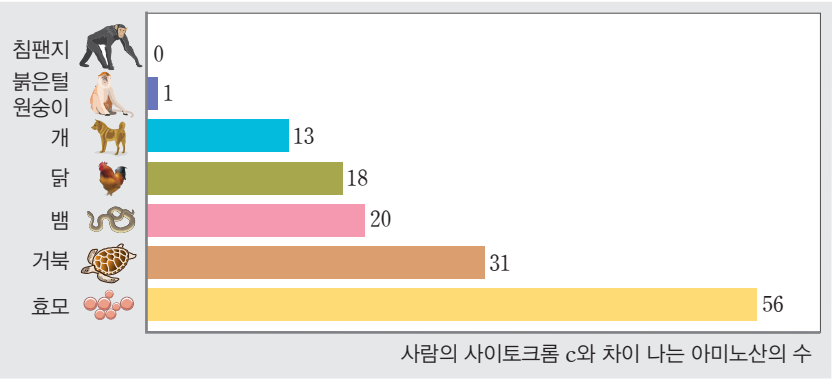
2 분자진화학적 증거

생물은 모두 DNA 구조, 유전부호, 유전 법칙이 같다. 따라서 모든 생물이 공통 조상으로부터 유래했다는 것을 알 수 있다. 또한 DNA나 RNA의 염기 서열이나 단백질의 아미노산 서열을 비교해 보면 생물 사이의 유연관계와 진화 과정을 추측할 수 있다.

유연관계
생물들이 분류학적으로 얼마나 멀고 가까운지를 나타내는 관계

여러 생물의 유전체 조성을 비교해 보면 진화적으로 가까운 종일수록 유전체 조성이 더 비슷하다. 예를 들어 사람과 침팬지의 유전체는 약 97 %가 유사하고, 사람과 생쥐는 약 85 %가 유사하다. 이는 생쥐보다 침팬지가 사람과 공유하는 유전자가 더 많고, 진화적으로 유연관계가 더 가깝다는 것을 뜻한다.

사이토크롬 c는 미토콘드리아에 있는 단백질로 모든 진핵생물에 들어 있다. |그림 V−26|과 같이 침팬지와 사람의 사이토크롬 c는 아미노산 서열이 같다. 사람과 붉은털원숭이는 아미노산 서열 중 1개만 차이가 나고, 개와는 13개, 효모와는 56개가 차이 난다. 이것은 침팬지의 단백질이 사람의 단백질과 가장 유사하며, 침팬지와 사람이 가장 최근에 분화하였음을 뜻한다.



출처: Dobzhansky 외, 1977.

그림 V−26 사람의 사이토크롬 c와 차이 나는 아미노산의 수

3 비교 해부학적 증거

현존하는 서로 다른 생물의 해부학적 특징을 비교해 보면 이들이 공통 조상으로부터 진화했는지, 서로 다른 조상으로부터 진화했는지를 알 수 있다. 이를 비교 해부학적 증거라고 한다.

사람의 팔, 개의 앞다리, 박쥐의 날개는 기능은 다르지만 기본 구조는 동일하다. 이러한 기관을 상동 기관이라고 한다. 상동 기관은 생물이 공통 조상에서 다양하게 진화하였다는 증거이다. 새의 날개와 잠자리의 날개는 기능은 같지만 기본 구조는 다르다. 이러한 기관을 상사 기관이라고 한다. 상사 기관은 비슷한 환경에 적응하면서 비슷한 형질을 가지도록 진화하였다는 증거이다. 또 사람의 꼬리뼈와 같이 과거에는 기능을 하였으나 현재에는 퇴화한 흔적 기관도 진화의 증거이다.

4 진화발생학적 증거

동물의 배 발생 과정을 비교하면 성체에서는 보이지 않던 해부학적 유사성이 나타난다. |그림 Ⅴ-27|과 같이 척추동물의 발생 초기에는 근육성 꼬리, 아가미 틈, 척삭 등이 공통적으로 나타나며, 무척추동물인 조개와 갯지렁이는 담륜자라는 유생 시기를 모두 거친다. 이러한 사실은 이들이 공통 조상에서 다양하게 진화하였음을 보여주는 증거이다.

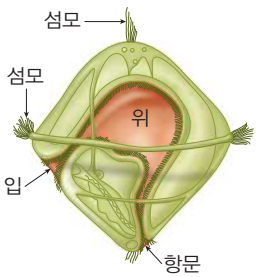
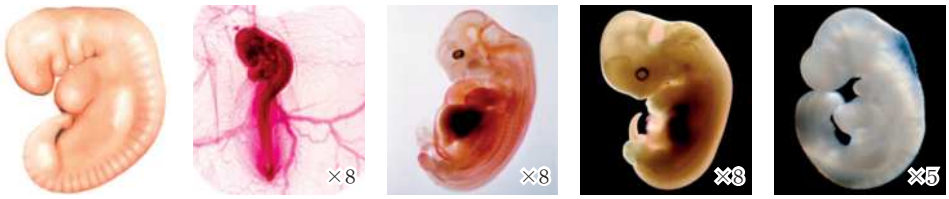


그림 Ⅴ-28 담륜자 유생



▲ 사람의 배아 ▲ 닭의 배아 ▲ 돼지의 배아 ▲ 고양이의 배아 ▲ 쥐의 배아

그림 Ⅴ-27 척추동물의 어린 배 비교

5 생물 지리학적 증거

생물의 분포는 각 지역마다 독특하게 나타난다. 이는 생물이 지리적으로 격리된 이후 오랜 세월 동안 독자적인 진화 과정을 거쳐 분화되었기 때문이다. 유대류는 오스트레일리아에서만 발견되며, 갈라파고스 군도에는 섬마다 특징이 조금씩 다른 핀치가 살고 있다. 이와 같은 생물의 지리적 분포는 생물이 특정 환경에서 다르게 진화한다는 증거이다.

그림 Ⅴ-29 오스트레일리아에서만 볼 수 있는 동물

탐구 자료 해석

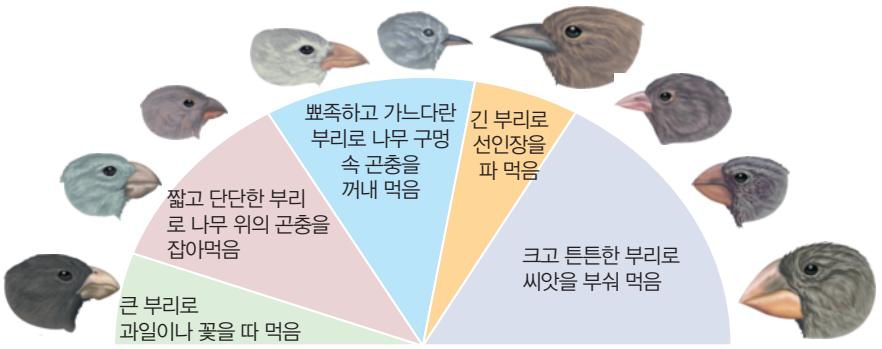
진화의 증거 사례를 통한 진화의 원리 토론하기

• **목표**: 진화의 증거 사례를 통해 진화의 원리를 찾아낼 수 있다.

과정

1 다음은 진화의 생물 지리학적 증거 사례인 갈라파고스군도의 핀치와 관련한 설명이다. 한 종의 핀치가 어떻게 여러 종으로 진화하였는지 알아보자.

갈라파고스군도에는 부리 모양이 조금씩 다른 여러 종의 핀치가 살고 있다.



2 다음은 비교 해부학적 증거 사례인 상동 기관과 상사 기관의 예이다. 공통점과 차이점을 알아보자.

정리

❶ 핀치는 어떻게 여러 종으로 분화되었는가?
❷ 골격의 기본 구조는 같은데 겉모양이 달라지는 까닭을 설명해 보자.
❸ 골격의 기본 구조가 다른데 겉모양과 기능이 비슷해지는 까닭을 설명해 보자.
❹ 제시된 증거를 바탕으로 진화가 일어나기 위해 꼭 필요한 것이 무엇일지 토론해 보자.

자기 평가하기

✱ 성취 정도를 ✓ 표시해 보자

1 진화의 다양한 증거를 제시할 수 있는가? 1 | 2 | 3 | 4 | 5
2 진화의 증거를 조사하여 진화의 원리를 찾아낼 수 있는가? 1 | 2 | 3 | 4 | 5

02 진화의 원리와 종분화

변이와 자연 선택으로 진화의 원리를 설명할 수 있다.
지리적 격리에 따른 종분화 과정을 설명할 수 있다.

노랑무늬붓꽃과 금붓꽃은 공통 조상으로부터 진화한 서로 가까운 두 종으로, 꽃을 제외한 다른 형질이 매우 비슷하다. 이들은 공통 조상으로부터 어떻게 두 종으로 분화되었을까?

1 진화의 원리

다윈은 1831년부터 5년 동안 측량선 비글호를 타고 남아메리카와 오스트레일리아를 탐사하면서 생물에 관한 다양한 자료를 수집하였다. 특히 갈라파고스군도의 핀치를 비롯한 다양한 생물상은 다윈이 진화론을 정리하는 데 중요한 역할을 하였다. 1859년에 다윈은 『종의 기원』을 출판하였고, 이 책에서 많은 관찰 결과와 함께 다음과 같은 자연 선택설을 주장하였다.

다윈의 자연 선택설

생물은 살아남을 수 있는 수보다 **더 많은 자손**을 생산하며, 생산된 개체들 사이에는 **유전되는 변이**가 존재한다. 과잉 생산된 자손은 생존을 위해 **경쟁**하고, 특정 변이를 가진 개체는 자연에 선택되어 더 잘 생존하고 번식한다. 즉, 환경에 가장 잘 적응하는 변이를 가진 개체들이 경쟁에서 살아남고 더 많은 자손을 남긴다. 이러한 현상을 **자연 선택**이라고 한다.

클릭! **찾아보기**

진화와 관련된 다음 단어를 찾아보자.

라마르크, 용불용설, 더프리스, 바이스만, 마이어, 신종합설

진화는 한 개체의 변화가 아니라 개체가 속한 집단이 변화하는 과정이다. 돌연변이로 인한 유전적 변이가 있는 한 개체가 환경에 더 잘 적응한다면, 다른 개체와 교배하여 이 변이가 집단 내에 전파되고 집단의 변화를 일으킬 수 있다. 한 집단의 모든 개체에 있는 대립유전자 전체를 유전자풀이라고 한다. 그러므로 유전자풀이 변하면 진화가 일어난다고 할 수 있다.

2 유전자풀의 변화

집단에서 한 형질을 나타내는 대립유전자의 상대적 빈도를 대립유전자 빈도라고 한다. 한 집단에서 각 개체마다 대립유전자가 2개씩 있고, 집단의 모든 개체가 동일한 비율로 생식세포를 만들 때 대립유전자 빈도는 특정 대립유전자를 가진 생식세포의 형성비와 같다.

대립유전자 빈도

$$\text{대립유전자 빈도} = \frac{\text{특정 대립유전자의 수}}{\text{집단 내 특정 형질의 대립 유전자 총 수}}$$

한 집단의 대립유전자 빈도는 특정 조건에서 대를 거듭해도 변하지 않는데, 이를 하디 · 바인베르크 법칙이라고 한다. 하디·바인베르크 법칙을 확인해 보자.

탐구 모의실험

하디 · 바인베르크 법칙 모의실험하기

• **목표**: 하디 · 바인베르크 법칙을 이해할 수 있다.

준비물
같은 크기의 빨간색 비즈와 투명한 비즈, 크기가 작은 빨간색 비즈, 속이 보이지 않는 주머니

과정

1 속이 보이지 않는 주머니에 대립유전자를 가정한 동일한 크기의 빨간색 비즈 40개와 투명한 비즈 60개를 넣고 잘 섞는다.

2 자손이 가지는 대립유전자에 해당하는 2개의 비즈를 주머니에서 꺼내 각 비즈의 색을 확인하고 다시 넣는다.

3 과정 **2**를 5회 반복한 후와 25회 반복한 후의 빨간색 비즈와 투명한 비즈의 빈도를 계산한다.

구분	5회		25회	
	빨간색 비즈	투명한 비즈	빨간색 비즈	투명한 비즈
수				
빈도				

4 투명한 비즈 60개와 크기가 작은 빨간색 비즈 40개를 준비하여 위의 과정을 반복한다.

• 비즈 대신 단추나 바둑알을 사용할 수도 있다.
• 크기 대신 모양이 다른 것을 사용할 수도 있다.
• 두 종류의 비즈는 한 생물이 가진 두 종류의 대립유전자를 뜻한다.

결과 및 정리

❶ 과정 **1**에서 빨간색 비즈를 대립유전자 R라 하고, 투명한 비즈를 대립유전자 r라고 하면 대립유전자 R와 r의 빈도는 각각 얼마인가?

❷ 비즈를 10개 꺼냈을 때와 50개 꺼냈을 때 대립유전자 빈도는 어떻게 다른가? 모집단의 대립유전자 빈도와 비교해 보자.

❸ 과정 **4**에서 대립유전자 빈도는 과정 **3**에서와 어떻게 다른가? 왜 다르게 나타났는지 토론해 보자.

❹ 과정 **3**과 **4** 중 어느 과정에서 하디·바인베르크 법칙이 성립하는 집단을 가정하였는지 생각해 보자.

생각 넓히기 빨간색 비즈와 투명한 비즈가 중간 유전을 나타내는 분꽃의 꽃색 대립유전자라면 2개의 비즈를 꺼낼 때 어떤 표현형이 나타날 수 있는지 생각해 보자.

하디 · 바인베르크 법칙
하디(Hardy, G. H., 1877~1947)와 바인베르크(Weinberg, W., 1862~1937)는 각자 독자적으로 연구하여 일정한 조건을 갖춘 집단에서는 세대가 계속되어도 대립유전자 빈도나 유전자풀이 변하지 않는다는 것을 발표하였는데, 이를 하디·바인베르크 법칙이라고 한다.

하디·바인베르크 법칙이 성립하는 유전적 평형 상태의 집단을 멘델 집단이라고 한다. 멘델 집단에서 대립유전자 A의 빈도를 p, 대립유전자 a의 빈도를 q라고 하면 $p+q=1$이 되며, 자손에서 유전자형이 AA인 개체의 비율은 p^2, Aa인 개체의 비율은 $2pq$, aa인 개체의 비율은 q^2이 된다.

유전자형의 빈도는 표현형의 빈도로부터 계산할 수 있다. 예를 들어 |그림 V−30|과 같이 아시아무당벌레 날개의 무늬는 두 가지 대립유전자 S와 A에 따라 결정된다. 날개에 검은 무늬가 있는 개체(유전자형: SS)의 빈도는 0.81이고, 가장자리가 검은 테두리 형태이며 중간에 무늬가 있는 개체(유전자형: SA)의 빈도는 0.18이며, 가장자리에 검은 테두리만 있는 개체(유전자형: AA)의 빈도는 0.01이라면 표현형의 빈도를 이용하여 대립유전자 S와 A의 빈도는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\text{대립유전자 S의 빈도} = 0.81 + \frac{0.18}{2} = 0.9$$

$$\text{대립유전자 A의 빈도} = 0.01 + \frac{0.18}{2} = 0.1$$

멘델 집단에서는 세대를 거듭해도 대립유전자 빈도에 변화가 없어 진화가 일어나지 않지만 실제 집단에서는 다양한 요인으로 대립유전자의 구성과 빈도가 변해 진화가 일어난다.

멘델 집단의 조건

1. 충분한 개체 수
2. 집단 내에서의 무작위적 교배
3. 대립유전자에 돌연변이 발생 없음
4. 집단 사이의 대립유전자 교환 없음
5. 모든 개체의 생존력과 생식력은 같음

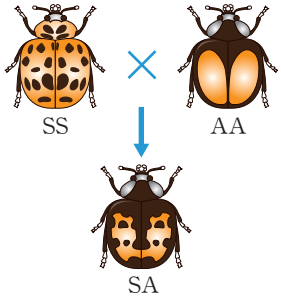


그림 V−30 아시아무당벌레 날개 무늬

3 유전자풀의 변화를 일으키는 요인

| 돌연변이 | 돌연변이는 방사선이나 화학 물질, 바이러스 등으로 DNA 염기 서열에 변화가 생기는 것으로, 돌연변이가 일어나면 새로운 대립유전자가 형성될 수 있다. 돌연변이가 자연적으로 발생할 확률은 매우 낮고, 발생한 돌연변이체 또한 생존할 가능성은 희박하다. 그러나 환경 변화로 돌연변이체의 생존율과 생식률이 높아지면 유전자풀이 변화하여 생물의 진화가 일어난다.

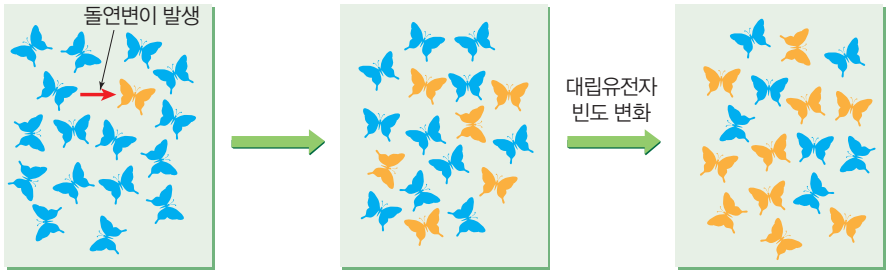


그림 V−31 돌연변이

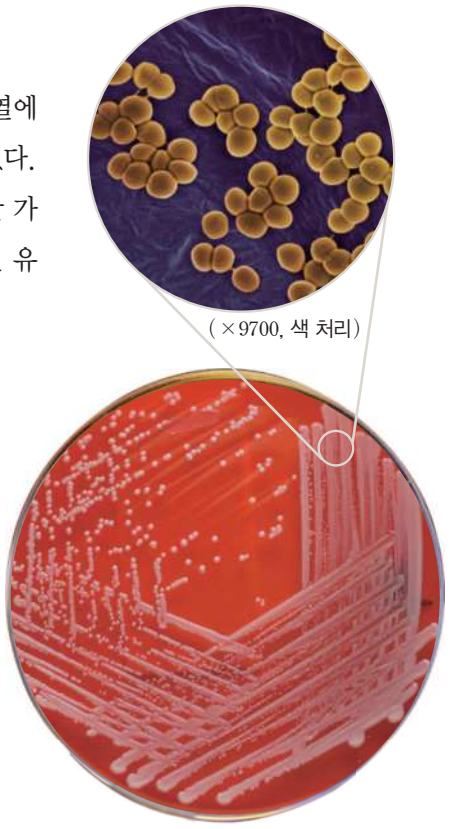


그림 V−32 메티실린 내성 황색포도상 구균 | 거의 모든 항생제에 내성을 가진 돌연변이 세균으로 생존에 유리하다.

| 자연 선택 | 특정 형질을 가진 개체가 환경에 더 잘 적응하면 다른 개체와의 경쟁에서 이겨 생존과 생식 확률이 높아진다. 그 결과 생물 집단에서 대립유전자의 빈도가 변하여 진화가 일어난다.

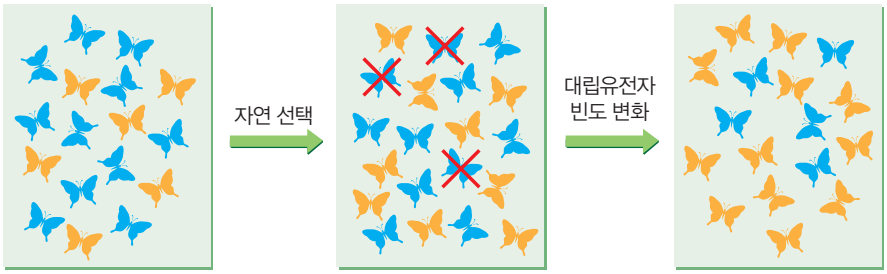
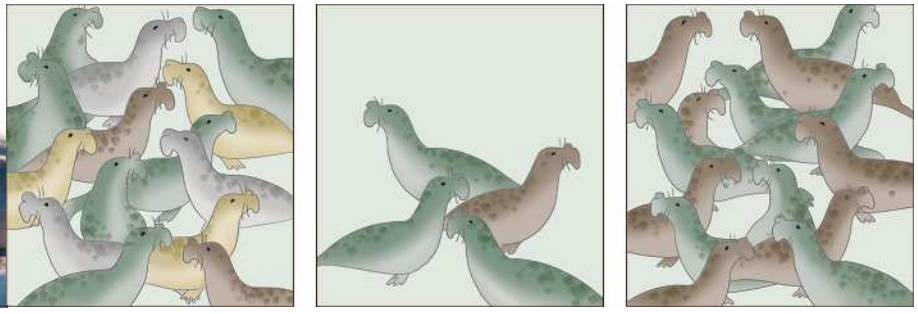


그림 Ⅴ-33 자연 선택

| 유전적 부동 | 천재지변이나 이주와 같은 우연한 사건으로 특정 대립유전자가 더 많은 집단이 고립되면 대립유전자의 빈도가 변하는 현상이 나타난다. 이를 유전적 부동이라고 하는데 병목 효과를 거친 집단에서 잘 나타난다. 병목 효과는 지진, 화재, 홍수, 질병 등으로 집단의 크기가 갑자기 줄어드는 현상이다.



▲ 처음 집단의 대립유전자 빈도 ▲ 포획으로 인한 집단의 크기 감소 ▲ 현재 집단의 대립유전자 빈도가 처음과 달라짐

그림 Ⅴ-34 유전적 부동 | 북방코끼리바다표범은 남획으로 개체 수가 감소하여 유전자풀이 작아졌다.

한 집단에서 소수의 개체가 분리되어 새로운 집단을 형성할 때 대립유전자의 빈도가 변하게 되는데 이를 창시자 효과라고 한다. 원래 집단에서는 드물었던 대립유전자가 새로운 집단에서는 흔하게 나타날 수 있다.

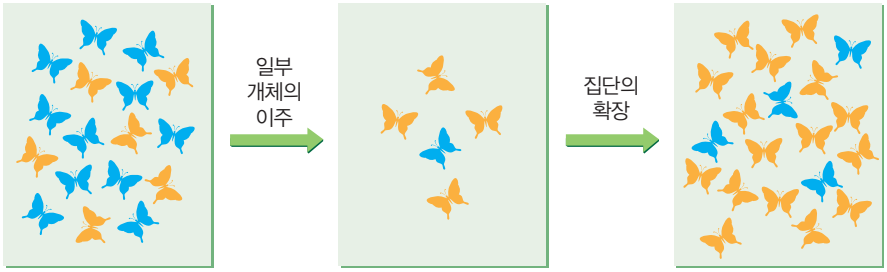


그림 Ⅴ-35 창시자 효과

| 유전자 흐름 | 집단 사이의 대립유전자 교류로 대립유전자의 구성과 빈도가 달라지는 것을 유전자 흐름이라고 한다. 유전자 흐름이 일어나면 집단 사이의 유전적 차이가 줄어든다.

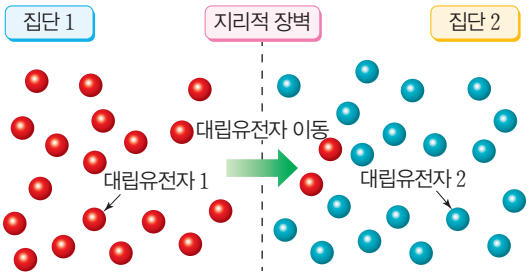


그림 V−36 유전자 흐름

그림 V−37 생태 통로 | 생태 통로는 파편화된 서식지에서 유전자 흐름을 증가시킨다.

탐구 자료 조사

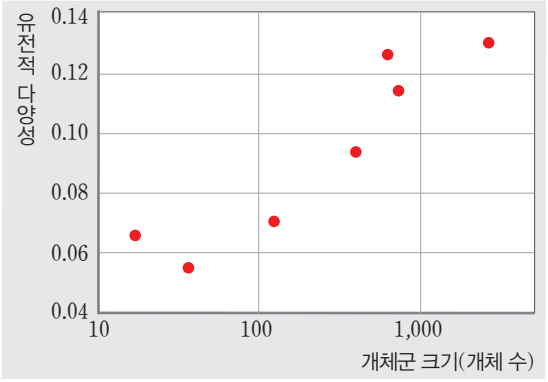
유전자풀의 변화 분석과 사례 조사하기

• **목표**: 유전자풀이 변화한 사례를 찾아 원인을 분석할 수 있다.

과정

1 다음은 유전자풀이 변화된 사례이다. 개체군 크기에 따라 유전적 특성이 어떻게 변화되었는지 알아보자.

치후아후아가문비나무는 현재 멕시코의 높은 산에 고립되어 여러 개의 작은 개체군으로 분포한다. 그러나 빙하기 때는 멕시코 남부까지 광범위하게 분포하였다. 지구의 기후가 따뜻해지자 이 가문비나무는 북쪽이나 더 높은 고도에서만 살아남았다. 살아남은 7개 개체군에서 16종류의 효소 시스템에 존재하는 대립유전자의 다양성을 조사한 결과 오른쪽 그림과 같이 개체군 크기와 유전적 다양성 사이의 관계가 나타났다.



출처: Molles, 2013.

2 유전자풀이 변화된 예로 낫 모양 적혈구 빈혈증의 사례를 조사하고, 변화의 원인을 분석해 보자.

정리

❶ 개체군 크기와 유전적 다양성 사이의 관계는 어떠한가?
❷ 낫 모양 적혈구의 유전자풀은 어떻게 변하였는가?
❸ 유전자풀이 변한 원인이 무엇인지 토론해 보자.
❹ 유전적 다양성이 감소하면 어떤 일이 발생할지 예상해 보자.

▲ 큰군함조 ▲ 푸른발부비새 ▲ 코끼리거북 ▲ 바다이구아나

그림 Ⅴ-38 갈라파고스군도에 사는 다양한 생물 | 남아메리카 대륙으로부터 격리되어 진화한 결과 갈라파고스군도에만 사는 독특한 고유종이 많다.

4 종분화 과정

연계 학습
생물학적 종
▶ Ⅴ. 생물의 진화와 다양성 151쪽

종을 생식적으로 격리된 집단이라고 정의하면 종분화 과정을 더욱 명확하게 설명할 수 있다. 즉, 한 종이 두 종으로 분화된다는 것은 생식적으로 격리된 두 집단으로 나뉜다는 것을 뜻한다.

종분화의 대부분은 물이나 산맥과 같은 지리적 격리로 일어났다. 한 집단의 일부 개체가 우연히 격리되어 모집단의 개체와 상호 교류가 없어지게 되면 각 집단은 자신만의 진화 경로를 밟게 된다. 서식 환경이 서로 다른 경우 각 개체군은 자신만의 유전자풀을 가지게 되며, 지리적 장벽이 사라지더라도 생식적으로 격리되어 서로 다른 종이 된다.

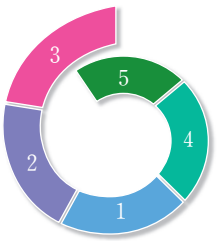


그림 Ⅴ-39 고리종 모식도 | 인접한 개체군 1과 2, 2와 3, 1과 4, 4와 5는 교배가 가능하지만 3과 5 개체군은 교배가 불가능하다.

높은 산 아래에 사는 한 종의 개체군이 산 아래를 돌아가며 두 방향으로 서서히 확장하다가 양방향의 자손 개체군이 만났을 때 서로 교배하지 못하는 경우가 있다. 이는 양쪽으로 확산되는 동안 양쪽 개체군에서 나타난 서로 다른 변이가 축적되었기 때문이다. 지리적 분포가 고리 형태를 띠며, 인접한 개체군 사이에는 교배가 일어나지만, 고리의 양쪽 끝이 만나는 지역에 있는 두 개체군은 교배하지 못하는 종을 고리종이라고 한다. 고리종이 어떻게 종분화의 강력한 증거가 되는지 알아보자.

탐구 자료 조사

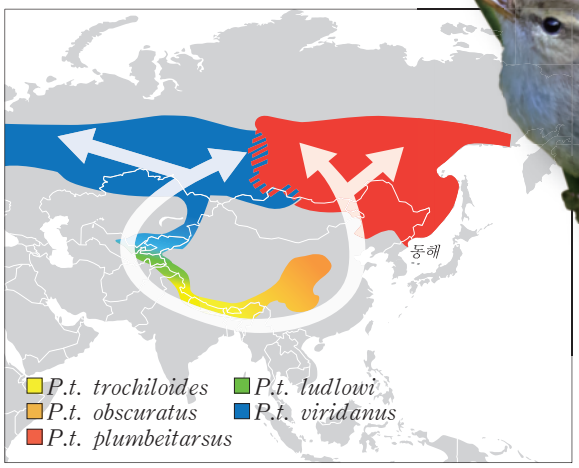
고리종의 사례 조사하기

• **목표**: 고리종을 통한 종분화를 이해할 수 있다.

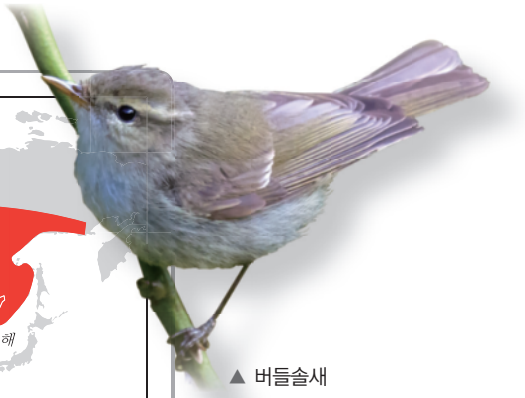
과정

1 다음은 종분화 사례 중 하나인 버들솔새의 자료이다. 종분화가 어떻게 이루어졌는지 알아보자.

버들솔새(*Phylloscopus trochiloides*)는 히말라야산맥을 둘러싸는 고리 모양으로 분포한다. 이 버들솔새의 인접한 개체군은 서로 교배할 수 있지만, 고리 양쪽 끝의 두 개체군(*P. trochiloides plumbeitarsus*와 *P. trochiloides viridanus*)은 지리적으로 겹쳐 분포할지라도 교배가 일어나지 않는다.



출처: Irwin 외, 2001.



▲ 버들솔새

2 북극 주변의 재갈매기와 캘리포니아의 엔사티나도롱뇽 중 하나를 선택하여 종분화가 어떻게 일어나는지 찾아보자.

정리

❶ 고리의 양쪽 끝에 있는 두 개체군이 서로 교배하지 못하는 까닭을 토론해 보자.
❷ 고리종의 진화에서 유전자풀을 변화시킨 요인을 토론해 보자.
❸ 종분화 사례로 찾은 생물의 격리 요인은 무엇이며, 이들이 공통 조상으로부터 진화했다는 증거는 무엇인가?

고리종의 사례로 한 종이지만 물리적으로 격리된 후 서서히 변이가 누적되면 다시 만날지라도 교배가 일어나지 않을 수 있다는 것을 확인하였다. 즉, 고리종은 점진적인 변화와 격리로 종분화가 일어날 수 있다는 것을 보여 준다.

자기 평가하기

✸성취 정도를 ✓표시해 보자

1 돌연변이와 자연 선택으로 진화의 원리를 설명할 수 있는가? 1 | 2 | 3 | 4 | 5
2 지리적 격리에 따른 종분화의 과정을 설명할 수 있는가? 1 | 2 | 3 | 4 | 5

개념 정리하기

핵심 내용 정리하기

1 진화의 증거

1. 화석상의 증거

(1) ❶ _____은 환경 변화와 생물의 진화를 보여 주는 가장 직접적인 증거이다.

(2) 화석을 연대순으로 배열하면 생물의 진화 여부와 진화 과정을 알 수 있다.

예 고래 화석, 종자고사리 화석, 암모나이트 화석 등

2. 분자진화학적 증거: ❷ _____가 가까울수록 DNA의 염기 서열과 단백질의 아미노산 서열이 유사하다.

예 사람과 침팬지의 DNA 염기 서열의 유사성은 약 97 % 이다.

3. 비교 해부학적 증거

(1) ❸ _____: 기본 구조는 동일하지만 모양과 기능은 다른 기관이다.

예 척추동물의 앞다리

(2) 상사 기관: 모양과 기능은 비슷하지만 기본 구조는 다른 기관이다.

예 새의 날개와 곤충의 날개

(3) 흔적 기관: 과거에는 기능을 하였으나 현재는 퇴화되어 형태만 남은 기관이다.

예 사람의 꼬리뼈

4. ❹ _____ 증거

(1) 척추동물의 발생 초기 배아에서 근육성 꼬리, 아가미 틈, 척삭 등 공통적인 특징이 나타난다.

(2) 무척추동물의 경우 담륜자 유생 시기를 거친다.

예 조개와 갯지렁이는 담륜자 유생 시기를 거친다.

5. 생물 지리학적 증거: 같은 종의 생물이 지리적으로 격리된 후 오랜 세월이 지나는 동안 다른 계통으로 진화하였음을 알 수 있다.

예 갈라파고스군도의 핀치, 오스트레일리아의 캥거루

2 진화의 원리와 종분화

1. 다윈의 자연 선택설: 생물은 생존 가능한 자손보다 더 많은 자손을 낳고, 유전되는 변이가 존재한다. 자손 사이에 ❺ _____이 일어나 환경에 가장 잘 적응하는 변이를 가진 개체가 더 잘 생존하고 번식한다.

2. 유전자풀의 변화

(1) 유전자풀: 집단이 가지는 모든 대립유전자

(2) 대립유전자 빈도: 집단에서 특정 대립유전자가 차지하는 비율이다.

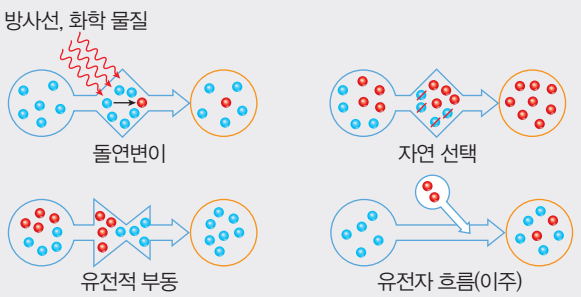
$$\text{대립유전자 빈도} = \frac{\text{특정 대립유전자의 수}}{\text{집단 내 특정 형질의 대립유전자 총 수}}$$

(3) 하디·바인베르크 법칙: ❻ _____에서는 대립유전자 빈도가 세대를 거듭해도 변하지 않는다.

- 대립유전자 A의 빈도를 p, 대립유전자 a의 빈도를 q라고 하면 $p+q=1$이다. 자손에서 유전자형이 AA인 개체의 비율은 p^2, Aa인 개체의 비율은 $2pq$, aa인 개체의 비율은 q^2이다.

3. 유전자풀의 변화를 일으키는 요인

❼ _____	DNA에 변이가 생겨 집단에 새로운 대립유전자가 생성된다.
자연 선택	특정 형질을 가진 개체가 환경에 더 잘 적응하여 더 많은 자손을 남긴다.
유전적 부동	우연한 사건으로 특정 대립유전자가 더 많은 집단이 고립된다.
유전자 흐름	집단 사이의 대립유전자 교류로 대립유전자의 빈도가 달라진다.



4. 종분화: 한 집단이 ❽ _____으로 격리되어 두 집단으로 나뉘어 생식적으로 격리될 때 종분화가 일어난다.

정답 | ❶ 화석 ❷ 유연관계 ❸ 상동 기관 ❹ 진화발생학적 ❺ 경쟁 ❻ 멘델 집단 ❼ 돌연변이 ❽ 지리적

개념 확인하기

1 다음은 어떤 진화의 증거에 해당하는지 보기에서 찾아 쓰시오.

(1) 사람의 팔과 고래의 가슴지느러미는 기능은 다르지만 기본 구조가 같다. …… (　　)

(2) 고래 조상의 화석에는 뒷다리뼈가 관찰된다. …… (　　)

(3) 갈라파고스군도에는 남아메리카 대륙에서 살지 않는 푸른발부비 등이 살고 있다. …… (　　)

(4) 헤모글로빈을 이루는 아미노산 서열의 차이가 적을수록 유연관계가 가깝다. …… (　　)

보기

ㄱ. 생물 지리학적 증거　ㄴ. 화석상의 증거
ㄷ. 분자진화학적 증거　ㄹ. 비교 해부학적 증거

2 다음은 다윈의 자연 선택에 관한 설명이다. (　　) 안에 들어갈 알맞은 말을 쓰시오.

(1) 생물은 생존 가능한 자손보다 더 많은 자손을 낳고, 유전되는 (　　)가 존재한다.

(2) 자손은 (　　)을 하고, 특정 형질을 가지는 개체가 선택되어 더 많은 자손을 남긴다.

3 다음 설명에 해당하는 용어를 쓰시오.

(1) 세대가 바뀌어도 대립유전자의 종류와 빈도가 변하지 않는 상태를 유지하는 가상의 집단이다.

(2) 한 개체가 가진 DNA에 변화가 일어나 집단에 새로운 대립유전자를 제공하여 유전자풀을 변화시킨다.

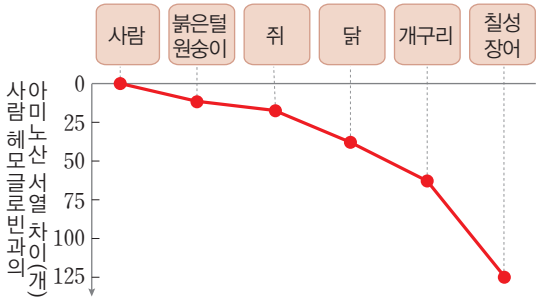
(3) 특정 형질을 가진 개체가 다른 개체보다 생존에 유리하여 자손을 많이 남기는 과정으로, 집단 내에서 대립유전자 빈도에 변화가 생긴다.

(4) 지리적으로 격리된 개체군이 오랜 세월 동안 제각각 다른 방향으로 진화하여 종이 분리되는 과정이다.

개념 응용하기

1 사람의 팔, 고래의 가슴지느러미, 박쥐의 날개 등 척추동물의 앞다리 구조를 비교하면 기능은 다르지만 기본 구조가 같다. 이를 통해 알 수 있는 진화적 사실을 서술하시오.

2 그림은 사람을 비롯한 여러 척추동물의 헤모글로빈 아미노산 서열을 조사하여 그 차이를 분석한 결과이다.



이 자료를 근거로 사람과 유연관계가 가장 가까운 동물을 쓰고, 그 까닭을 서술하시오.

3 하디·바인베르크 법칙이 성립하는 다음 멘델 집단에서 대립유전자의 빈도를 구하시오.

알비노증은 열성 형질(유전자형 aa)로 10000마리의 쥐 중에서 1마리에 나타난다.

(1) 대립유전자 A의 빈도 p:

(2) 대립유전자 a의 빈도 q:

4 다음은 진화를 일으키는 요인이다.

- 돌연변이
- 자연 선택
- 유전적 부동
- 유전자 흐름

위 요인 중 새로운 형질이 만들어지는 요인은 무엇이며, 이 요인이 진화에 왜 중요한지 서술하시오.

단원 마무리

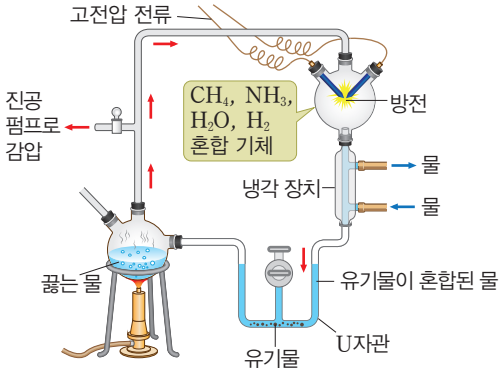
핵심 바로 알기

밀러
밀러는 원시 지구에서의 유기물 생성 과정을 설명하는 오파린의 화학적 진화설을 실험으로 증명하였다.

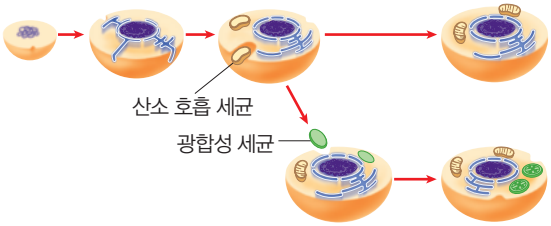
세포내 공생설
독립된 원핵세포가 다른 세포 내부에 공생하면서 미토콘드리아나 엽록체와 같은 세포 소기관으로 발전하였다.

하디·바인베르크 법칙
일정한 조건에서 한 집단의 대립유전자 빈도가 세대를 거듭해도 변하지 않는다는 것으로, 하디·바인베르크 법칙이 성립하는 집단을 멘델 집단이라고 한다.

1 그림은 밀러의 실험을 나타낸 것이다. 밀러가 증명한 화학적 진화설을 서술하시오.



2 그림은 세포내 공생이 일어나는 과정을 나타낸 것이다.



미토콘드리아와 엽록체의 특징 중 세포내 공생을 지지하는 증거에는 어떤 것들이 있는지 서술하시오.

3 다음은 어떤 집단에서 나타나는 낭성 섬유증에 관한 설명이다.

> 낭성 섬유증은 상피 세포의 이온 수송과 조절에 문제가 생겨 점액이 생기는 병으로, 상염색체에 존재하는 열성 돌연변이 유전자 때문에 발병하는 유전병이다. 하디·바인베르크 법칙이 성립하는 어떤 집단에서 새롭게 태어나는 2500명의 아이당 1명이 낭성 섬유증을 나타낸다.

(1) 낭성 섬유증 대립유전자의 빈도는 얼마인가? 그렇게 판단한 까닭을 서술하시오.

(2) 이 집단에서 낭성 섬유증 보인자의 비율은 몇 %인가? 그 까닭을 서술하시오.

4 그림은 분류 체계가 변화되어 온 과정을 나타낸 것이다.

린네의 2계 체계 → 헤켈의 3계 체계 → 휘태커의 5계 체계 → 우즈의 3역 체계

(1) 헤켈이 린네의 2계에서 추가한 계는 무엇인지 쓰고, 그 까닭을 서술하시오.

(2) 휘태커의 5계를 쓰고, 각 생물군의 유연관계를 계통수를 이용하여 나타내시오.

(3) 우즈가 계보다 상위 분류 단계인 역을 제안하였을 때 근거로 사용한 분류 기준이 무엇인지 쓰고, 이러한 분류 방식의 반론을 제시하시오.

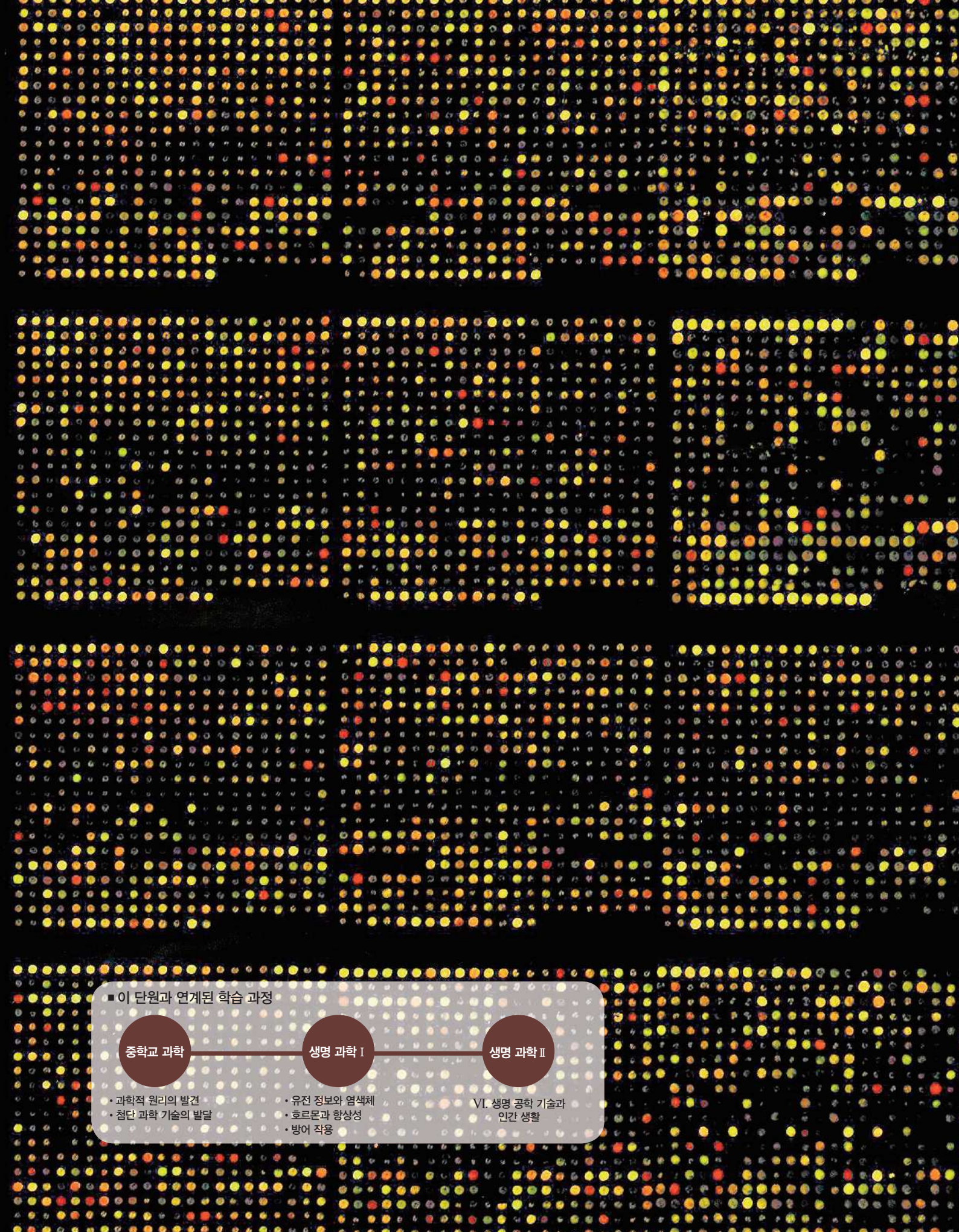
핵심 바로 알기

분류 체계
다양한 종을 비교하여 계통적으로 관련이 있는 종끼리 묶어 체계적으로 정리한 것으로, 지구상에 존재하는 모든 생물의 계통수를 완성하려는 시도가 활발하게 이루어지고 있다.

나의 공부 돌아보기

✱ 성취 정도를 ✓ 표시해 보자

1	생명의 탄생 과정을 설명할 수 있다.	1 | 2 | 3 | 4 | 5
2	분류 체계의 변화 과정을 설명할 수 있다.	1 | 2 | 3 | 4 | 5
3	대표적인 생물의 특징을 이용하여 검색표를 제작할 수 있다.	1 | 2 | 3 | 4 | 5
4	변이와 자연 선택으로 진화의 원리를 설명할 수 있다.	1 | 2 | 3 | 4 | 5

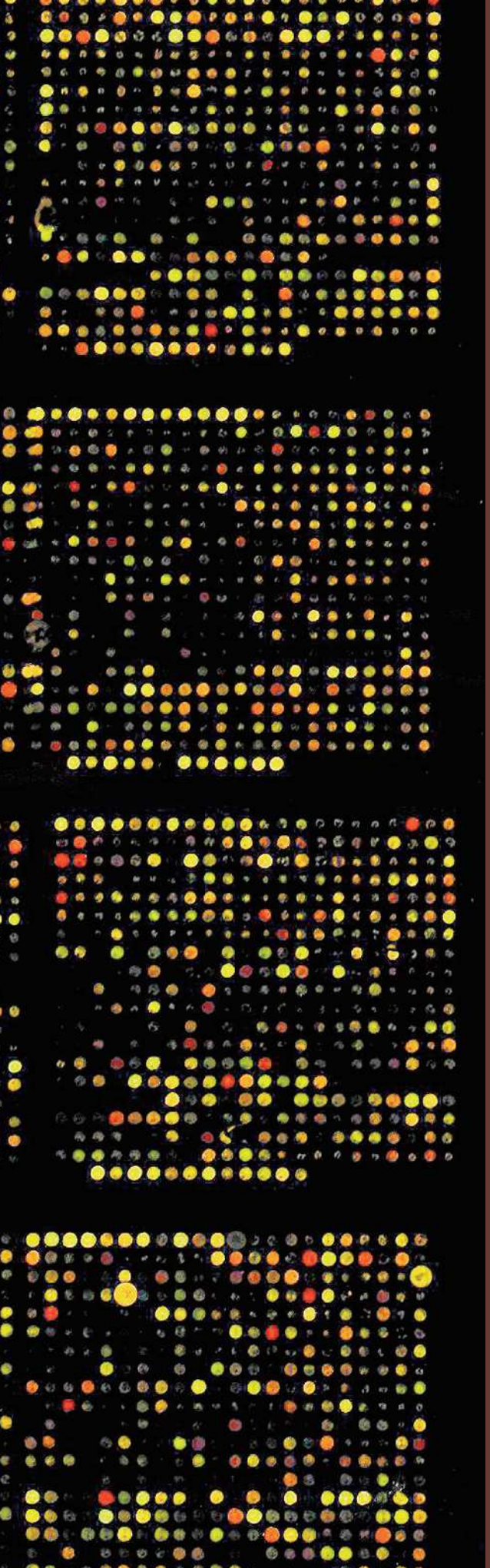


■ 이 단원과 연계된 학습 과정

중학교 과학
- 과학적 원리의 발견
- 첨단 과학 기술의 발달

생명 과학 Ⅰ
- 유전 정보와 염색체
- 호르몬과 항상성
- 방어 작용

생명 과학 Ⅱ
- Ⅵ. 생명 공학 기술과 인간 생활



VI

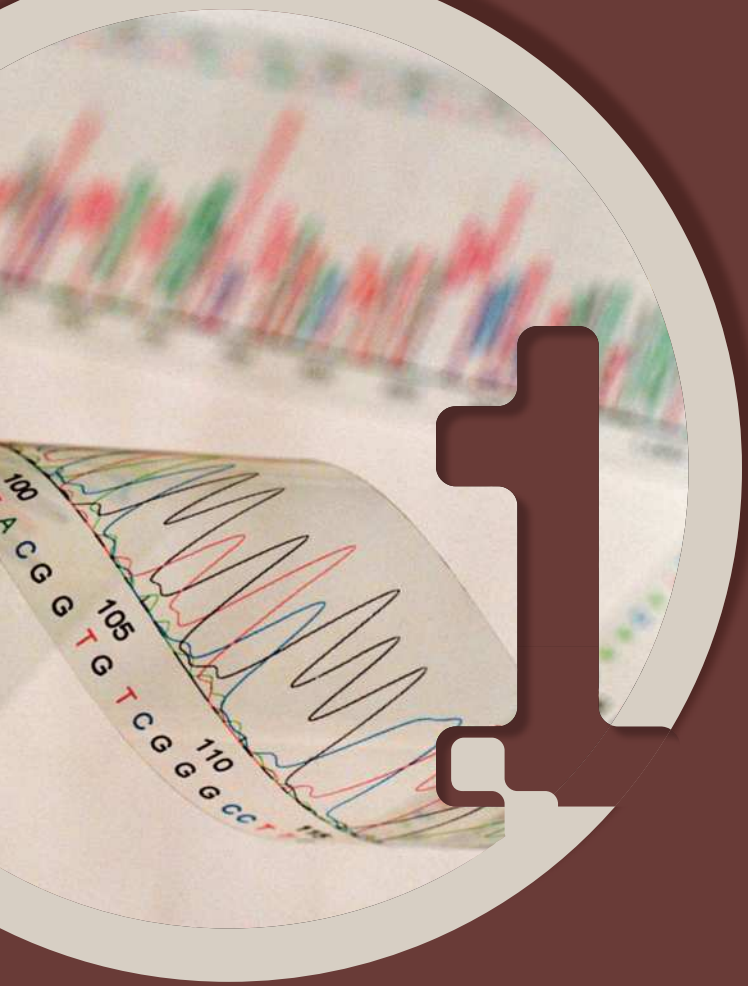
생명 공학 기술과 인간 생활

생명 공학 기술은 인간 생활 전반에 걸쳐 폭넓게 활용되고 있다. 생명 공학 기술의 원리와 활용 사례를 알아보고, 생명 공학 기술을 활용할 때 고려해야 할 윤리적인 측면을 알아보자.

1. 생명 공학 기술의 원리와 활용
2. 생명 공학 기술과 생명 윤리

■ 이 단원의 주요 핵심 역량

과학적 사고력	생명 공학 기술의 원리 이해하기
과학적 탐구 능력	박테리아 콜로니 관찰하기
과학적 문제 해결력	생활 속 생명 공학 기술의 활용 사례 및 영향 조사하기
과학적 의사소통 능력	생명 윤리 쟁점을 토론하고 의사 결정하기
과학적 참여와 평생 학습 능력	LMO가 인간 생활에 미치는 영향 조사하기



생명 공학 기술의 원리와 활용

01. 유전자 재조합 기술

02. 다양한 생명 공학 기술의 원리와 활용

이 단원의 학습 목표

생명 공학 기술의 발달 과정과 원리를 이해하고 생명 공학 기술이 질병 치료, 식량 생산 등 인간 생활에 미친 영향을 조사하여 발표하면서 생명 공학 기술이 인간 생활과 밀접하게 관련되어 있음을 이해할 수 있다.

자기 점검 – 알고 있는 용어에 표시해 보자.

DNA ☐	유전자 ☐	유전병 ☐	인슐린 ☐
당뇨병 ☐	면역 ☐	백신 ☐	항원 항체 반응 ☐

▶ 표시하지 못한 용어는 생명 과학 I 교과서에서 확인해 보자.

학습 계획 세우기 – 학습 목표를 달성하기 위해 어떤 준비를 할 수 있을지 써 보자.

예 인슐린 부족으로 발생하는 질병 및 치료법을 조사해 본다.

01 유전자 재조합 기술

- 유전자 재조합 모의실험으로 유전자 재조합 기술의 원리를 이해할 수 있다.
- 유전자 재조합 기술의 활용 사례를 조사하여 발표할 수 있다.

제1형 당뇨병 환자를 치료하려면 인슐린을 주사해야 한다. 현재는 인슐린을 대장균이나 효모, 동물 세포에서 다량으로 얻고 있는데 어떻게 다른 생물에서 사람의 호르몬을 만들어 낼 수 있을까?

1 생명 공학 기술의 발달

생명 공학 기술이란 생물이 지닌 여러 가지 기능을 인간 생활에 도움이 될 수 있도록 이용하는 기술을 말한다. 이러한 생명 공학 기술은 |그림 Ⅵ-1|과 같이 오래전부터 생활에 이용되어 왔다. 인류는 가축이나 작물을 선택 교배하여 원하는 형질을 가진 가축과 농작물로 개량해 왔고, 효모를 사용하여 술과 빵을 만들고 세균을 이용하여 김치나 치즈, 요구르트 등을 만들어 왔다. DNA 이중 나선 구조가 밝혀진 뒤 생명 공학 기술은 빠르게 발달하고 있으며 유전자 재조합 기술, 핵치환, 조직 배양, 세포 융합 기술 등 그 대상이 세포와 분자 수준까지 확대되고 있다. 의약품에서부터 식품, 환경, 바이오 에너지 분야에 이르기까지 우리 생활은 생명 공학 기술과 폭넓게 연관되어 있다.

그림 Ⅵ-1 생명 공학 기술의 발달

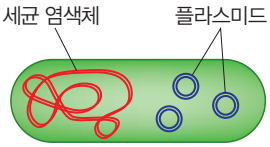
2 유전자 재조합 기술과 유전자 조작

호르몬이나 효소의 부족으로 병을 앓는 사람을 치료하려면 호르몬이나 효소를 몸 안에 넣어 주어야 한다. 예를 들어 제1형 당뇨병 환자의 경우 인슐린이 적게 만들어지므로 인슐린을 계속 주사해야 하는데 생물이 자연적으로 만드는 인슐린은 소량이고 정제도 어려워 비용이 많이 들었다. 그러나 유전자 재조합 기술의 발달로 대장균이나 효모, 다른 동물 세포에서 인슐린을 대량으로 생산할 수 있게 되었다. 유전자 재조합 기술이란 |그림 VI-2|와 같이 특정 유전자를 분리하고, 분리한 특정 유전자를 다른 DNA와 조합하여 새로운 재조합 DNA를 만들어 내는 기술이다.

재조합 DNA는 플라스미드와 같은 DNA 운반체, 원하는 DNA 부위를 자를 수 있는 제한 효소, 절단한 DNA 조각들을 연결하는 DNA 연결 효소를 이용하여 만들 수 있다.

제한 효소(restriction enzyme)는 세균이 자기 세포 안으로 침입한 외부 DNA를 제거할 때 사용하는 효소로, 대장균을 연구하는 과정에서 발견되었다. 제한 효소는 특정 염기 서열을 인식하여 그 부위의 DNA 가닥을 자른다. 제한 효소마다 인식하는 염기 서열이 다르므로 다양한 제한 효소를 골라서 사용하면 원하는 DNA 부위를 자를 수 있다. 다른 DNA라도 같은 제한 효소를 사용하면 잘리는 부위의 염기 서열이 같으므로 잘린 DNA 말단의 단일 가닥 염기 서열이 서로 상보적이다. 따라서 DNA가 일시적으로 상보적인 염기쌍을 형성할 수 있는데, 이를 DNA 연결 효소로 연결하면 재조합 DNA를 만들 수 있다.

플라스미드
세균과 효모에서 자신의 염색체 외에 추가로 존재하는 원형 DNA이다. 숙주의 염색체와는 독립적으로 복제되고 분리와 조작이 쉬우며 세포 내로 쉽게 도입될 수 있어 유전자 재조합 기술에 많이 사용된다.



제한 효소의 명명
제한 효소의 이름은 그 효소를 추출한 미생물의 이름에서 따온다. 예를 들어 *Eco*RI은 *Escherichia coli* RY13에서 속명의 앞 글자 *E*와 종소명의 앞 2글자 *co*, 균주명에서 R, 첫 번째 발견했다는 의미의 I을 합해서 만들었다.

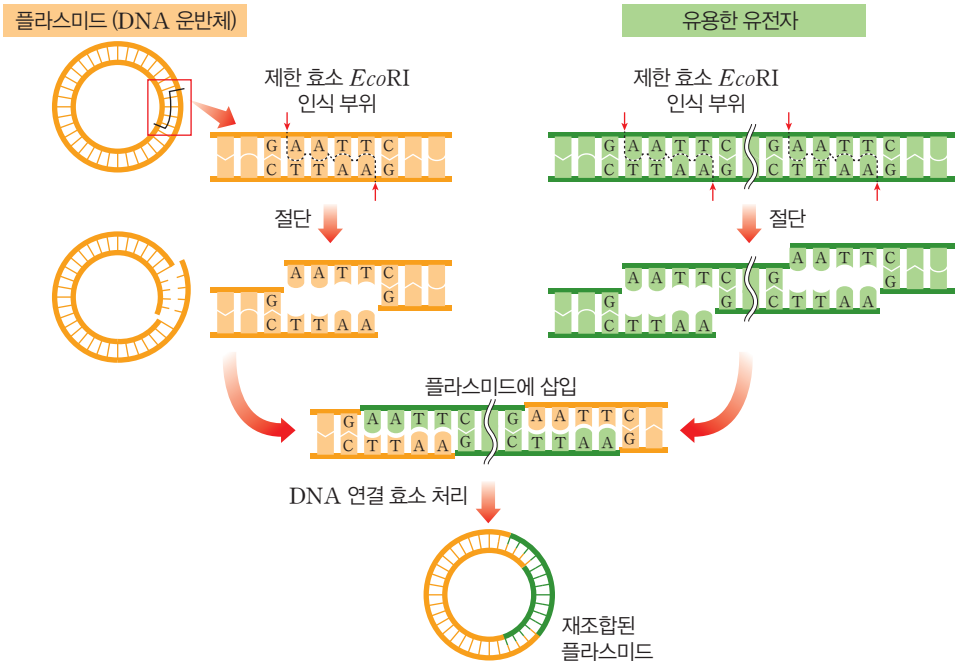


그림 VI-2 재조합 플라스미드 만들기

탐구 모의실험

유전자 재조합 모의실험하기

• **목표**: 유전자 재조합 모의실험으로 제한 효소의 작용과 유전자 재조합 과정을 이해할 수 있다.

과정

1 부록 225쪽에 있는 플라스미드 DNA 모형과 인슐린 유전자 DNA 모형을 가위로 자른다.
2 플라스미드 DNA 모형과 인슐린 유전자 DNA 모형에 제한 효소 *Eco*RI의 인식 부위를 표시한다.
3 인슐린 유전자 DNA 모형에서 제한 효소 인식 부위를 가위로 자른다.
4 플라스미드 DNA 모형 양 끝을 셀로판테이프로 붙여 고리 모양으로 만든 뒤 제한 효소 인식 부위를 가위로 자른다.
5 플라스미드 DNA 모형과 인슐린 유전자 DNA 모형에서 잘린 말단의 단일 가닥이 상보적으로 맞도록 셀로판테이프로 연결하여 재조합 DNA를 만든다.

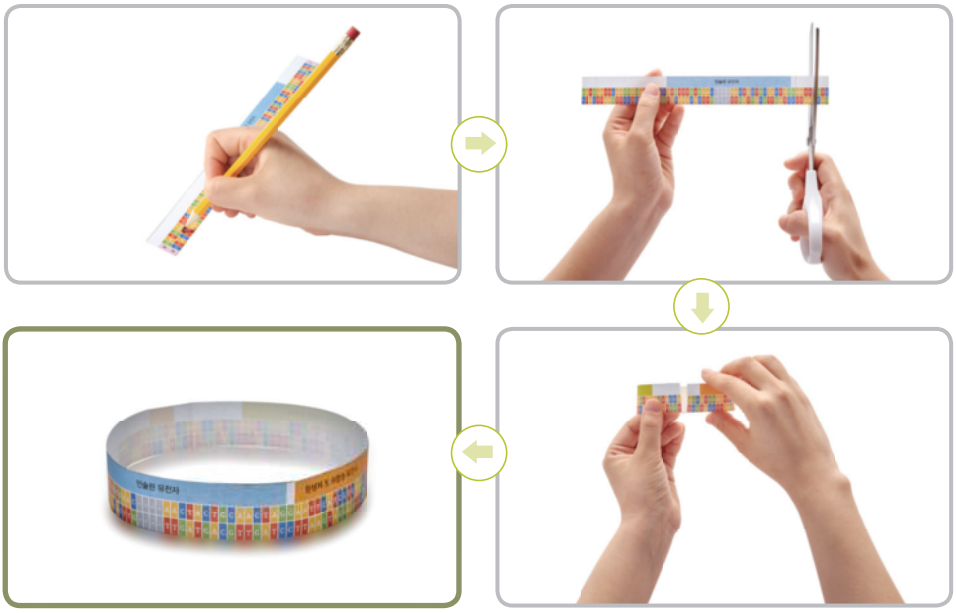
준비물

부록 225쪽의 플라스미드 DNA 모형, 인슐린 유전자 DNA 모형, 가위, 셀로판테이프, 펜

제한 효소 *Eco*RI의 인식 부위

주의 사항

• DNA 모형을 자를 때 손을 다치지 않도록 주의한다.



정리

❶ 모의실험에서 제한 효소와 DNA 연결 효소 역할을 한 것은 각각 무엇인가?
❷ 같은 제한 효소 *Eco*RI으로 유전자를 절단하였을 때 인슐린 유전자 DNA 모형과 플라스미드 DNA 모형 말단의 단일 가닥 염기 서열을 비교해 보자.
❸ 재조합된 플라스미드를 갖는 대장균은 어떻게 이용할 수 있을지 생각해 보자.

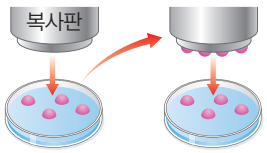
생각 넓히기 내가 과학자라면 유전자 재조합 기술을 이용하여 어떤 연구를 하고 싶은지 발표해 보자.

재조합 플라스미드를 만들 때 플라스미드에 원하는 유전자가 삽입되지 않을 수도 있고, 재조합 플라스미드가 만들어졌어도 숙주 세포에 재조합 플라스미드가 삽입되지 않을 수도 있다. 그렇다면 재조합 플라스미드를 갖는 숙주 세포를 어떻게 확인할 수 있을까? 확인하는 방법 중 하나는 항생제 저항성 유전자가 있는 플라스미드를 이용하는 것으로, |그림 Ⅵ-3|과 같이 특정 항생제에 저항성을 나타내는 유전자가 있는 대장균은 그 항생제를 첨가한 배지에서 콜로니를 형성할 수 있는 특징을 이용한다.

콜로니(colony)
하나의 세포가 자라서 만들어진 같은 유전자를 가진 집단으로 군체로도 불림

항생제 X 저항성 유전자와 항생제 Y 저항성 유전자가 있는 플라스미드를 이용하여 재조합 플라스미드를 만들고, 이 재조합 플라스미드를 대장균에 삽입하면 3종류의 대장균이 만들어질 수 있다. 플라스미드가 없는 대장균(Ⅰ)과 재조합되지 않은 플라스미드를 갖는 대장균(Ⅱ), 플라스미드의 항생제 Y 저항성 유전자 부위에 원하는 유전자가 삽입된 재조합 플라스미드를 갖는 대장균(Ⅲ)이다. 이 중 플라스미드가 없는 대장균(Ⅰ)은 항생제 저항성 유전자가 없어 항생제 첨가 배지에서 콜로니를 형성하지 못한다. 재조합되지 않은 플라스미드를 갖는 대장균(Ⅱ)은 항생제 X 또는 항생제 Y 첨가 배지에서 모두 콜로니를 형성한다. 재조합 플라스미드를 갖는 대장균(Ⅲ)은 항생제 X 첨가 배지에서는 콜로니를 형성하지만 항생제 Y 첨가 배지에서는 콜로니를 형성하지 못한다. 이처럼 항생제 저항성 유전자가 있는 플라스미드를 이용하여 재조합된 플라스미드를 갖는 대장균을 선별할 수 있다.

복제평판 만들기
배지에서 자란 콜로니를 복사판으로 찍어 다른 배지로 옮기는 것



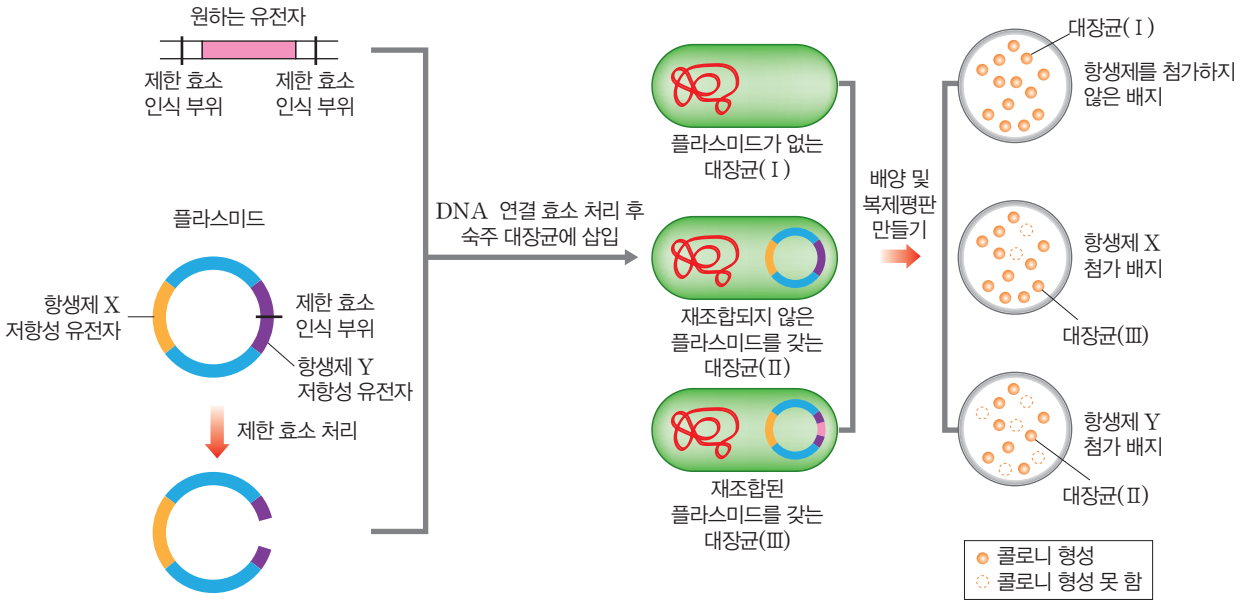


그림 Ⅵ-3 재조합 플라스미드를 갖는 대장균 선별 | 재조합 플라스미드를 갖는 대장균은 항생제 X가 포함된 배지에서는 콜로니를 형성하고, 항생제 Y가 포함된 배지에서는 콜로니를 형성하지 못한다.

창의력 키우기 위 실험에서 사용하는 숙주 대장균은 항생제 X 저항성 유전자와 항생제 Y 저항성 유전자가 없어야 한다. 그 까닭은 무엇인지 생각해 보자.

탐구 실험

박테리아 콜로니 관찰하기

• **목표**: 대장균을 배양하여 콜로니를 관찰할 수 있다.

과정

1 대장균 용액을 2개의 멸균 루프에 묻혀 각각 항생제가 없는 고체 배지와 항생제가 있는 고체 배지에 한쪽에서부터 S자형으로 가볍게 그어 배지 전면에 접종한다.

2 배지의 뚜껑을 덮어 바닥면이 위로 오도록 뒤집어서 37 ℃ 배양기에 12시간 이상 배양한다. 배양기가 없을 때는 따뜻한 곳에서 콜로니가 형성될 때까지 배양한다.

3 콜로니를 관찰한다.

준비물

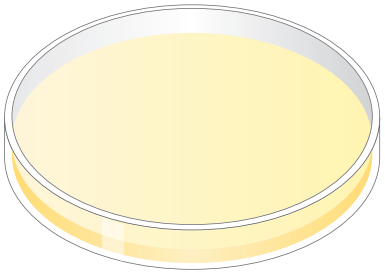
대장균, 고체 배지, 멸균 루프(또는 백금이), 배양기

주의 사항

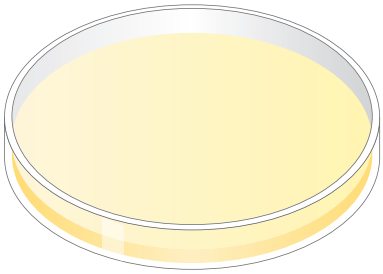
- 대장균을 접종할 때는 주변을 깨끗하게 하여 다른 세균이나 곰팡이가 오염되는 것을 막는다.
- 백금이를 사용할 때는 백금이를 알코올 램프 위에 비스듬히 세워 살균한 뒤 충분히 식혀서 사용한다. 알코올 램프를 사용할 때는 불이 나거나 화상을 입지 않도록 주의한다.
- 실험을 마친 뒤 실험실 소독약으로 세균과 접촉한 장소, 기구, 세균을 배양한 배지를 소독하고 소독한 배지는 뚜껑을 닫아 테이프로 밀봉하여 폐기한다.

결과 및 정리

❶ 관찰한 콜로니를 그려 보자.



▲ 항생제가 없는 배지



▲ 항생제가 있는 배지

❷ 어느 배지에서 콜로니가 나타났는가?

생각 넓히기 항생제 저항성 유전자가 있는 재조합 플라스미드를 갖는 대장균이 있다면 어떤 결과가 나타날지 생각해 보자.

궁금해요

생명 공학 재료로 대장균을 많이 사용하는 까닭은 무엇일까?

대장균은 배양이 쉽고 플라스미드를 이용하여 쉽게 형질 전환이 가능하며, 분열이 빠르고 비교적 안전하다.

유전자 재조합 기술을 이용하면 특정 DNA를 다량으로 얻을 수 있고, DNA 조작이 가능하므로 유전자와 단백질의 기초 연구 등에 활용하고 있다. 또한 유전자 재조합 기술을 이용하면 유용한 유전자를 다른 생물에서 발현시켜 단백질을 다량으로 얻을 수 있다. 예를 들어 최초의 재조합 단백질 치료제인 사람의 인슐린은 대장균에서 생산되었다. 이 밖에도 빈혈 치료제, 혈액 응고 인자 등이 미생물이나 동물에서 생산되고 있다.

유전자 재조합 기술을 이용하여 유용한 유전자를 동식물의 유전체에 집어넣으면 새로운 형질을 가진 생물(형질 전환 생물)을 만들 수도 있다. 예를 들어 사람의 생장 호르몬 유전자를 젖소의 유전체에 집어넣어 젖에서 생장 호르몬을 분비하도록 하거나, 해파리의 녹색 형광 유전자를 쥐나 고양이의 유전체에 집어넣어 형광을 띠는 쥐나 고양이를 만들기도 한다. 녹색 형광 단백질 유전자를 동물의 신경 세포에 집어넣으면 신경 세포가 생장하고 분화하는 과정을 파악할 수 있다. 이를 이용하여 알츠하이머병이나 파킨슨병과 같은 신경계 질환의 원인과 치료 방법을 개발하고 있다.

그림 VI-4 사람의 생장 호르몬을 젖으로 분비하는 소

그림 VI-5 형광 고양이

β-카로틴
β-카로틴은 체내에서 비타민 A로 전환된다.

식물에서는 β-카로틴 생성에 관여하는 유전자를 벼에 삽입하여 β-카로틴 함유량이 높은 황금 쌀을 만들었다. 또한 일부 세균에 있는 독소 단백질 유전자를 식물에 집어넣어 해충에 강한 옥수수, 면화 등을 만들었다. 이 독소 단백질은 살충 효과가 강하고 환경에서 빠르게 분해된다. 이 밖에도 병충해에 강한 형질 전환 식물, 제초제 저항성 형질 전환 식물 등이 개발되었다.

그림 VI-6 β-카로틴이 포함된 황금 쌀

출처: 국립농업과학원, 2017.

그림 VI-7 형질 전환 식물 | 벼키다리병 저항성 유전자가 없는 벼(왼쪽)와 벼키다리병 저항성 유전자를 재조합한 벼(오른쪽)를 비교한 것이다.

3 중합 효소 연쇄 반응과 DNA 지문 검사

유전자 재조합 기술을 이용하여 재조합 DNA를 얻을 때 가장 어려운 일은 원하는 유전자를 분리해 내는 것이다. 세포에 들어 있는 모든 DNA 중에서 특정 DNA만을 다량으로 얻는 가장 빠르고 간편한 방법은 중합 효소 연쇄 반응이다. 중합 효소 연쇄 반응(PCR, polymerase chain reaction)이란 DNA 특정 부위를 반복적으로 복제하여 적은 양의 DNA 시료를 짧은 시간에 다량으로 증폭하는 방법으로 증폭하고 싶은 DNA, 프라이머, DNA 중합 효소, 4종류의 디옥시리보뉴클레오타이드(dNTP)가 필요하다. |그림 VI-8|과 같이 DNA 변성, 프라이머 결합, DNA 합성 단계를 반복하면 원하는 DNA를 증폭할 수 있다.

멀리스(Mullis, K. B., 1944~) | PCR 기술을 발명하여 1993년에 노벨상을 받았다.

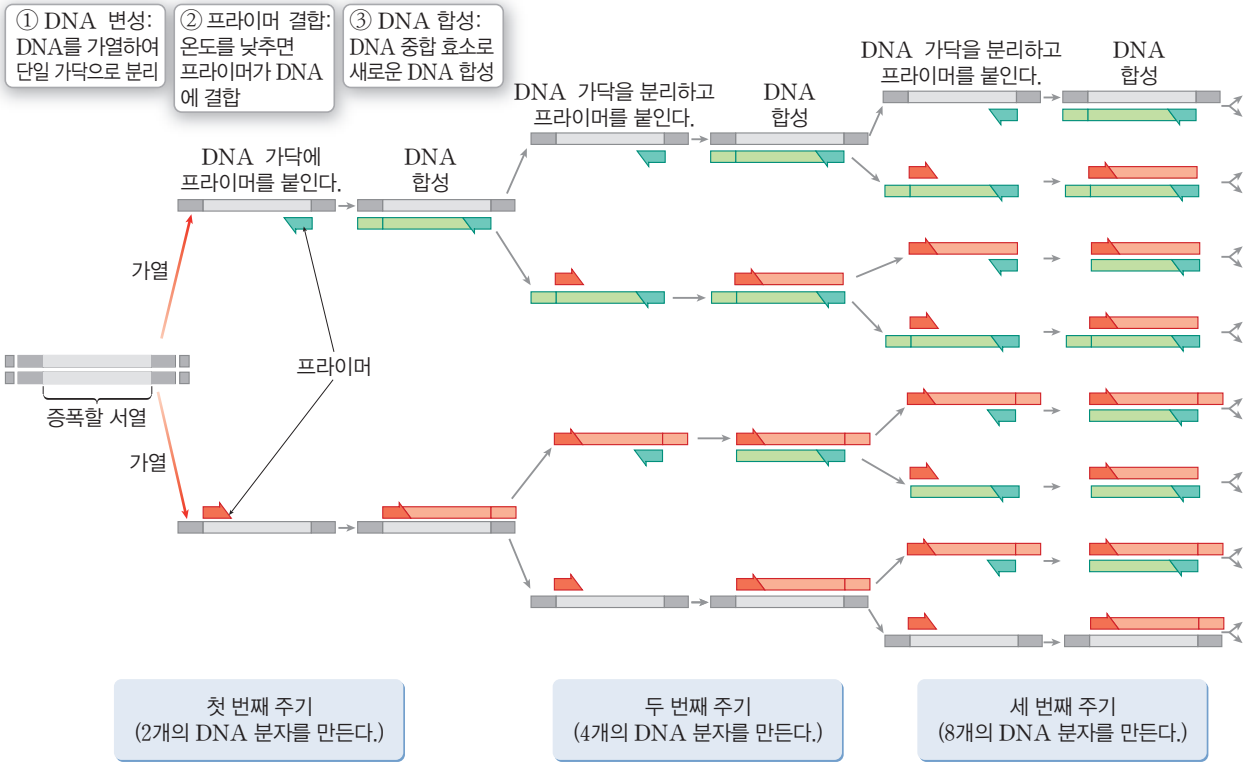


그림 VI-8 중합 효소 연쇄 반응(PCR) 과정 | 한 분자의 DNA를 가지고 PCR를 하면 10번째 주기에 2^{10}개(약 1000개), 30번째 주기에 2^{30}개(약 10억 개)의 DNA 분자가 생성된다.

PCR는 짧은 시간에 적은 양의 DNA를 수십억 배로 증폭할 수 있고, 프라이머가 특정한 DNA 부위에만 결합하므로 여러 종류의 DNA가 섞여 있어도 한 가지 DNA만을 얻을 수 있어서 생명 공학 기술 전반에 걸쳐 폭넓게 이용되고 있다. PCR는 병원체 감염이나 유전자 돌연변이 여부를 진단하는 데도 이용되며 범인을 검거할 때나 혈연관계를 확인할 때, 사망자 신원을 확인할 때도 이용된다. 또한 분류학에서 생물의 유전체를 분석하여 계통을 분류할 때도 이용된다. 그러나 PCR를 하려면 프라이머가 필요하므로 이미 염기 서열이 알려진 DNA만 증폭할 수 있다는 한계가 있다.

프라이머
PCR에서 증폭하고 싶은 DNA의 양쪽 끝과 상보적인 염기 서열을 지니는 짧은 DNA 가닥으로, DNA 합성을 시작하게 한다.

***Taq* DNA 중합 효소**
온천에 사는 호열성 세균인 *Thermus aquaticus*에서 추출한 DNA 중합 효소이다. 95 ℃에서도 효소의 기능을 오랫동안 유지할 수 있어 PCR에 사용된다.

사람 유전체의 염기 서열이 밝혀지고 다양한 질병과 관련된 유전자를 찾아내면서 PCR를 이용한 사람의 유전병 진단이 가능하게 되었다. 현재까지 유전자의 위치와 염기 서열이 밝혀진 유전병으로는 낫 모양 적혈구 빈혈증, 혈우병, 낭성 섬유증, 헌팅턴 무도병 등이 있으며, 이러한 유전병에 걸린 사람은 PCR를 이용하여 증상이 나타나기 전에 유전병 여부를 미리 진단할 수 있다.

PCR를 활용한 또 다른 예로 DNA 지문 검사가 있다. |그림 VI-9|와 같이 사람 유전체에는 특정 염기 서열이 반복적으로 나타나는 부위가 있다. 이러한 반복 서열의 반복 횟수는 사람마다 달라 여러 종류의 반복 서열 DNA를 PCR로 증폭한 뒤 전기영동을 하면 개인마다 다양한 형태가 나타나는데, 이를 DNA 지문이라고 한다.

DNA 전기영동
DNA에는 인산기가 있어 수용액에서 음(−)전하를 띠므로 전기장 속에서 양(+)극으로 이동한다. 길이가 긴 DNA는 길이가 짧은 DNA보다 이동할 때 많은 저항을 받아 이동 속도가 느리므로 DNA 분자를 크기에 따라 분리할 수 있다.

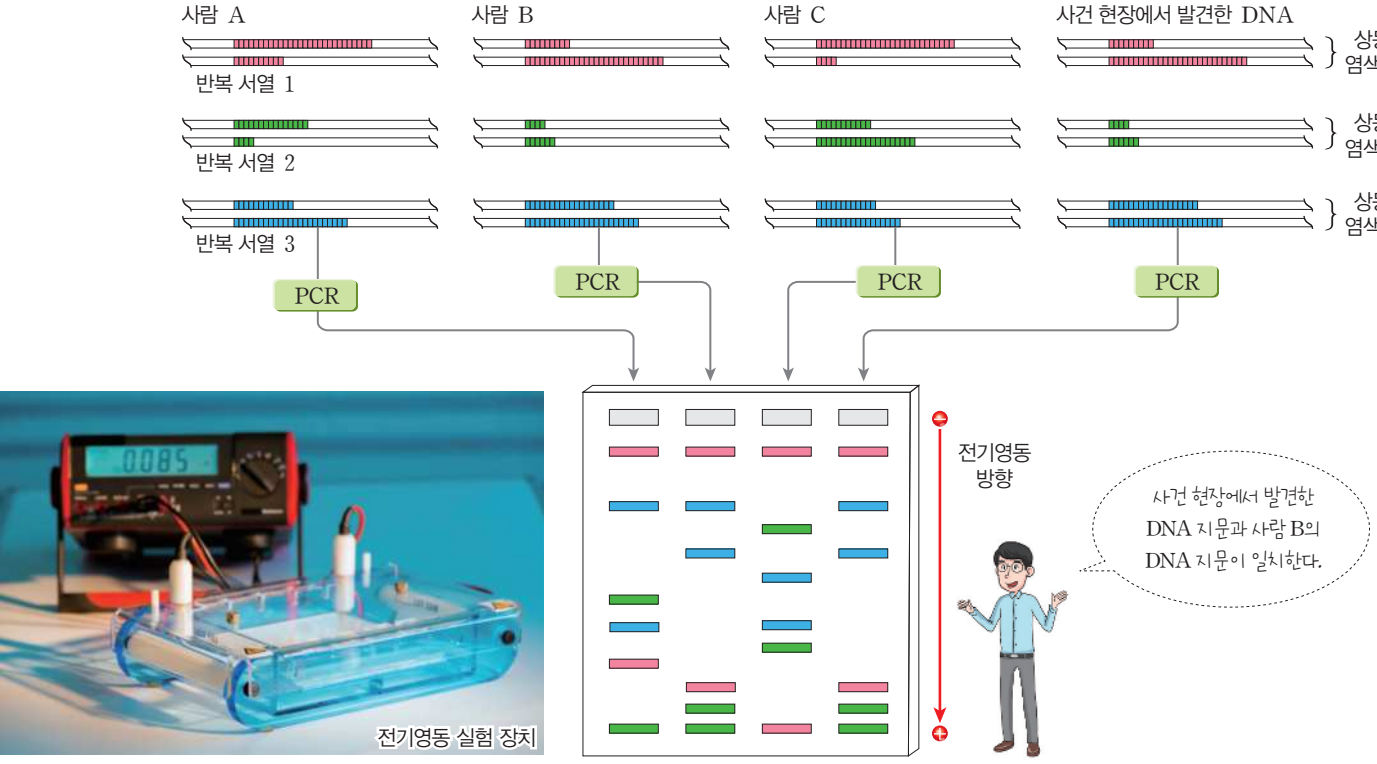


그림 VI-9 DNA 지문 검사 | 반복 서열 DNA를 PCR로 증폭한 뒤 전기영동을 하면 사건 현장에서 발견한 DNA가 누구의 DNA인지 알 수 있다.

창의력 키우기 법의학에서 PCR와 DNA 지문을 어떻게 활용하고 있는지 조사해 보자.

자기 평가하기

1 유전자 재조합 기술의 원리를 그림을 그려서 설명할 수 있는가?
2 유전자 재조합 기술과 PCR의 활용 사례를 설명할 수 있는가?

※ 성취 정도를 ✓ 표시해 보자
1 | 2 | 3 | 4 | 5
1 | 2 | 3 | 4 | 5

02 다양한 생명 공학 기술의 원리와 활용

- 핵치환, 조직 배양, 세포 융합의 원리를 이해할 수 있다.
- 생명 공학 기술을 이용한 난치병의 치료 사례와 전망을 토의할 수 있다.

임신을 확인하는 방법에는 혈액 검사, 초음파 검사 등이 있지만, 임신 진단 키트를 사용하면 수 분 내에 임신 여부를 확인할 수 있다. 임신 진단 키트에는 어떤 물질이 들어 있고, 그 물질은 임신을 진단하는 데 어떻게 이용되는 것일까?

1 세포 융합과 단일 클론 항체

세포 융합 기술이란 서로 다른 두 종류의 세포를 융합하여 두 세포의 형질을 모두 갖는 잡종 세포를 만드는 기술이다. 세포 융합 기술을 이용하면 하나의 항원에만 강하게 반응하는 한 종류의 항체인 단일 클론 항체를 만들 수 있다. 일반적으로 항체를 얻으려면 항원을 동물에게 주입하여 일정 시간이 지난 뒤 동물의 혈청을 얻거나 B 림프구를 분리 배양했다. 그러나 동물의 혈청에서 얻을 수 있는 항체의 양이 적고 여러 종류의 항체가 혼합되어 있으며, B 림프구를 체외에서 배양하는데는 어려움이 있다. 이러한 문제점을 해결하고자 |그림 Ⅵ-10|과 같이 계속 분열하는 특성이 있는 종양 세포와 항체를 생성할 수 있는 B 림프구를 융합하여 계속 분열하면서 한 종류의 항체를 생산하는 잡종 세포를 만들었다. 이 잡종 세포를 분리 배양하면 단일 클론 항체를 얻을 수 있다.

밀스테인(Milstein, C., 1927~2002) | 단일 클론 항체 제조 기술을 발명하여 1984년에 노벨상을 받았다.

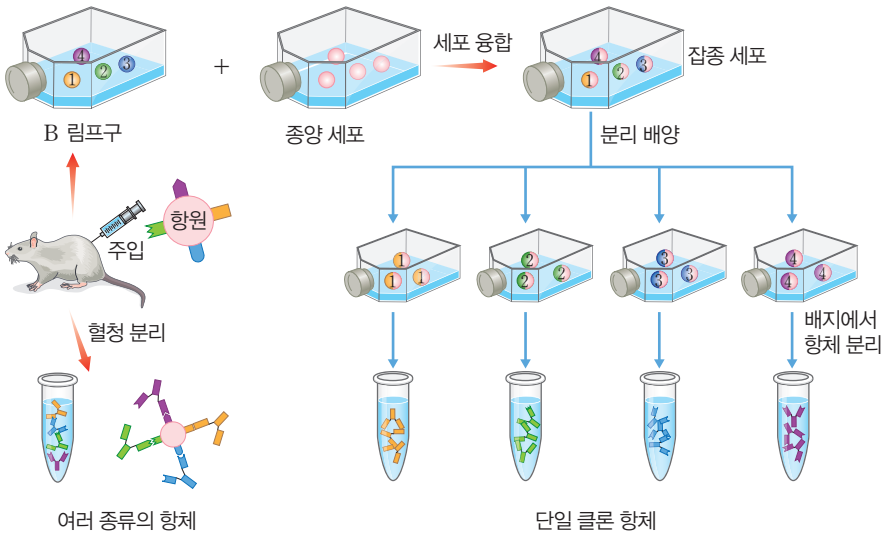


그림 Ⅵ-10 단일 클론 항체 제작 과정

▲ 말라리아 진단 키트

단일 클론 항체를 이용하면 생체 또는 세포에 미량으로 존재하는 물질을 검출할 수 있어 감염성 질병의 진단이나 임신 진단에 이용된다. 예를 들어 말라리아 진단 키트에 말라리아가 의심되는 사람의 혈액을 떨어뜨리면 수 분 내로 말라리아를 진단할 수 있고 |그림 Ⅵ-11|과 같이 임신부의 오줌을 임신 진단 키트에 떨어뜨리면 임신 여부를 쉽게 알 수 있다.

hCG(human Chorionic Gonadotropin)
임신 초기에 태반에서 분비되는 호르몬으로 임신이 유지되도록 한다. hCG는 오줌으로 일부 배출되므로 hCG와 반응하는 단일 클론 항체를 이용하면 임신 여부를 확인할 수 있다.

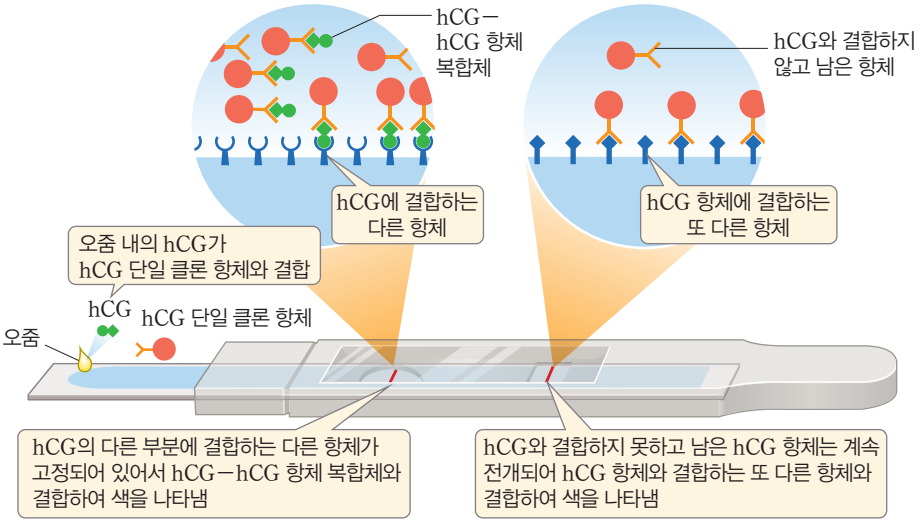


그림 Ⅵ-11 임신 진단 키트의 원리

또한 |그림 Ⅵ-12|와 같이 특정 암세포와 결합하는 단일 클론 항체에 항암제를 결합한 뒤 암 환자에게 투여하면 암세포를 제거할 수 있어 암을 치료하는 데 사용할 수 있다.

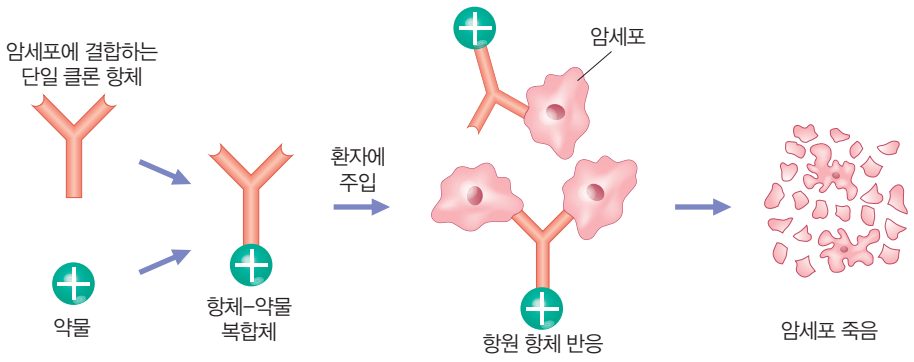


그림 Ⅵ-12 단일 클론 항체를 이용한 암 치료

창의력 키우기 단일 클론 항체를 이용하여 암을 치료하는 방법이 기존의 방사선과 항암제 치료 방법보다 어떤 장점이 있는지 생각해 보고, 전망을 토의해 보자.

최근 치료용 항체 연구 분야가 빠르게 성장하고 있다. 류머티스성 관절염 치료제로 쓰이는 항체를 비롯해 크론병을 치료하는 단일 클론 항체 등의 판매가 승인되었으며, 지금도 다양한 치료용 항체를 개발하는 연구가 계속되고 있다.

2 핵치환과 줄기세포

핵치환 | 핵치환이란 핵을 제거한 세포에 다른 세포의 핵을 이식하는 기술이다. 핵을 제거한 난자에 체세포의 핵을 이식하여 얻은 배아를 대리모에서 발생시키면 체세포를 제공한 개체와 유전적으로 같은 복제 동물을 만들 수 있다. 이 방법으로 1996년에 복제 양 돌리가 탄생하였고 이후 고양이, 돼지, 개, 생쥐, 노새 등 많은 복제 동물이 탄생하였다. 핵치환 기술은 멸종 위기 동물이나 우수한 형질을 가진 동물을 보존하는 데 이용한다.

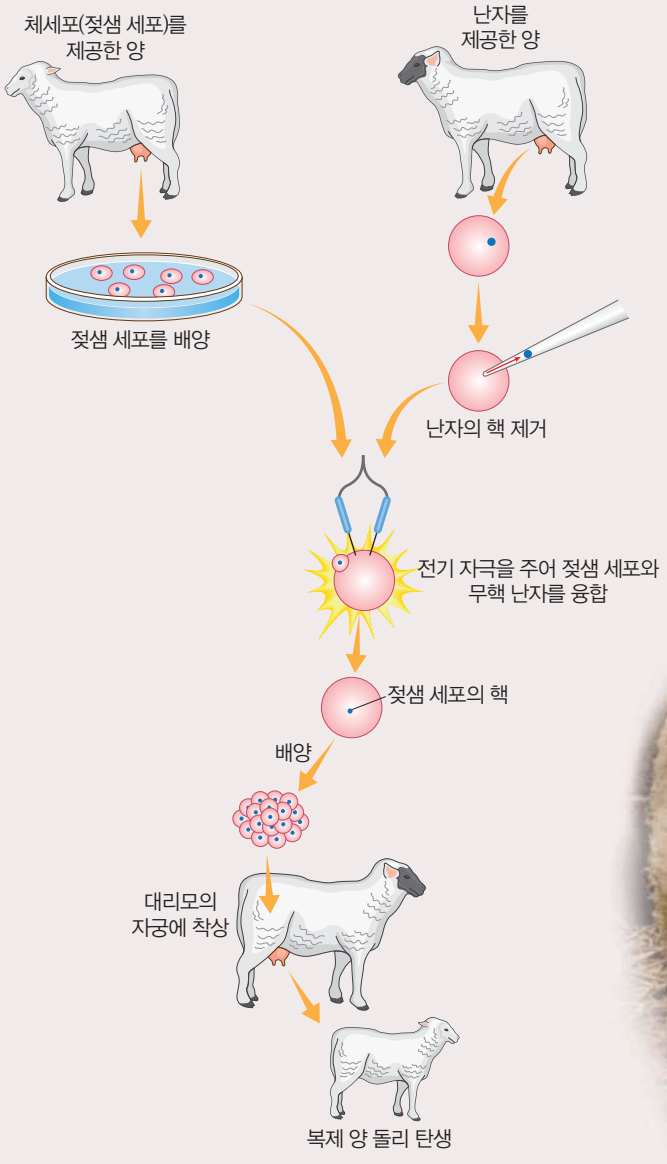


그림 Ⅵ-13 복제 포유동물 돌리 탄생

돌리의 유전체

체세포의 핵을 제공한 6살 암양이 가진 핵의 유전체와 같은 유전체 사본이 있지만 유전적으로 완벽하게 같지는 않다. 미토콘드리아 유전체는 난자에서 유래하기 때문이다.

복제 양 돌리

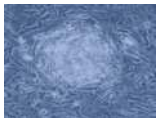
배아 줄기세포

▲ 수정란

▲ 2세포기

▲ 4세포기

▲ 배반포


▲ 배아 줄기세포

줄기세포 | 인체는 200여 종류의 다양한 기능을 하는 세포가 모여 생명 활동을 한다. 줄기세포는 미분화된 세포로 계속 분열할 수 있으며 적절한 환경에서 한 가지 이상의 세포로 분화할 수 있으므로 세포 분화 과정을 연구하는 데 이용된다. 또한 손상되거나 병든 세포를 대체하는 난치병 치료 연구에도 이용되고 있다. 예를 들어 이자 세포에서 인슐린을 만들지 못하는 경우 줄기세포를 이용하여 인슐린을 생성하는 이자 세포를 공급할 수 있고, 파킨슨병이나 헌팅턴 무도병 환자에게 특정 종류의 신경 세포를 공급할 수 있다.

줄기세포는 배아 줄기세포와 성체 줄기세포로 구분된다. 배아 줄기세포는 미분화 상태를 유지하면서 배양 조건에 따라 어떤 종류의 세포로도 분화할 수 있는 줄기세포이다. 배아 줄기세포는 |그림 Ⅵ-14|와 같이 수정란의 분열로 만들어진 배아로부터 얻거나 핵치환 기술로 만들어진 복제 배아로부터 얻을 수 있다. 핵치환 기술로 얻은 배아 줄기세포는 핵을 제공한 공여자와 유전체가 같으므로 이 줄기세포를 분화시켜 얻은 조직이나 기관을 공여자에게 이식하면 면역 거부 반응이 없다. 그러나 배아 줄기세포를 얻으려면 발생하고 있는 배아를 희생시켜야 한다는 점에서 윤리적인 문제가 발생하며, 핵치환 기술을 사람에게 사용하는 것은 인간을 복제할 수 있는 위험성을 가지고 있다.

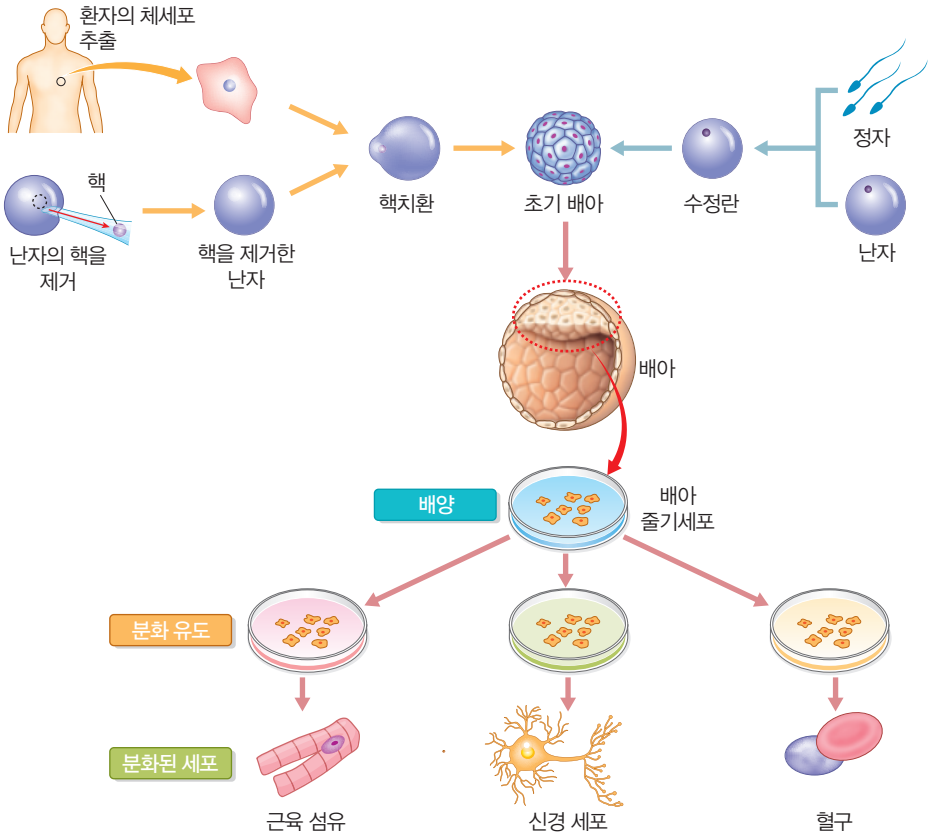


그림 Ⅵ-14 배아 줄기세포 형성과 분화 과정

이와 같이 배아 줄기세포를 이용하는 것은 윤리적인 문제가 있어 성체 줄기세포나 유도 만능 줄기세포를 치료에 사용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 성체 줄기세포는 성체의 지방, 골수, 탯줄 혈액 등 인체의 일부분에 있는 줄기세포로, 필요에 따라 분화된 세포를 만들 수 있지만 분화될 수 있는 세포의 종류가 제한적이다. 성체 줄기세포는 자신의 세포를 사용하므로 윤리적인 문제나 면역 거부 반응 없이 손상된 장기를 재생하거나 질병을 치료하는 데 이용할 수 있다.

유도 만능 줄기세포는 이미 분화가 끝난 체세포를 역분화시켜 배아 줄기세포처럼 다양한 세포로 분화될 수 있도록 되돌려진 세포이다. 예를 들어 |그림 Ⅵ-15|와 같이 환자의 피부 세포를 이용하여 얻은 유도 만능 줄기세포를 신경 세포로 분화시키면 알츠하이머병 등과 같은 난치병을 치료할 수 있을 것으로 기대하고 있다. 이렇게 만들어진 유도 만능 줄기세포는 자신의 세포이므로 면역 거부 반응이 없고 사람의 난자나 배아를 사용하지 않아 배아 줄기세포보다 윤리적인 문제가 적지만 줄기세포를 이용한 치료법의 안전성 문제는 여전히 남아 있다.

거던(Gurdon, J. B., 1933~)(위), 야마나카(Yamanaka, S., 1962~)(아래) | 유도 만능 줄기세포를 개발하여 2012년에 노벨상을 받았다.

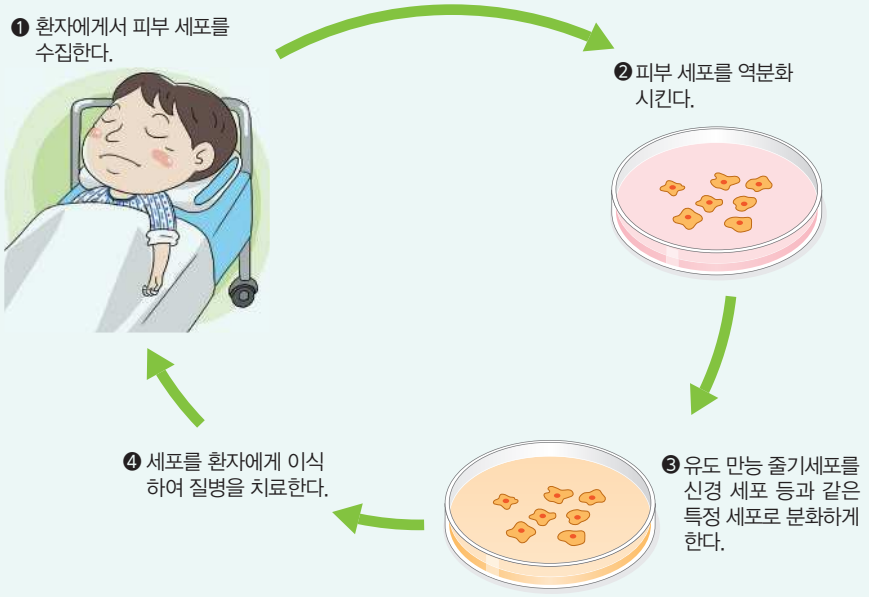


그림 Ⅵ-15 유도 만능 줄기세포를 이용한 치료

최근에는 분화된 세포에서 줄기세포를 만들지 않고 바로 다른 종류의 분화된 세포로 전환하는 기술이 연구 중이다. 이 기술로 인간 피부 섬유 아세포를 신경 세포로 만드는 연구가 진행되고 있으며, 이렇게 만들어진 신경 세포는 신경계 질환을 연구하는 데 이용할 수 있을 것이다.

3 조직 배양

조직 배양 기술은 생물을 구성하고 있는 세포나 조직 일부를 인공적인 환경에서 배양하고 증식시키는 것을 말한다. 조직 배양을 하면 같은 세포를 대량으로 얻어 세포의 기능을 연구하는 데 사용할 수 있고, 세포가 생산하는 물질을 얻어 이를 질병 치료에 사용할 수도 있다. 조직 배양 기술은 연구 중에 세포나 조직을 배양해야 하는 핵치환, 세포 융합, 줄기세포, 형질 전환 생물 생산 등에서도 사용하는 기본적인 기술이다.

식물은 분화된 하나의 체세포로부터 완전한 개체를 만들 수 있는 능력이 있다. 따라서 |그림 Ⅵ-16|과 같이 식물의 기관, 조직 또는 세포를 분리하여 적절한 환경의 인공 배지에서 배양하면 유전적으로 같은 조직이나 복제 식물을 만들 수 있다.

출처: 농촌진흥청, 2016.

▲ 조직 배양 기술로 재배한 감자

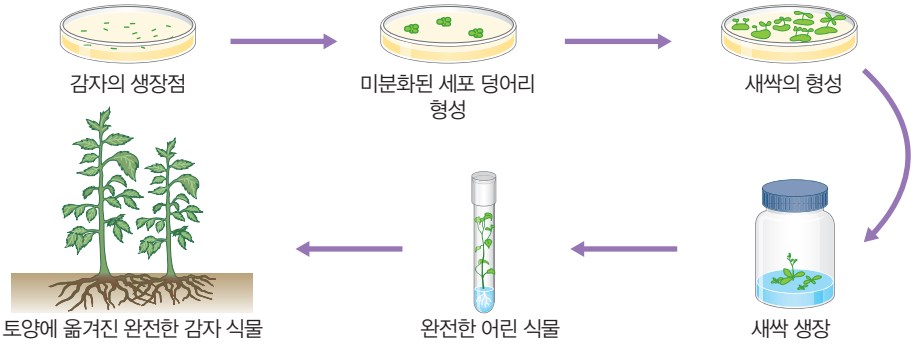


그림 Ⅵ-16 조직 배양으로 식물 복제

이러한 식물 조직 배양은 농업, 원예 분야에서 다양하게 이용하고 있다. 멸종 위기의 식물을 보존하거나 난과 같이 취미로 키우는 식물을 대량으로 생산하는 데 이용하며, 유용한 특성을 가지고 있는 식물을 얻을 때도 이용한다. 예를 들어 딸기 줄기의 생장점을 조직 배양하여 바이러스가 없는 식물체를 얻고, 이를 배양 병에서 꺼내 온실에서 증식한 다음 땅에 심으면 바이러스가 없는 열매를 수확할 수 있다.

출처: 충남농업기술원, 2016.

그림 Ⅵ-17 조직 배양 기술로 재배한 딸기 | 조직 배양은 식물에서 바이러스 감염을 줄이고 생산 시간을 단축해 생산량 증대에 도움을 준다.

탐구 조사 토의

생활 속 생명 공학 기술의 활용 사례 및 영향 조사하기

• **목표**: 난치병 치료에 생명 공학 기술을 적용한 사례를 조사하고, 이러한 치료법의 전망을 설명할 수 있다.

다음은 난치병 환자의 사진이다.

류머티스 관절염

중증복합면역결핍증

근위축성 측삭경화증

활동

1 모둠별로 류머티스 관절염, 중증복합면역결핍증, 근위축성 측삭경화증 중 하나를 선택하여 질병의 증상을 조사한다.

2 모둠별로 선택한 질병의 치료에 단일 클론 항체, 유전자 치료, 줄기세포 등 생명 공학 기술이 적용된 사례를 조사하여 발표해 보자.

정리

❶ 위 치료 방법의 안전성을 토의해 보자.

❷ 만약 자신이 유전병 환자라면 유전자 치료를 받을 것인지 자신의 견해를 발표해 보자.

❸ 위 치료 방법이 우리 생활에 미치는 영향과 난치병 치료의 전망을 토의해 보자.

생각 넓히기

1 자신이 연구원이라면 어떤 신약을 개발하고 싶은지, 어떻게 난치병을 치료할 수 있을지 글과 그림으로 표현해 보자.

2 유전자 치료가 아닌 다른 목적으로 사람의 유전자를 변형시킨다면 어떤 윤리적인 문제가 발생할 수 있을지 생각해 보자.

자기 평가하기

✱ 성취 정도를 ✓ 표시해 보자

1 단일 클론 항체 제작에 사용한 생명 공학 기술의 원리와 활용 사례를 설명할 수 있는가? 1 | 2 | 3 | 4 | 5

2 줄기세포를 난치병 치료에 이용하는 방법을 설명할 수 있는가? 1 | 2 | 3 | 4 | 5

개념 정리하기

핵심 내용 정리하기

1 유전자 재조합 기술

1. 유전자 재조합 기술: 특정 유전자를 분리한 후 다른 DNA와 조합하여 재조합 DNA를 만들어 내는 기술이다.

(1) ❶ _____ : DNA의 특정 염기 서열을 인식하여 자르는 효소

(2) ❷ _____ : 세균과 효모에서 자신의 염색체 외에 추가로 존재하는 원형의 이중 가닥 DNA

2. 유전자 재조합 기술로 유용한 물질을 생산하는 방법

(1) 유용한 물질을 생산하는 유전자가 있는 DNA와 대장균에서 추출한 플라스미드를 같은 제한 효소로 자른다.

(2) DNA 연결 효소를 넣어 유용한 유전자와 플라스미드를 연결하여 재조합 DNA를 만든다.

(3) 재조합 DNA가 들어가 형질 전환된 숙주 세포를 선별한 뒤 배양하여 유용한 물질을 얻는다.

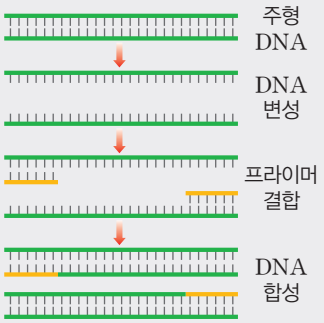
3. 유전자 재조합 기술의 활용: 특정 유전자나 유용한 단백질을 다량으로 얻을 수 있으며, 유용한 유전자를 동식물의 유전체에 집어넣어 형질 전환 생물을 만들 수 있다.

2 중합 효소 연쇄 반응(PCR)

1. PCR 과정

(1) ❸ _____ : 증폭할 이중 나선 DNA를 가열하여 단일 가닥으로 분리한다.

(2) ❹ _____ : 두 단일 가닥에서 증폭할 부분의 3′ 말단 부위에 각각 결합하여 증폭될 염기 서열 구간을 결정한다.



(3) DNA 합성: DNA 중합 효소의 작용으로 프라이머의 3′ 말단 쪽에 새로운 뉴클레오타이드가 결합하면서 새로운 DNA가 합성된다.

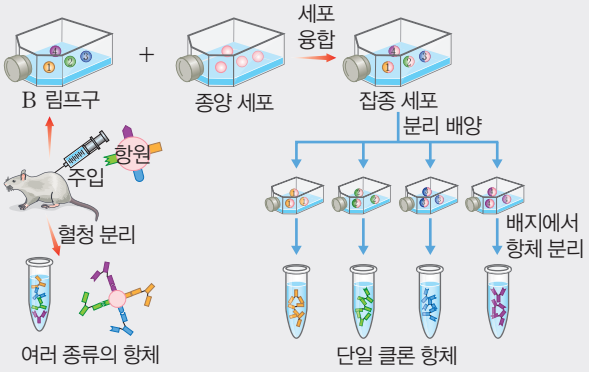
2. PCR 기술의 활용: 유전자를 연구하고 조작하는 대부분의 실험에 이용되며, 병원체 감염과 유전병 진단, 범인 판별이나 친자 확인을 할 때도 이용된다.

3 세포 융합 기술

1. 세포 융합 기술: 서로 다른 두 종류의 세포를 융합시켜 두 세포의 형질을 모두 갖는 잡종 세포를 만드는 기술이다.

2. ❺ _____ : 하나의 항원에만 반응하는 한 종류의 항체

3. 단일 클론 항체 제작 과정



4. 단일 클론 항체의 활용: 특정한 물질에 결합하는 능력을 이용하여 질병 진단, 임신 진단 등에 활용된다.

4 핵치환과 줄기세포

1. 핵치환: 핵을 제거한 세포에 다른 세포의 핵을 이식하는 기술이다.

2. 줄기세포: 계속 분열하면서 한 가지 이상의 세포로 분화할 수 있는 세포

(1) ❻ _____ : 수정란에서 유래하거나 핵치환 기술로 만든 줄기세포로, 모든 세포로 분화할 수 있다.

(2) 성체 줄기세포: 성체의 지방, 골수, 탯줄 혈액 등에 있는 줄기세포로, 분화할 수 있는 세포의 종류가 제한적이다.

(3) 유도 만능 줄기세포: 분화가 끝난 체세포에 역분화를 유도하는 인자를 삽입하여 얻은 줄기세포이다.

5 조직 배양

1. 조직 배양: 생물을 구성하고 있는 세포나 조직 일부를 인공적인 환경에서 배양하고 증식시키는 기술

2. 조직 배양 기술의 활용: 같은 식물 개체를 대량 생산하거나 세포나 조직을 배양해야 하는 실험에서 활용되고 있다.

정답 | ❶ 제한 효소 ❷ 플라스미드 ❸ DNA 변성 ❹ 프라이머 결합 ❺ 단일 클론 항체 ❻ 배아 줄기세포

개념 확인하기

1 생명 공학 기술과 각 기술의 설명으로 옳은 것끼리 연결하시오.

(1) 유전자 재조합 •
(2) 세포 융합 •
(3) 핵치환 •
(4) 조직 배양 •

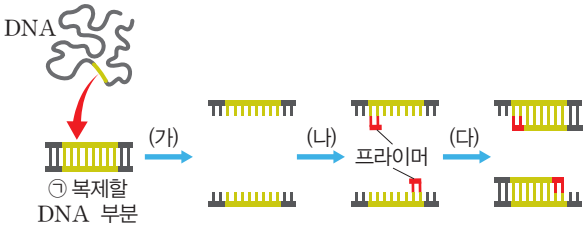
• ㉠ 생물을 구성하고 있는 세포나 조직 일부를 인공적인 환경에서 배양하고 증식시키는 기술
• ㉡ 서로 다른 두 종류의 세포를 융합시켜 두 세포의 형질을 모두 갖는 잡종 세포를 만드는 기술
• ㉢ 핵을 제거한 세포에 다른 세포의 핵을 이식하는 기술
• ㉣ 특정 유전자를 분리한 후 다른 DNA와 조합하여 재조합 DNA를 만들어내는 기술

2 생명 공학 기술에 관한 설명으로 옳은 것은 ○, 옳지 <u>않은</u> 것은 ×표를 하시오.

(1) 유전자 재조합 기술을 사용하여 형질 전환 생물을 만들 수 있다. ····· ( )
(2) 단일 클론 항체는 질병 진단 키트나 임신 진단 키트에 사용된다. ····· ( )
(3) 핵치환 기술로 복제된 동물의 핵 DNA는 난자를 제공한 동물의 핵 DNA와 같다. ····· ( )
(4) 수정란으로부터 얻은 배아 줄기세포는 환자에게 이식하였을 때 면역 거부 반응이 없다. ·· ( )
(5) 조직 배양 기술을 사용하여 같은 식물 개체를 다량으로 얻을 수 있다. ····· ( )

개념 응용하기

1 그림은 중합 효소 연쇄 반응(PCR)을 이용하여 DNA를 증폭시키는 과정을 나타낸 것이다.

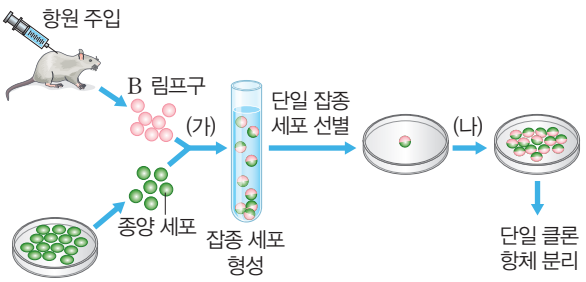


(1) (가)~(다)의 각 과정에서 일어나는 반응을 쓰시오.

(2) (가)~(다) 중 반응 온도가 가장 높은 과정을 쓰시오.

(3) (가)~(다)를 10회 반복하면 ㉠의 양은 몇 배로 증가하는가?

2 그림은 단일 클론 항체 제작 과정을 나타낸 것이다.



(1) (가)와 (나) 과정에서 사용한 생명 공학 기술을 쓰시오.

(2) 잡종 세포는 어떤 특징이 있는지 서술하시오.

생명 공학 기술과 생명 윤리

01. 생명 공학 기술의 전망
02. 생명 공학 기술과 생명 윤리

이 단원의 학습 목표

생명 공학 기술이 우리 생활과 밀접하게 관련되어 있음을 이해하고, 생명 공학 기술의 발달 과정에서 나타나는 생태학적, 윤리적, 법적, 사회적 문제점과 미래 사회에 미칠 영향을 예측하여 발표할 수 있다.

자기 점검 – 알고 있는 용어에 표시해 보자.

유전자 재조합 ☐	제한 효소 ☐	중합 효소 연쇄 반응 ☐	플라스미드 ☐
핵치환 ☐	단일 클론 항체 ☐	조직 배양 ☐	줄기세포 ☐

▶ 표시하지 못한 용어는 생명 과학 II '생명 공학 기술의 원리와 활용'에서 확인해 보자.

학습 계획 세우기 – 학습 목표를 달성하기 위해 어떤 준비를 할 수 있을지 써 보자.

예 LMO의 예를 검색해 보고 유전자 재조합 기술을 복습한다.

01 생명 공학 기술의 전망

- 생명 공학 기술이 적용된 사례를 조사하여 발표할 수 있다.
- 생명 공학 기술의 전망에 관해 생각하고 토론할 수 있다.

2016년에 미국에서 유전자 가위 기술을 활용하여 뿔 없는 젖소를 만들었다. 그동안 젖소의 뿔이 다른 소에게 상처를 입히기도 하고 때로는 사람에게도 위험할 때가 있어 젖소의 뿔을 제거하려고 많은 노력을 기울여 왔던 축산인들에게는 기쁜 소식이다. 앞으로 생명 공학 기술은 의료, 농업, 환경 분야에서 어떻게 활용될 수 있을까?

생명 공학 기술은 |그림 Ⅵ-18|과 같이 의약품 생산, 농축산물 개발, 산업 바이오, 환경 정화, 법의학 등 다양한 분야에서 활용되고 있으며 노화, 질병, 식량 문제, 환경 문제 등을 해결하는 데 큰 도움을 줄 것이라고 기대하고 있다. 생명 공학 기술의 전망을 살펴보자.

DNA 마이크로어레이
여러 종류의 DNA를 특수한 슬라이드 위에 부착시켜 놓은 것으로, 한 번에 여러 유전자의 발현 양상을 조사할 수 있어 질병 연구나 유전자 분석 등에 유용하게 이용된다.

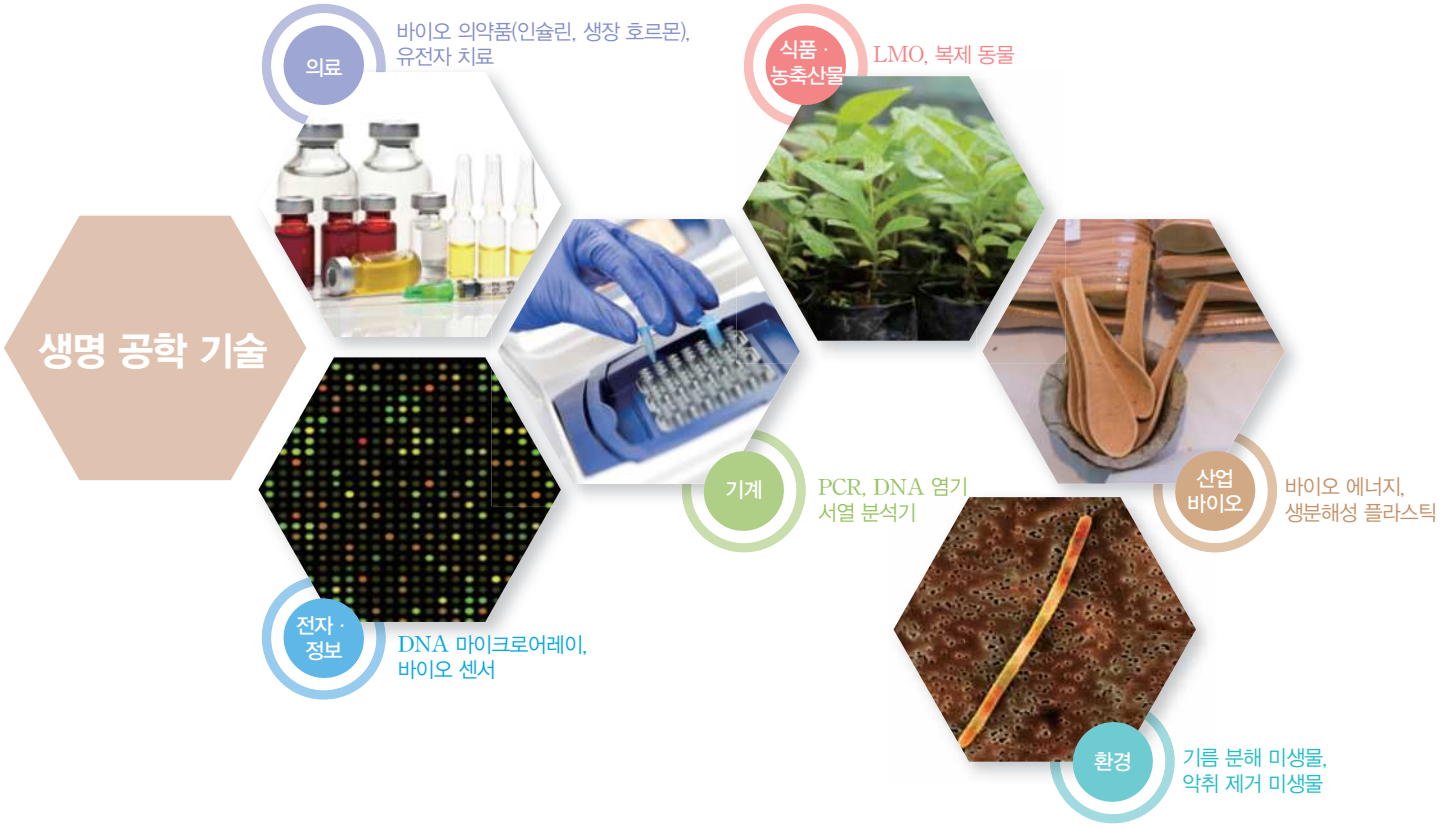


그림 Ⅵ-18 생명 공학 기술의 활용 분야 | 생명 공학 기술은 바이오 의약품, 바이오 센서, LMO, PCR, 바이오 에너지 등 다양한 분야에 활용되고 있다.

1 의학 분야

생명 공학 기술의 최대 활용 분야는 단연 의학 분야이다. 생명 공학 기술의 발달은 새로운 의약품 개발과 질병의 진단, 치료, 예방에 크게 이바지하고 있다. 사람 유전체 사업을 완성한 뒤 많은 질병 유전자가 밝혀졌으며, 이를 이용하여 질병을 진단하고 치료할 수 있는 생명 공학 기술을 개발하고 있다.

유전자 치료란 |그림 VI-19|와 같이 유전자에 결함이 있는 유전병 환자에게 정상 유전자를 넣어 치료하는 방법이다. 유전자 치료는 1990년에 최초로 시도한 뒤 성공할 때도 있었지만 실패할 때도 있었다. 유전자 치료가 안전한 치료법이 되려면 유전자를 운반할 때 주로 사용하는 바이러스가 환자의 몸에서 부작용을 일으키지 않는 방법을 찾아야 하는 등 기술적으로 해결해야 할 과제가 남아있다.

유전자 치료
사람에게 적용한 유전자 치료는 체세포를 대상으로 시도된다. 정상 유전자를 조직의 체세포 안으로 도입하면 정상적인 단백질이 만들어지면서 질병의 증상이 줄어들거나 없어질 수 있다. 하지만 여전히 그 병에 관한 유전자를 가지고 있어 자손에게 물려줄 확률은 같다.

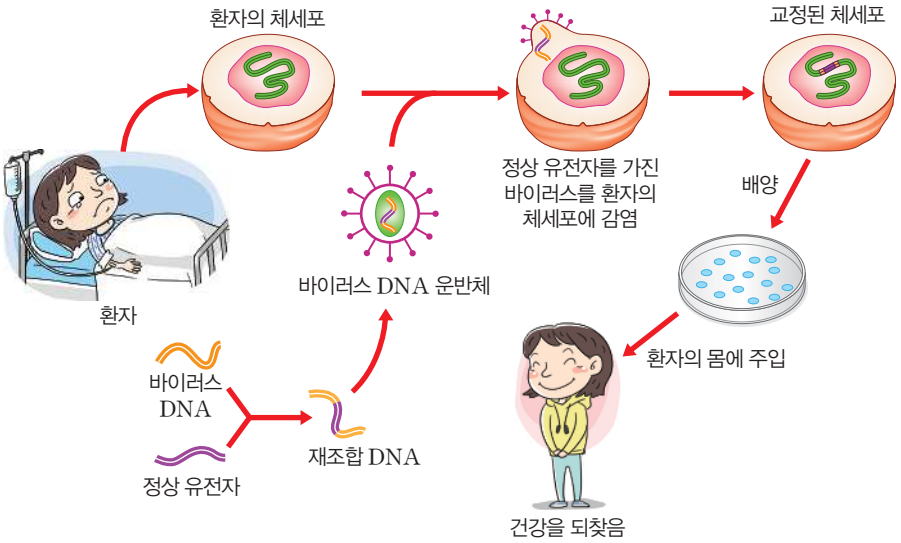


그림 VI-19 유전자 치료 방법

최근에는 유전자를 쉽게 교정할 수 있는 유전자 가위를 이용하여 질병 관련 유전자를 제거하거나 교정하는 치료법을 개발하고 있다. 하지만 유전자 가위를 사용한 무분별한 유전자 조작은 윤리적으로 문제가 될 수 있는 만큼 충분한 사회적 합의가 이루어져야 한다.

유전자 가위
생물의 유전자에 결합해 유전자를 교정하는 기술로, 현재 많이 사용하고 있는 크리스퍼 유전자 가위는 DNA의 특정 염기 서열을 인식하는 RNA와 그 부위를 자르는 단백질로 구성된다. 기존의 유전자 재조합 기술보다 단순하면서도 빠르게 유전자를 교정할 수 있어 난치병 치료, 농축산물의 품종 개량 연구에 많이 사용하고 있다.

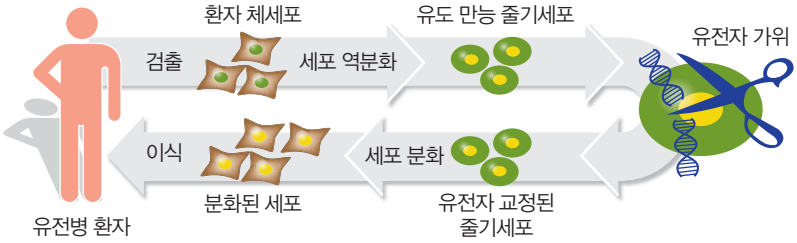


그림 VI-20 유전자 가위를 이용한 유전체 교정의 예

의학 분야에서 생명 공학 기술을 활용한 또 다른 연구로는 재조합 백신이 있다. 예를 들어 초기에 개발된 B형 간염 백신은 환자의 혈장에서 B형 간염 바이러스의 표면 항원을 분리하여 만들었다. 현재는 유전자 재조합 기술로 효모 유전자에 바이러스 유전자 일부를 삽입하여 합성된 바이러스의 표면 항원으로 백신을 만든다. 재조합 B형 간염 백신의 개발로 백신 공급이 원활하게 되어 가격도 낮아졌다.

심장이나 콩팥, 간의 기능이 손상된 환자를 치료하는 효과적인 방법은 건강한 장기를 이식하는 것이다. 하지만 건강한 사람의 장기를 구하는 것은 쉽지 않으므로 사람에게 건강한 장기를 제공해 줄 수 있는 장기 제공용 동물을 생산하는 연구가 이루어지고 있다. 장기 제공용 동물로는 사람과 장기의 크기가 비슷한 돼지가 주목받고 있다. 그러나 돼지의 장기를 사람 몸에 이식하였을 때 면역 거부 반응이 일어날 수 있고 돼지에 존재하는 바이러스가 사람에게 감염되는 등 예상치 못했던 문제가 일어날 수 있다는 우려가 있다.

그림 Ⅵ-21 장기 제공용 복제 돼지

2 농업, 축산업 분야

의학 분야와 더불어 생명 공학 기술이 많이 활용되는 분야는 농업과 축산업 분야이다. 더 좋은 털을 갖는 양, 더 부드러운 육질의 돼지, 맛이 좋은 벼, 병에 저항성이 큰 농작물 등을 얻으려고 선별 교배를 하거나 인위적으로 돌연변이를 일으켜 우수한 형질을 갖는 개체를 얻는 등의 노력은 오래전부터 이루어져 왔다. 그러나 이런 방법은 원하는 형질을 얻는 데 시간이 오래 걸린다는 단점이 있다. 제한 효소를 사용한 유전자 재조합 기술은 이러한 전통적인 육종 방법보다 품종을 개량하는 데 걸리는 시간을 단축했으며 앞으로는 유전자 가위 기술을 사용하여 유전자를 더 빠르고 정확하게 교정할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

출처: IBS, 2015.

그림 Ⅵ-22 유전자 가위로 생장, 발달 조절에 관여하는 유전자를 교정한 상추

3 법의학 분야

범죄 현장이나 피해자와 가해자의 옷, 소지품 등의 증거물에서 범인의 혈액, 정액, 조직을 얻을 수 있다면 PCR 기술과 DNA 지문 검사로 범인을 검거하거나 무죄를 증명할 수 있다. 적은 양의 DNA라도 PCR 기술로 증폭할 수 있으므로 생명 공학 기술은 법의학 분야에 매우 유용하다. 이러한 기술은 재난 현장에서 사람의 신원을 밝히는 데도 사용하고 있다. 생명 공학 기술이 발달함에 따라 이런 일들은 더욱 빠르고 정확하게 이루어질 것이다.

그림 Ⅵ-23 증거물에서 혈액을 얻는 모습

▲ 원유를 분해하는 세균

4 환경 분야

자연적으로 썩지 않는 쓰레기와 바다에 유출된 원유 등은 심각한 환경 오염을 일으킨다. 미생물은 다양한 생화학적 경로를 가지고 있어 일부 세균은 생활 쓰레기, 종이 제품, 가정용 세제, 유기 용매 등을 분해하거나 유출된 기름을 정화할 수 있다. 이러한 생물의 환경 정화 능력을 생명 공학 기술로 강화해 환경 오염을 극복하려는 노력이 이루어지고 있다. 예를 들어 중금속을 흡수하는 형질 전환 식물, 여러 물질을 함께 분해할 수 있는 형질 전환 생물 등이 있다.

5 산업 분야

다양한 산업 분야에서 생명 공학 기술을 활용하고 있다. 대표적인 예로 |그림 Ⅵ-24|와 같이 미생물이나 동식물과 같은 생명체, 폐식용유, 음식물 쓰레기와 같은 유기 폐기물을 이용하여 바이오 에탄올, 바이오 디젤, 바이오 가스 등의 에너지를 얻는 바이오 에너지가 있다. 바이오 에너지는 고갈되어 가는 화석 연료를 대체할 수 있고 친환경적이라는 장점이 있지만 바이오 에너지 원료 중 하나인 식물을 재배하는 데 넓은 면적의 땅이 필요하므로 과다하게 사용할 경우 생태계가 파괴될 수 있다.

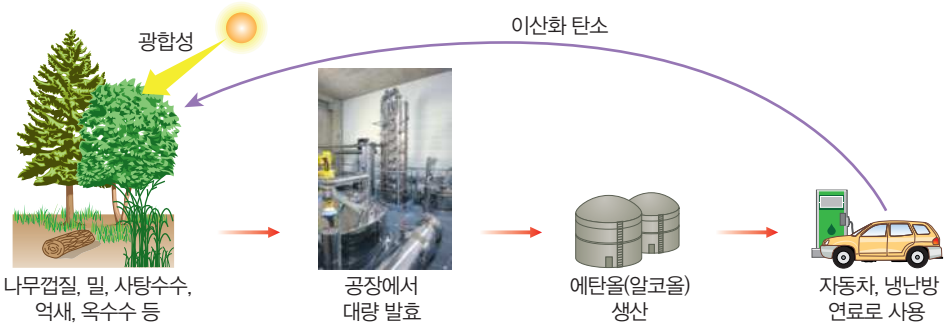


그림 Ⅵ-24 바이오 에너지 생산 과정

◀ 바위에 붙어 있는 홍합

또한 과학자들은 파도에도 끄떡없이 바위에 붙어 있도록 하는 홍합의 발에 있는 천연 단백질을 연구하고 있다. 이 천연 단백질은 접착력이 강해 여러 가지 표면에 잘 붙을 수 있고 젖은 상태에서도 접착력을 유지하는 장점이 있어 구강 치료나 장기 수술에 매우 유용하게 사용할 수 있다.

자기 평가하기

1 생명 공학 기술의 전망을 예를 들어 설명할 수 있는가?
2 유전자 가위 기술의 활용 사례를 조사하여 발표할 수 있는가?

✱ 성취 정도를 ✓ 표시해 보자

1	2	3	4	5
1	2	3	4	5

02 생명 공학 기술과 생명 윤리

- LMO가 인간 생활과 생태계에 미치는 영향을 조사하고 토론할 수 있다.
- 생명 공학 기술의 발달 과정에서 나타나는 문제점을 이해하고, 미래 사회에 미칠 영향을 예측하여 발표할 수 있다.

생명 공학 기술의 발달은 의학, 농업 그리고 환경 분야에 큰 영향을 주고 있다. 그러나 생명 공학 기술이 빠르게 발달함에 따라 윤리와 안전성에 관한 관심도 높아지고 있다. 생명 공학 기술의 발달은 미래 사회에 어떤 영향을 미칠까?

1 유전자 변형 생명체

유전자 변형 생명체(LMO, Living Modified Organisms)는 유전자 재조합 기술을 이용하여 유전자를 변형시킨 살아 있는 생명체를 말한다. 유전자 재조합 기술을 이용하여 생산성이 높은 작물이나 가축, 특정 영양소를 많이 함유한 생물을 만들면 농업과 축산업에서 많은 이익을 얻을 수 있어 LMO의 재배량은 전 세계적으로 급속하게 증가하고 있다. 그러나 LMO를 재배할 때 생태계에 영향을 줄 수 있고, 섭취하였을 때 건강에 영향을 미칠 수 있다는 우려가 있다.

GMO(Genetically Modified Organisms)
유전자를 변형시킨 생명체로, 살아 있는 것뿐만 아니라 살아 있지 않은 것도 포함한다.

그림 VI-25 LMO 작물로부터 얻은 다양한 식품

탐구 조사 토론

우리 생활 속의 LMO가 미치는 영향을 조사하여 발표하기

• **목표**: LMO가 인간 생활과 생태계에 미치는 영향을 조사하고 발표할 수 있다.

활동

1 생명 공학 기술이 발달함에 따라 LMO의 종류는 점점 많아지고 있으며, LMO를 가공하여 판매하는 식품 또한 많아지고 있다. LMO의 종류를 찾아보고, 이를 가공한 식품을 조사해 보자.

2 다음은 LMO의 영향과 안전성을 다양한 시각에서 바라본 내용이다. 내용을 읽고 LMO 개발 및 재배에 관한 자신의 견해를 정해 보자.

클릭! **찾아보기**

식품안전정보포털
http://www.foodsafetykorea.go.kr
사이언스올
http://www.scienceall.com
바이오스쿨
http://edu.kribb.re.kr

3 자신과 같은 견해를 가진 친구들과 함께 주장을 뒷받침할 수 있는 자료를 조사하고 발표해 보자.

4 다른 견해를 가진 친구들의 주장을 들으며 LMO의 긍정적인 영향과 부정적인 영향을 토의해 보자.

정리

❶ 조사한 LMO의 종류와 가공식품을 발표해 보자.

❷ 우리 생활 속의 LMO가 인간 생활과 생태계에 미치는 영향에 관한 다양한 견해를 정리해 보자.

생각 넓히기 우리나라의 LMO 가공식품 표시 방법에 관한 법령을 찾아보고, LMO 가공식품 표시에 관한 자신의 생각을 적어 보자.

2 생명 공학 기술의 발달과 사회적 책임

생명 공학 기술의 발달은 인류가 당면한 식량 문제, 환경 오염 문제, 난치병, 노화 문제를 해결할 수 있는 획기적인 방법으로 주목받고 있으며 새롭게 쏟아져 나오는 신약들은 경제적으로도 큰 역할을 하고 있다.

동물 복제 기술은 우수한 형질을 가진 동물을 대량 생산하거나 멸종 위기의 종을 보존하는 데 유용하다. 그러나 동물 복제는 성공률이 낮아서 수많은 수정란과 배아가 동물 복제에 희생되고 있으며, 동물 복제가 인간 복제로 이어질 가능성이 있다.

▲ 체세포를 제공한 개(왼쪽)와 복제 개 스너피(오른쪽)

과거에는 유전자 하나를 바꾸는 데 수개월에서 수년씩 걸렸다. 그러나 유전자 가위를 이용한 유전체 편집은 빨리 여러 유전자를 함께 교정할 수 있으며 적용하는 범위도 넓어지고 있어 난치병 치료에 큰 잠재력을 가지고 있다. 그러나 유전자를 교정하는 기술을 유전자 치료가 아닌 정자, 난자의 DNA를 바꾸는 데 사용하여 원하는 유전자를 가진 유전자 변형 아기를 만들 가능성도 있어 우려하는 목소리도 높다.

최근 영국 정부는 인간 배아가 발생하는 데 필요한 유전자가 무엇인지 이해하려고 유전자 가위 기술을 이용하여 초기 배아를 대상으로 연구하는 것을 허가했다. 이 연구로 체외 수정 시 자주 발생하고 있는 문제점을 밝힘으로써 많은 생명을 살려낼 수 있을 것이라고 기대하는 반면, 인간을 대상으로 유전자 가위 기술을 적용하는 것을 허가한 것이므로 유전자 변형 아기의 합법화로 이어질 수 있는 길을 향한 첫걸음이 되지 않을까 걱정하는 시선도 있다.

생명 공학 기술의 발달은 무한한 잠재력이 있으며 앞으로 국가 경쟁력을 결정할 중요한 분야이다. 그러므로 생명 공학 기술의 연구 개발 과정에서는 제도적인 장치뿐만 아니라 모든 생명은 존엄하다는 인식에 따라 윤리적 책임감을 느끼고 신중하게 연구해야 하며, 발생할 수 있는 문제점에 관해 사회적 합의로 해결책을 찾아야 한다. 따라서 생명 공학 기술의 긍정적인 영향과 더불어 생명 공학 기술의 발달 과정에서 나타나는 생태학적, 윤리적, 법적, 사회적 문제점을 올바르게 이해해야 하며 생명 공학 기술을 악용하진 않는지 주시해야 한다.

생명 윤리법

생명 윤리 및 안전을 확보해 생명 공학 기술이 인간의 존엄과 가치를 침해하거나 인체에 해를 끼치는 것을 막고 인간의 질병 예방 및 치료 등에 이용될 수 있도록 한 법이다. 이 법에는 배아 연구 기관, 유전자은행, 유전자 치료 기관 등에 생명윤리심의위원회를 두며 인간을 복제하려고 체세포 복제 배아를 자궁에 착상, 유지, 출산하는 행위를 금지하는 내용 등을 담고 있다.

탐구 조사·토론

생명 윤리 쟁점을 토론하고 의사 결정하기

• **목표**: 생명 공학의 발달 과정에서 나타날 수 있는 생명 윤리 쟁점을 발표할 수 있다.

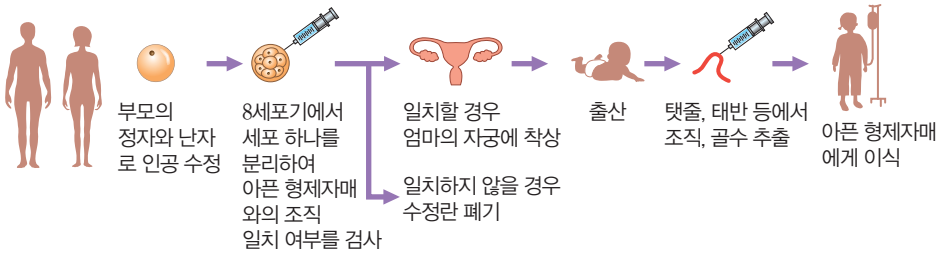
맞춤 아기
인공적으로 수정한 배아 중 유전자 검사로 질병 유전자가 없고 특정한 유전 형질이 있는 정상적인 배아를 골라 탄생시킨 아기

자료 1 다음은 맞춤 아기를 주제로 한 영화의 내용이다.

맞춤 아기 입장 나는 언니의 병을 치료하려고 태어났다. 지금까지 내 의지와 상관없이 언니에게 탯줄 혈액, 백혈구, 줄기세포, 골수를 주었다. 언니가 아니었으면 나는 태어나지 못했을 것이다. 그러나 나의 삶은 나의 것이다. 이젠 내 몸의 권리를 찾고 싶다.

부모 입장 백혈병에 걸린 딸을 살리려고 골수를 기증해 줄 수 있는 맞춤 아기를 낳았다. 누군가는 우리 부부를 비난하겠지만, 우리에게 선택의 여지란 없었다.

자료 2 맞춤 아기가 탄생하는 과정



정리

❶ 난치병 자녀를 가진 부모, 난치병 환자, 맞춤 아기로 태어난 형제자매의 역할 중 하나를 선택하여 맞춤 아기 연구에 관한 찬성과 반대 견해 중 자신의 견해를 정해 발표해 보자.

찬성	반대

생각 넓히기 생명 공학 기술의 발달이 미래 사회에 미칠 영향을 발표해 보자.

자기 평가하기

✱ 성취 정도를 ✓ 표시해 보자

1 LMO의 긍정적인 영향과 부정적인 영향을 사례를 들어 설명할 수 있는가? 1 2 3 4 5

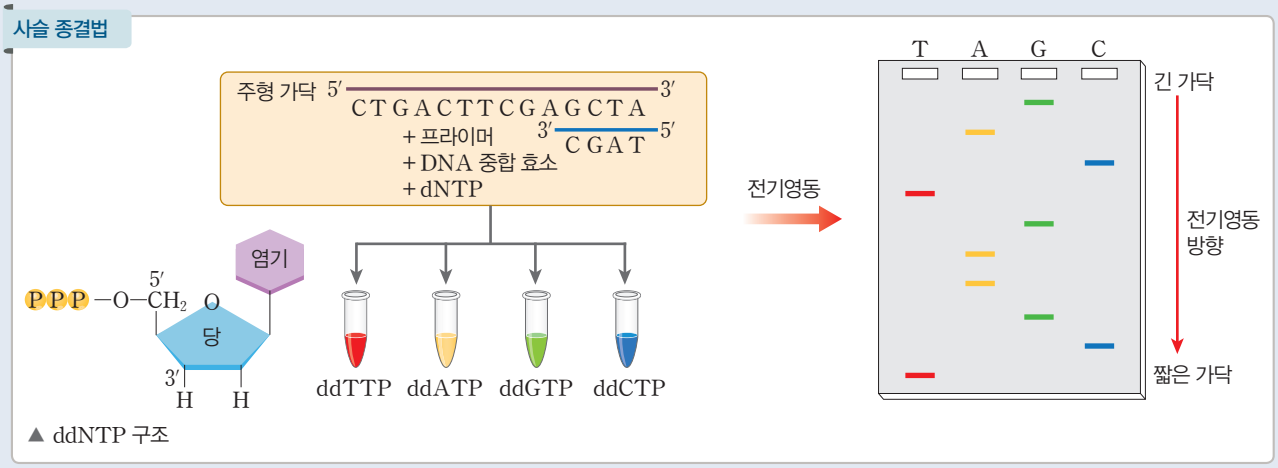
2 생명 공학 기술이 미래 사회에 미칠 영향을 설명할 수 있는가? 1 2 3 4 5

읽고 하기 생각

DNA 염기 서열 분석법

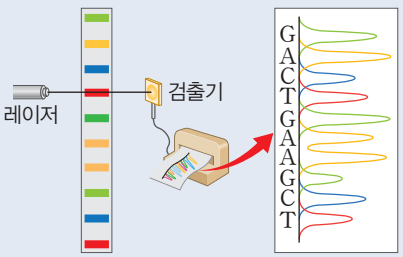
생명 공학의 모든 연구는 유전자의 분리로부터 시작되며 유전자 분석의 가장 중요한 단계는 염기 서열의 결정이다.

생어(Sanger, F., 1918~2013)는 4종류의 디디옥시리보뉴클레오타이드(ddNTP)를 이용하여 DNA 사슬을 종결시켜 염기 서열을 알아내는 방법을 개발하였다. 튜브에 주형 DNA, 프라이머, DNA 중합 효소, 충분한 dTTP, dCTP, dGTP를 넣고 dATP와 ddATP를 적절한 비율로 넣으면 부분적으로 A 위치에서 종결이 일어나서 다양한 길이의 DNA 조각들이 만들어진다. 다른 튜브에는 ddTTP, ddCTP, ddGTP를 같은 원리로 넣어 주면 T, C, G 위치에서 잘린 다양한 길이의 DNA 조각들이 만들어진다. 이 사슬을 4개의 홈에 각각 넣고 전기영동을 하여 젤 상에서 제일 크기가 작은 밴드부터 읽어 나가면 주형 DNA에 상보적으로 합성되는 DNA 염기 서열을 알 수 있다.



▲ ddNTP 구조

DNA 염기 서열 분석법은 사슬 종결법을 이용한 것으로 형광 물질로 표지된 ddNTP를 사용한다는 점이 다르다. 합성된 다양한 길이의 DNA를 전기영동을 한 다음 형광색을 젤 상에서 직접 레이저 스캐너로 분석한 결과가 컴퓨터에 자동으로 입력되므로 염기 서열을 분석하는 시간을 단축하고 판독 오류를 줄일 수 있게 되었다. 이로써 염기 서열 결정이 쉽게 이루어지게 되었다.



▲ DNA 염기 서열 분석법

DNA 염기 서열 분석법은 계속 발전하고 있으며 오늘날에는 사슬 종결법을 바탕으로 하지 않고 유전체를 수많은 조각으로 나눈 뒤 각각의 염기 서열을 동시에 읽어 얻은 데이터를 생물 정보학적 기법을 이용하여 조합함으로써 방대한 유전체 정보를 빠르게 해독하고 있다.

생각해 보기

1 ddNTP를 사용하면 DNA 사슬 합성이 종결되는 까닭을 생각해 보자.

2 DNA 염기 서열 분석법이 활용되는 사례를 조사해 보자.

개념 정리하기

핵심 내용 정리하기

1 생명 공학 기술의 전망

1. 의학 분야

(1) 질병 관련 유전자를 찾고 새로운 의약품이나 질병 치료 방법을 개발할 수 있다.

(2) 진단 키트를 사용하거나 ❶ _____ 과 DNA 염기 서열 분석법으로 질병을 빠르게 진단할 수 있다.

(3) 사람의 체내에서 소량 만들어지는 유용한 물질을 유전자 재조합 기술을 이용하여 미생물이나 동식물에서 대량 생산할 수 있다.

(4) 유전자 치료, 줄기세포, 단일 클론 항체를 사용하여 질병을 치료하려는 연구가 이루어지고 있다.

2. **농업, 축산업 분야**: 유전자 재조합 기술의 발달로 생산성이 높거나 영양학적으로 우수한 농작물과 가축을 전통적인 육종 방법보다 빠르게 만들 수 있으며, 다른 종의 유전자를 도입하는 등 기존의 번식 방법으로는 가질 수 없는 유전자나 형질이 있는 동식물을 얻을 수 있다.

3. **법의학 분야**: DNA 염기 서열 분석법과 PCR의 발달로 범인 확인, 사망자의 신원 확인 등이 빠르고 정확하게 이루어지고 있다.

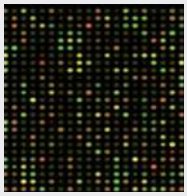
4. **환경 분야**: 환경 정화 능력을 가진 미생물이나 식물의 유전자를 이용하여 생활 쓰레기 및 각종 폐수를 정화함으로써 환경 오염을 극복하려는 노력이 이루어지고 있다.

5. **산업 분야**: 바이오 에너지를 생산하고, 생물의 유용한 유전자를 발견하여 산업에 이용할 수 있다.

▲ 의료

▲ 농업 · 축산물

▲ 산업



▲ 전자 · 정보

▲ 기계

▲ 환경

2 유전자 치료

1. **유전자 치료**: 유전자에 결함이 있는 환자에게 정상 유전자를 넣어 치료하는 방법

(1) ❷ _____ 에 정상 유전자를 넣는다.

(2) 환자의 체세포를 채취한다.

(3) 환자의 체세포에 정상 유전자가 있는 DNA 운반체를 넣는다.

(4) 정상 유전자가 있는 체세포를 배양하여 환자의 몸에 주입한다.

2. 유전자 치료는 질병 치료의 근본적인 치료 방법이지만 암과 같은 부작용이 나타날 수 있으므로 먼저 안전성 문제를 해결해야 한다.

3 유전자 변형 생명체(LMO)

1. **유전자 변형 생명체(LMO)**: ❸ _____ 을 이용하여 유전자를 변형시킨 살아 있는 생명체

2. 의약품을 만드는 생물, 해충 저항성 작물, 생산성이 높은 농작물이나 동물 등이 있다.

3. 도입된 유전자가 우리 몸에 예상치 못한 부작용을 일으킬 수 있고, LMO가 생태계에 원하지 않는 변화를 줄 수 있으므로 안전성과 생태계에 미치는 영향을 철저히 검증해야 한다.

4 생명 공학 기술의 발달과 사회적 책임

1. 생명 공학 기술은 유전자와 단백질의 기능 연구, 질병 치료, 식량 문제, 환경 오염 문제 해결, 멸종 위기의 동식물 보존, 신원 확인 등 인간 생활 전반에 걸쳐 영향을 주고 있다.

2. 생명 공학 기술의 긍정적인 영향과 더불어 생태학적, 윤리적, 법적, 사회적 문제점을 올바르게 이해한다.

3. ❹ _____ 는 질병 치료에 있어 많은 잠재력이 있지만 치료법의 안전성이나 윤리적 문제를 가지고 있다.

4. 동물 복제, 형질 전환 동물, 줄기세포 등의 분야에서는 생명 윤리 문제에 관한 사회적 합의가 필요하다.

5. 생명 공학 기술의 연구 개발 과정에는 제도적인 장치, 윤리적 책임감이 필요하다.

정답 | ❶ 중합 효소 연쇄 반응 ❷ DNA 운반체 ❸ 유전자 재조합 기술 ❹ 배아 줄기세포

개념 확인하기

1 각각의 생명 공학 기술이 활용된 대표적인 사례를 찾아 연결하시오.

(1) 유전자 재조합 •
(2) 핵치환 •
(3) 세포 융합 •
(4) 중합 효소 연쇄 반응 •

• ㉠ 멸종 위기종의 복제
• ㉡ 황금 쌀
• ㉢ 단일 클론 항체
• ㉣ 미량 존재하는 시료에서 특정 DNA의 대량 복제

2 생명 공학 기술에 관한 설명으로 옳은 것은 ○, 옳지 않은 것은 ×표를 하시오.

(1) 유전자 재조합 기술을 사용하여 유전자를 변형시킨 살아 있는 생명체를 LMO라고 한다. (　　)
(2) 다양한 줄기세포 중 윤리적인 문제가 가장 적은 줄기세포는 배아 줄기세포이다. …… (　　)
(3) 유전자 치료에 바이러스를 운반체로 사용할 경우 부작용이 적게 나타난다. …… (　　)

3 다음은 해충 저항성 옥수수를 만드는 과정을 순서 없이 나타낸 것이다.

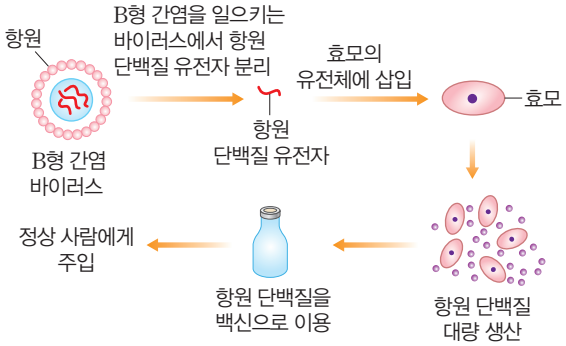
(가) 효소 A를 사용하여 세균에서 만드는 독소 유전자를 분리하고 플라스미드를 자른다.
(나) 형질 전환된 세균을 옥수수 세포에 감염시킨 뒤 배양한다.
(다) 효소 B를 사용하여 독소 유전자와 플라스미드를 연결한다.
(라) 재조합된 플라스미드를 세균에 도입한다.

(1) 실험 과정을 순서대로 나열하시오.

(2) (가)와 (다)에서 사용한 효소 A, B를 각각 쓰시오.

개념 응용하기

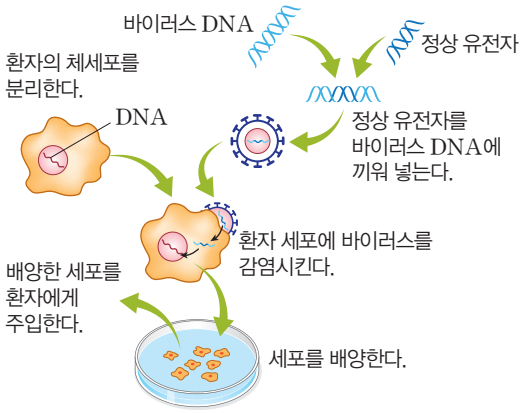
1 그림은 B형 간염 백신을 만드는 과정을 나타낸 것이다.



(1) 위에서 사용한 생명 공학 기술을 쓰시오.

(2) 재조합 백신의 장점을 서술하시오.

2 그림은 어떤 유전병이 있는 환자의 유전자 치료 과정을 나타낸 것이다.



위와 같은 유전자 치료를 받은 환자가 자손에게 유전병 유전자를 물려줄 확률은 어떻게 될지 서술하시오. (단, 돌연변이는 고려하지 않는다.)

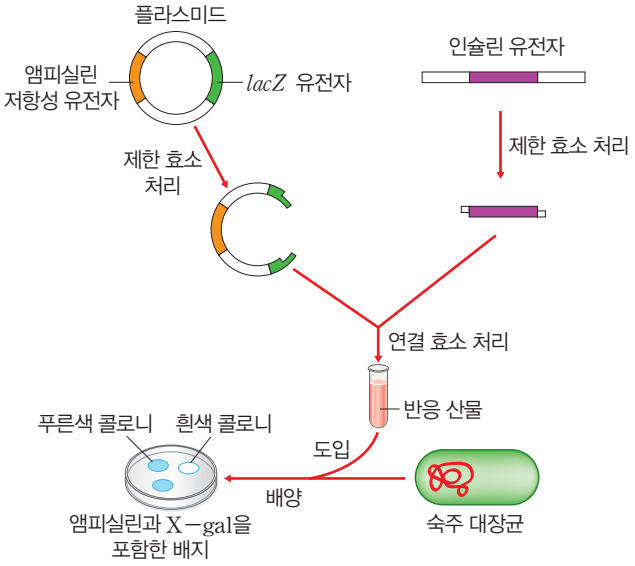
단원 마무리

핵심 바로 알기

유전자 재조합 기술
특정 유전자를 분리하여 다른 DNA와 조합하여 새로운 재조합 DNA를 만들어 내는 기술로 DNA 운반체, 제한 효소, DNA 연결 효소가 필요하다.

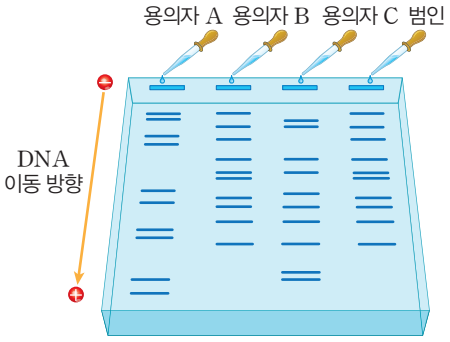
중합 효소 연쇄 반응(PCR)
DNA 특정 부위를 반복적으로 복제하여 적은 양의 DNA 시료를 짧은 시간에 다량으로 증폭하는 방법으로, 개인 식별이나 친자 확인 등에 이용한다.

1 그림은 인슐린 유전자가 재조합된 플라스미드를 갖는 대장균을 선별하는 방법을 나타낸 것이다. 앰피실린은 항생제의 일종이며 $lacZ$ 유전자의 산물은 당의 한 종류인 X−gal을 분해하여 콜로니를 흰색에서 푸른색으로 변화시킨다. 숙주 대장균은 $lacZ$ 유전자, 앰피실린 저항성 유전자를 가지고 있지 않다.



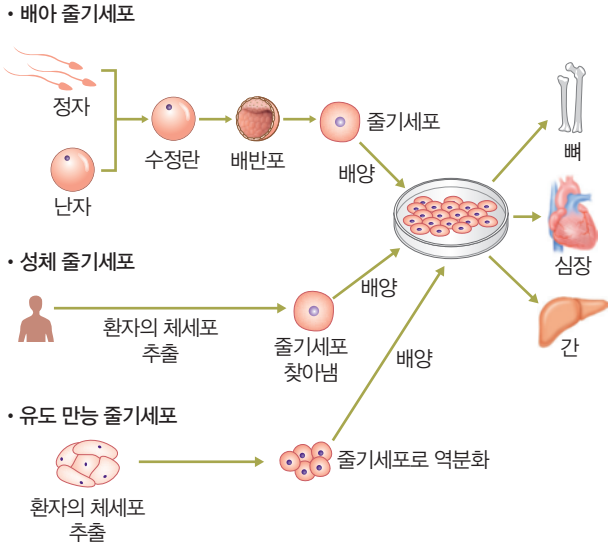
배지에서 재조합 플라스미드를 가진 콜로니를 어떻게 구별할 수 있는지 서술하시오.

2 그림은 범죄 현장에서 얻은 범인의 DNA 일부와 용의자 A, B, C에서 얻은 DNA 일부를 증폭한 뒤 전기영동한 결과를 나타낸 것이다.



용의자 A~C 중 범인으로 판단할 수 있는 사람은 누구인지 쓰고, 그 까닭을 서술하시오.

3 그림은 줄기세포를 만드는 여러 가지 방법을 나타낸 것이다.



(1) 환자의 체세포를 사용하여 줄기세포를 만들고 이를 분리해 간세포와 심장 세포를 만든다면 어떠한 장점이 있을지 서술하시오.

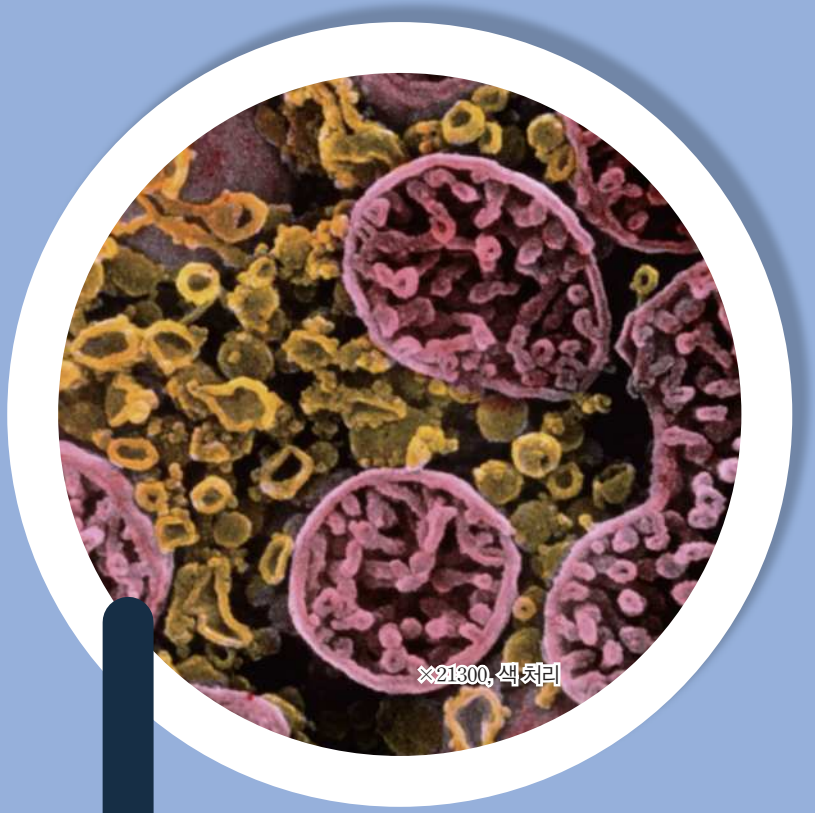
(2) 배아 줄기세포와 비교했을 때 성체 줄기세포와 유도 만능 줄기세포가 가지는 장점이 무엇인지 서술하시오.

핵심 바로 알기

줄기세포
미분화된 세포로 계속 분열할 수 있으며, 적절한 환경에서 한 가지 이상의 세포로 분화할 수 있다.

✱ 성취 정도를 ✓ 표시해 보자

1	각각의 생명 공학 기술의 원리를 설명할 수 있다.	1 | 2 | 3 | 4 | 5
2	생명 공학 기술의 다양한 활용 사례를 조사하였다.	1 | 2 | 3 | 4 | 5
3	생명 공학 기술의 전망에 관한 토의 활동에 적극적으로 참여하였다.	1 | 2 | 3 | 4 | 5
4	생명 공학 기술이 인간 생활과 생태계에 미치는 영향을 발표하였다.	1 | 2 | 3 | 4 | 5



×21300, 색 처리

부록

탐구 활동 자료 • 221

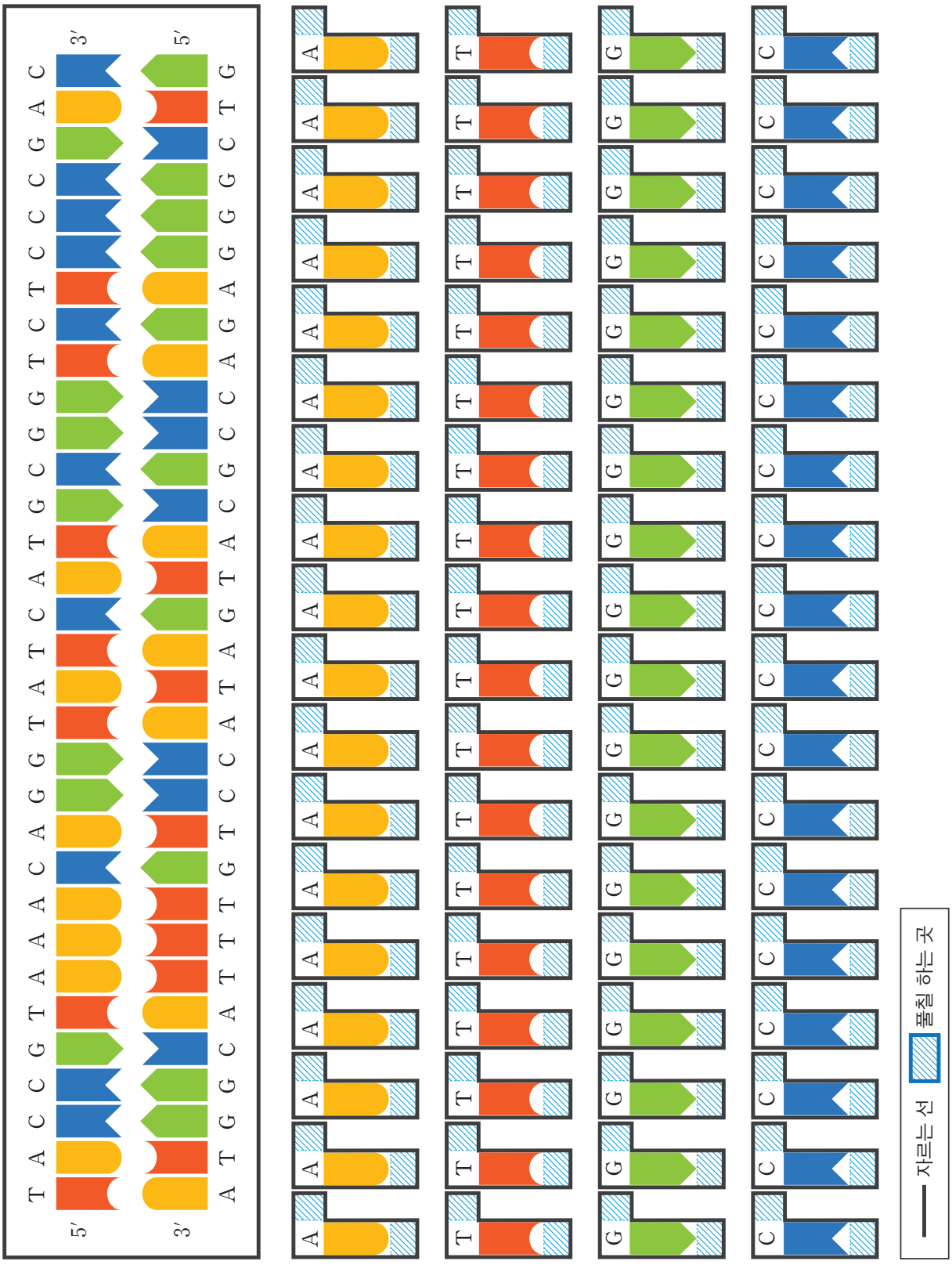
실험실 안전 수칙 • 227

정답과 해설 • 229

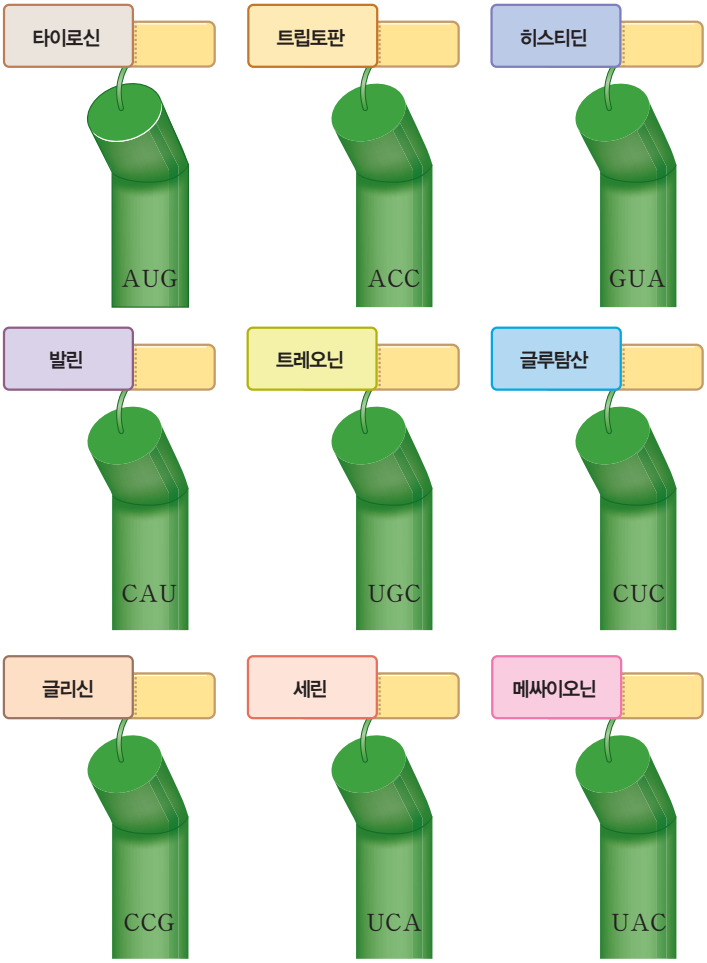
찾아보기 • 241

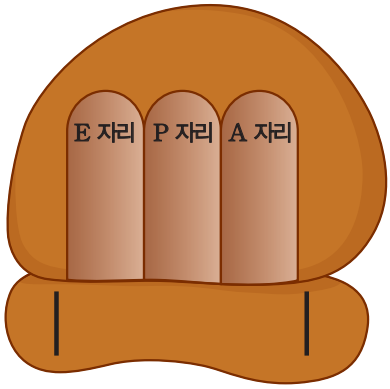
자료 출처 • 244

1. 이중 나선 DNA 모형과 뉴클레오타이드 모형

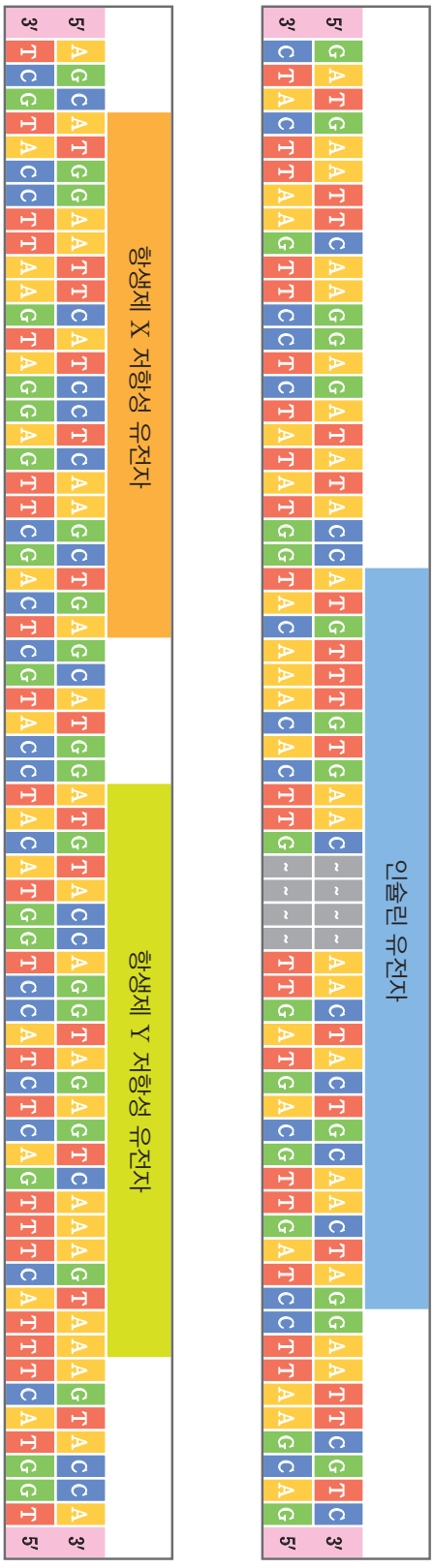


2. DNA, mRNA, tRNA, 리보솜 모형





3. 플라스미드 DNA 모형과 인슐린 유전자 DNA 모형



실험실 안전 수칙

실험실에서 안전하게 실험하려면

• 실험실에서는 지도 교사의 허락과 지시에 따르고 실험의 목표, 내용, 방법 등을 미리 알아 둔다.

• 긴 머리는 묶는다.
• 콘택트렌즈는 착용하지 않는다.
• 마스크는 끈을 조여 최대한 얼굴에 밀착되게 착용한다.

실험복
• 불이 잘 안 붙고 약품 등과의 반응이 적은 재질로 되어 있다. 따라서 실험할 때는 반드시 실험복을 입는다.
• 내 몸에 맞는 실험복을 입는다.
• 실험복은 정기적으로 세탁하고 심하게 오염된 것은 폐기한다.

• 운동화와 같이 발등을 덮는 신발을 신는다.
• 절대 슬리퍼는 신지 않는다.

보안경
• 약품이 튀거나 눈에 이물질이 닿을 때를 대비하여 착용한다.
• 불이나 화학 약품을 사용하는 실험, 암석을 깨는 것과 같이 파편이 튀는 실험을 할 때 착용한다.

실험용 보호 장갑
• 면장갑, 방열 장갑, 라텍스 장갑 등 여러 종류가 있으니 필요에 맞게 선택한다.
• 손을 완전히 덮고 장갑과 손목 사이에 틈이 생기지 않게 충분히 길어야 한다.
• 장갑을 벗을 때는 피부에 닿지 않게 주의하고, 장갑을 벗은 다음 손을 비누로 씻는다.

실험 도구 사용 주의	안전한 행동 지침
• 인화성 물질을 사용할 때는 알코올 램프나 핫플레이트 같은 열원을 멀리 둔다. • 전기 기구는 절대 젖은 손으로 만지지 않는다. • 알코올 램프 사용에 특히 주의하며, 유리 기구는 깨지지 않도록 주의하여 다룬다. • 실험 재료는 맛보거나 냄새를 맡거나 먹지 않는다. • 모든 시약은 유독하다고 간주하고 직접 접촉하지 않으며, 시약병을 함부로 들고 다니지 않는다. • 현미경은 실험대 안쪽으로 배치하고, 염색액이 피부나 옷에 묻지 않도록 주의하며, 환기에 유의한다.	• 실험실에서는 잡담하거나 뛰는 등의 장난을 치지 않는다. • 실험실에서 음식물을 먹어서는 안 되며, 무단으로 자리를 이탈하지 않는다. • 실험실에 비치된 소화기, 비상 샤워기, 비상구, 전기 차단기 등의 위치 및 사용법을 미리 확인한다. • 생명체를 다루는 실험에서는 생명의 존엄성을 지켜 진지한 태도로 임한다. • 실험 폐기물은 지정된 폐기물통에 넣고, 실험 물품이나 시약은 제자리에 둔다.

야외 실습 시 주의 사항

• 야외 활동을 할 때는 긴소매 옷과 긴바지를 입어 피부 노출을 최소화하고, 운동화를 신도록 한다.
• 곤충 기피제를 사용하고, 독성 곤충이 주로 서식하는 지역은 피해야 한다.
• 자연을 훼손하거나 오염시키는 행위, 동식물을 해치는 행위를 해서는 안 된다.
• 야생 열매, 나물, 약초, 버섯 등을 함부로 따거나 섭취하지 않고, 야생 동물을 함부로 잡거나 만지지 않도록 한다.
• 일반적인 조사나 탐사 활동은 해가 지기 전에 마치도록 한다.

안전사고 대처 요령

▶ 화재가 발생했을 때

- 큰 소리로 외쳐 선생님과 다른 학생들에게 상황을 알리고, 젖은 걸레나 실험복 등으로 덮어서 끈다.
- 큰불이 났을 때는 소화기로 불을 끄며, 화재경보기를 울리고 119에 신고한다.
- 화재가 클 때는 몸을 낮춘 상태에서 수건 등으로 코와 입을 막고 밖으로 나간다.

▶ 화상을 입었을 때

- 차가운 물로 씻고 열기를 식힌 후 즉시 선생님께 상황을 알리고 의사의 진료를 받는다.

▶ 유리 기구가 깨졌을 때

- 깨진 유리 조각은 만지지 않고 선생님께 알린 후 지시에 따라 처리한다.

▶ 상처가 났을 때

- 상처가 나 피가 나면 소독용 에탄올로 소독한 후 깨끗한 천으로 눌러 지혈하고 보건실이나 병원에서 치료를 받는다.

▶ 강한 산이나 알칼리성 물질이 묻었을 때

- 고무장갑을 낀 상태에서 묻은 독극물을 제거해야 하며 가루는 떨어낸 후 씻어야 한다.
- 액체의 경우 다량의 흐르는 물로 깨끗이 씻어 내고 의사의 진료를 받도록 한다.
- 눈에 용액이 튀면 눈 세척기나 흐르는 수돗물에 충분히 씻는다.

▶ 동물에 물렸을 때

- 비눗물을 이용하여 흐르는 물에 깨끗이 씻고, 의사의 진료를 받는다.

▶ 감염성 병원체에 노출됐을 때

- 선생님과 다른 학생들에게 상황을 알리고, 더는 감염된 물체를 만지지 말고 손을 흐르는 물에 깨끗이 씻고 잘 말린다.

▶ 특정 식물에 알레르기가 있을 때

- 실험 전에 선생님께 알리고 알레르기 반응이 일어나면 실험실 밖으로 나가 치료를 받는다.

▶ 유독한 약품 냄새를 맡았을 때

- 실험실 밖으로 옮기고 옷을 느슨하게 하여 신선한 공기를 마시도록 한다.

Ⅰ 생명 과학의 역사

1. 생명 과학의 역사

개념 정리하기 21쪽

개념 확인하기

1 다윈은 자연 선택설을 주장하였으며, 테오프라스토스는 『식물의 역사』라는 책을 저술하였다. 린네는 수천 종의 동식물을 분류하였으며, 왓슨과 크릭은 DNA 구조를 규명하였고, 레이우엔훅은 현미경으로 여러 가지 미생물을 관찰하였다.

답 (1) ㄴ (2) ㄱ (3) ㄹ (4) ㅁ (5) ㄷ

2 진화학과 생태학은 생물과 환경의 상호 작용에 관한 연구 분야이고, 생리학과 유전학은 생명체의 구조와 기능에 관한 연구 분야이다.

답 • 생물과 자연환경의 상호 작용에 관한 연구: ㄱ, ㄷ
• 생명체의 구조와 기능에 관한 연구: ㄴ, ㄹ

3 사회 진화론, 사회 생물학, 진화 심리학의 기초를 제공한 생명 과학 분야는 진화학이며, 법의학에 영향을 주어 범인 확인에 영향을 준 생명 과학 분야는 분자 생물학이다.

답 ㉠ 진화학 ㉡ 분자 생물학

4 린네는 근대의 생명 과학자이다. 모건은 초파리 연구로 염색체에 유전자가 존재함을 밝혔다. DNA 염기 서열 분석법은 분자 생물학의 주요 연구 방법이다.

답 (1) × (2) ○ (3) ○

개념 응용하기

1 파스퇴르는 백신을 접종하지 않은 양과 백신을 접종한 양을 비교하는 대조 실험으로 약화한 병원체를 주사하면 면역력이 증가한다는 사실을 밝혔다.

모범 답안 파스퇴르는 백신이 면역력을 증가시킨다는 사실을 증명하려고 백신을 접종하지 않은 양과 백신을 접종한 양에게 탄저균을 주사하고, 생존 여부를 확인하였다. 백신을 접종한 양은 살아남고 백신을 접종하지 않은 양은 죽는다는 실험 결과로 파스퇴르는 백신이 면역력을 증가시킨다는 결론을 내렸다.

2 호지킨과 헉슬리는 막전위 측정 기술을 이용해 신경 전도의 원리를 밝혔다.

모범 답안 호지킨과 헉슬리는 막전위 측정 기술을 비롯한 여러 가지 연구 방법을 이용해 신경 전도가 뉴런의 막에 존재하는 이온 통로가 열리고 닫힘으로써 일어난다는 것을 밝혔다.

3 생명체에 대한 과학적 지식은 인간의 삶에 큰 영향을 미쳤다.

모범 답안 인류는 의식주를 해결하려고 태초부터 주변의 생물을 활용해 왔다. 또 의식주에 활용하지 않더라도 주변의 생물에 호기심을 늘 가져 왔다. 주변 생명체에 관한 근원적인 호기심과 활용 가능성은 인간이 생명체를 관찰하고 연구하게끔 만든 요인이다.

단원 마무리 22~23쪽

1 19세기에 생명 과학자들이 많은 지역을 탐사하고 과거 생물의 흔적을 발견하면서, 생물이 긴 시간의 흐름에 따라 변화한다는 생각은 진화에 관한 개념을 창안했다. 이후 진화의 요인에 대한 여러 가지 연구가 진행되면서 다양한 요인이 함께 작용한다는 종합설로 발전하였다. 다윈이 자연 선택으로 진화를 설명하는 이론을 정립할 수 있었던 것은 다윈 이전에 진화에 관한 연구가 있었기 때문이다.

모범 답안 훔볼트는 생명체가 환경에 따라 다르게 적응하고 있다는 것을 발견하면서 생물 지리학에 초석을 쌓았으며, 라마르크는 용불용설을 이용해 단순한 생물에서 고등한 생물로 생물이 진화한다고 설명하였다.

2 질병의 원인 중 하나가 세균이라는 것을 코흐와 파스퇴르가 밝혀냈지만 세균을 효과적으로 억제할 수 있는 항생제가 개발되기 전까지는 질병을 치료하기가 쉽지 않았다.

모범 답안 플레밍이 발견한 페니실린은 세균을 죽이고 증식을 억제하는 물질이다. 1940년부터 대량 생산된 페니실린은 제2차 세계 대전에서 수백만 명의 생명을 구하는 것부터 시작해 오늘날까지 세균성 질병의 치료에 사용되고 있다.

3 사회 생물학은 여러 가지 생명 과학 분야를 기반으로 태동한 종합 학문이다.

(1) **모범 답안** 사회 생물학에 기반이 된 생명 과학 분야로 진화학, 동물 행동학, 생리학 등이 있다.

(2) **모범 답안** 생명 과학이 타 학문에 영향을 미친 사례로 사회 진화론, 식품 영양학, 법의학 등이 있다.

4 과학 혁명은 이전에 종교나 권위로 설명하던 자연 현상을 실증적 방법으로 연구하고 물질과 에너지를 이용해 설명하려는 시도였다.

(1) **모범 답안** 아리스토텔레스를 비롯한 고대 과학자의 권위에 기대어 설명하는 데 머무르려 했기 때문에 조사와 실험을 강조하지는 않았다.

(2) **모범 답안** 유럽에서 일어난 르네상스로 신 중심으로 생각하고 설명하던 철학은 사람 중심으로 생각하고 설명하는 철학으로 전환되었다. 르네상스를 배경으로 과학 혁명이 촉발되었다.

(3) **모범 답안** 코페르니쿠스는 천동설을 부정하는 『천구의 회전에 관하여』라는 책을 저술하여 우주에 관한 기존의 생각을 뒤집으려 하였고, 베살리우스는 인체를 직접 해부하면서 『인체의 구조에 관하여』라는 책을 저술하여 인간과 생명에 관한 기존의 생각을 뒤집었다.

Ⅱ 세포의 특성

1. 세포의 특성

01 생명체의 구성

29쪽 창의력 키우기

단백질 섭취량이 부족하면 근력 감소, 면역력 저하, 빈혈 등의 부작용이 나타날 수 있기 때문이다.

31쪽 ?

답 입, 식도, 위, 간, 이자, 소장, 대장, 항문 등

02 세포의 구조와 기능

핵심 역량 기르기 39쪽

모범 답안 세포질에 떠다니는 리보솜에서 합성한 단백질은 세포질로 방출되어 그곳에서 각자의 기능을 나타내고, 거친면 소포체에 붙어 있는 리보솜에서 합성한 단백질은 소포체와 골지체를 거쳐 세포 밖으로 분비되거나 다른 세포 소기관으로 운반되어 기능을 나타낸다.

개념 정리하기 45쪽

개념 확인하기

1 생명체를 구성하는 물질 중 핵산은 유전 정보를 저장하거나 전달하며, 물은 인체 구성 물질 가운데 가장 많은 비율을 차지하고 있다. 탄수화물은 주된 에너지원으로 이용되며, 단백질은 효소, 호르몬, 항체 등 몸을 구성하는 성분이다.

답 (1) ㄷ (2) ㄱ (3) ㄴ (4) ㄹ

2 생물의 구성은 공통으로 세포 → 조직 → 기관 → 개체 단계를 거치며, 식물은 조직이 모여 조직계를, 동물은 기관이 모여 기관계를 구성한다. 식물의 조직계는 표피 조직계, 기본 조직계, 관다발 조직계로 구분되며, 동물의 기관계는 소화계, 순환계, 호흡계, 배설계, 신경계, 면역계, 생식계, 내분비계 등이 있다.

답 A: 조직계－표피 조직계, B: 기관계－신경계

3 (1) 투과 전자 현미경을 이용하면 세포 내부의 미세 구조를 관찰할 수 있다.

(2) 자기 방사법으로 방사성 동위 원소를 이용하여 세포 내 물질의 이동 경로나 변화를 연구할 수 있다.

(3) 세포 분획법으로 세포 소기관을 크기와 밀도에 따라 분리하여 각각의 기능을 연구할 수 있다.

답 (1) × (2) ○ (3) ○

4 소포체는 핵막과 연결되어 물질 수송의 통로 역할을 하며, 리보솜이 붙어 있는지에 따라 거친면 소포체와 매끈면 소포체로 구분된다.

답 거친면 소포체, 매끈면 소포체

개념 응용하기

1 뉴클레오솜은 단백질과 DNA로 구성되며, 세포막은 단백질과 인지질로 구성된다.

답 A는 DNA, B는 단백질, C는 인지질이다.

2 A는 핵막과 리보솜은 있으나 세포벽이 없는 동물 세포이며, B는 핵막이 없는 원핵세포이다. C는 핵막, 리보솜, 세포벽이 모두 있는 식물 세포이다.

답 A는 사람의 상피 세포, B는 대장균, C는 소나무의 표피 세포이다.

3 세포 밖으로 분비되는 단백질은 핵산에 저장되어 있는 유전 정보를 이용하여 리보솜에서 합성된 후 소포체와 골지체를 거치면서 변형되어 세포 밖으로 분비된다.

답 C → B → D → F

2. 세포막과 효소

01 세포막을 통한 물질의 출입

47쪽 창의력 키우기

모범 답안 포도당이나 아미노산과 같이 크기가 큰 물질은 인지질 2중층을 매우 천천히 통과하고, 이온과 같은 친수성 물질은 거의 통과하지 못할 것이다.

개념 정리하기 61쪽

개념 확인하기

1 세포막을 경계로 용질의 농도가 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 용매가 이동하는 현상은 삼투이고, 운반체 단백질이 에너지를 소비하여 물질을 한 방향으로 이동시키는 현상은 능동 수송이다. 단순 확산은 크기가 작은 분자나 소수성 물질이 세포막의 인지질 2중층을 직접 통과하여 이동하는 현상이며, 세포막을 통과하기에 큰 물질을 세포막으로 감싸 소낭으로 만들어 이동시키는 현상은 세포내 섭취로 에너지가 소비된다.

답 (1) ㄹ (2) ㄱ (3) ㄷ (4) ㄴ

2 화학 반응이 일어날 때 효소는 활성 부위에 맞는 입체 구조를 가진 기질과 일시적으로 결합한다. 답 활성 부위

3 단순 확산과 같은 방식으로 세포막을 직접 통과하지 못하고 막단백질을 통과하여 이동하는 촉진 확산에는 통로 단백질과 운반체 단백질이 관여한다. 답 통로 단백질, 운반체 단백질

4 (1) 효소는 활성 부위에 맞는 특정 기질과만 결합하는 기질 특이성을 나타낸다.
(2) 화학 반응이 끝난 후 반응에 참여했던 효소는 생성물로부터 분리되어 다른 기질과 결합하여 반응을 촉매한다.
(3) 최적 온도가 될 때까지는 온도에 비례하여 반응 속도가 증가하지만, 최적 온도보다 높아지면 반응 속도가 감소한다.

답 (1) ○ (2) × (3) ×

개념 응용하기

1 (가)는 물질이 인지질 2중층을 직접 통과하는 단순 확산, (나)는 물질이 막단백질을 이용하여 이동하는 촉진 확산, (다)는 운반체 단백질이 에너지를 소비하여 물질을 한 방향으로 이동시키는 능동 수송이다. 폐에서 산소와 이산화 탄소가 교환될 때는 단순 확산으로 물질이 이동한다. 답 (가), 단순 확산

2 반투과성 막은 설탕은 통과시키지 못하고 포도당만 통과시킨다. 따라서 A 쪽의 포도당은 B 쪽으로 막을 통과하여 확산되지만, A 쪽의 설탕은 B 쪽으로 막을 통과하지 못하고 B 쪽의 물이 A 쪽으로 이동한다.
모범 답안 A의 물 높이는 증가하고, B의 물 높이는 감소한다.

3 반응 속도가 일정해진 S_3의 농도에서는 모든 효소가 기질과 효소·기질 복합체를 형성하고 있으므로 반응 속도를 증가시키려면 더 많은 효소가 필요하다.

답 효소를 더 첨가한다.

단원 마무리 62~63쪽

1 단백질 합성에 관련된 정보는 핵에 존재하며, 단백질 합성은 리보솜에서 일어난다. 리보솜에서 합성된 단백질은 소포체와 골지체, 수송 소낭을 거쳐 외부로 분비된다.
(1) **모범 답안** 합성된 단백질의 아미노산 서열 정보는 핵의 DNA에 저장되어 있다.
(2) **모범 답안** 핵: 단백질의 아미노산 서열 정보를 저장하고 있으며, 리보솜에 전달한다.
리보솜: 아미노산을 펩타이드 결합으로 연결하여 단백질을 합성한다.
소포체: 합성된 단백질을 변형시키고, 운반한다.
골지체: 합성된 단백질을 변형시키고, 운반한다.
수송 소낭: 골지체에서 변형된 단백질을 세포 밖으로 분비한다.

2 세포를 저장액에 넣으면 세포에서 빠져나가는 물보다 세포로 들어오는 물이 많아 세포의 부피가 커진다.
모범 답안 식물 세포와 동물 세포 모두 저장액에 넣으면 세포로 들어오는 물이 세포에서 빠져나가는 물보다 많아 부피가 커진다. 동물 세포는 부피가 커지다가 세포막이 터지는 용혈 현상이 일어나지만 식물 세포는 단단한 세포벽이 존재하므로 세포가 터지지 않고 팽윤 상태를 유지한다.

3 효소가 기질과 결합하여 효소·기질 복합체를 형성해야만 활성화 에너지를 낮추고 화학 반응 촉매로 작용할 수 있다.
모범 답안 단백질의 구조는 온도와 pH에 따라 변한다. 효소는 적정 온도와 pH에서는 기질과 상보적인 구조로 되어 있어 기질과 잘 결합한다. 그러나 최적 온도와 최적 pH에서 벗어나면 단백질의 구조는 기질과 결합하기 어려운 형태로 바뀌어 화학 반응 촉매로 잘 작용하지 못한다.

4 리포솜은 여러 가지 물질을 원하는 영역으로 운반할 수 있어 미용과 의료 분야에 이용되고 있다.
(1) **모범 답안** 리포솜은 약물과 영양소를 효소 등으로부터 보호하고, 특정한 세포에 쉽게 들어가도록 해 준다.
(2) **모범 답안** 암세포에만 결합하는 물질이 아닌 모든 세포에 작용하는 물질을 항암제로 사용했기 때문이다.
(3) **모범 답안** 리포솜의 막과 암세포의 막이 융합되면서 리포솜의 막에 존재하는 지용성 약물은 암세포의 막에 전달되고, 리포솜 안에 있던 수용성 약물은 암세포 안으로 전달되어 작용한다.

Ⅲ 세포 호흡과 광합성

1. 세포 호흡과 발효

02 세포 호흡

73쪽 ?
답 NADH 10분자, $FADH_2$ 2분자, ATP 4분자

74쪽 ?
답 미토콘드리아 기질은 H^+ 농도가 감소하여 pH가 높아지고, 막 사이 공간은 H^+ 농도가 증가하여 pH가 낮아진다.

03 발효

79쪽 창의력 키우기
모범 답안 해당 과정이 일어나려면 NAD^+가 지속해서 공급되어야 한다. 산소가 있을 때는 전자 전달계에서 NADH가 NAD^+로 산화되므로 NAD^+가 해당 과정에 공급될 수 있다. 그러나 산소가 없을 때는 전자 전달계가 작동하지 않으므로 NADH가 축적되고 NAD^+는 고갈된다. 발효를 하는 생물은 NADH의 전자를 피루브산으로 전달하여 NADH를 산화시킴으로써 NAD^+를 재생시켜 해당 과정에 공급한다.

개념 정리하기 83쪽

개념 확인하기

1 (1) 해당 과정은 세포질에서 포도당(C_6)이 2분자의 피루브산(C_3)으로 분해되는 과정으로, 2ATP, 2NADH가 생성된다.
(2) TCA 회로는 옥살아세트산(C_4)과 아세틸 CoA(C_2)가 결합하여 시트르산(C_6)이 생성되는 것으로부터 시작한다.
(3) 전자 전달 과정에서 H^+의 수송으로 미토콘드리아의 막 사이 공간에 H^+이 축적되고, H^+이 ATP 합성 효소를 거쳐 다시 미토콘드리아 기질로 이동하는데, 이를 화학 삼투라고 한다.
답 (1) 피루브산, NADH (2) 시트르산 (3) 화학 삼투

2 (1) 산소 호흡을 할 때 유기물로부터 나온 고에너지 전자는 전자 전달계를 거쳐 최종적으로 O_2로 전달되고, H^+과 결합하여 물 분자가 생성된다.
(2) 산소가 없으면 전자 전달계가 작동하지 않으므로 NAD^+, FAD가 재생되지 않아 TCA 회로가 멈춘다.
(3) 포도당 1분자당 해당 과정과 TCA 회로에서 각각 2분자의 ATP가 합성된다.
(4) 알코올 발효 과정에서 피루브산이 아세트알데하이드가 될 때 CO_2가 발생한다.
답 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○

3 (1) 엽록체의 스트로마와 미토콘드리아의 기질에는 고유의 DNA, 리보솜, 각종 화학 반응을 일으키는 효소가 들어 있다.
(2) 엽록체의 틸라코이드 막과 미토콘드리아 내막에는 전자 전달계, ATP 합성 효소 등의 막단백질이 분포한다.
답 (1) A 스트로마, C 미토콘드리아 기질
(2) B 틸라코이드 막, D 미토콘드리아 내막

개념 응용하기

1 ㄱ. 해당 과정과 TCA 회로에서의 ATP 합성은 기질 수준 인산화로 일어난다.
ㄴ. 전자 전달계에서 전자의 이동은 전자 전달 효소 사이의 산화 환원 반응으로 일어나며, 전자는 최종적으로 O_2로 전달된다.
ㄷ. 해당 과정(가)은 세포질에서, TCA 회로(나)와 산화적 인산화(다)는 미토콘드리아에서 일어난다.
답 ㄱ, ㄴ

2 호흡 기질은 세포 호흡에 이용되어 에너지를 생성할 수 있는 물질을 의미한다. (가)는 아미노기가 제거되므로 아미노산임을 알 수 있다. (나)는 지방산으로, 지방산 사슬이 여러 2탄소 화합물로 분해된 다음 아세틸 CoA로 전환된다. (다)는 피루브산, 아세틸 CoA로 전환되는 과정을 거치므로 포도당임을 알 수 있다.

답 (가)는 아미노산, (나)는 지방산, (다)는 포도당이다.

3 ㉠은 해당 과정으로 포도당 1분자당 2ATP가 합성된다. 피루브산과 젖산은 둘 다 3탄소 화합물로 피루브산이 젖산으로 환원될 때 CO_2는 발생하지 않는다. 에탄올은 2탄소 화합물로 알코올 발효 과정에서 피루브산으로부터 에탄올이 생성될 때 CO_2가 발생한다.

답 (1) A는 젖산, B는 에탄올이다.

(2) 해당 과정인 ㉠에서 ATP가 합성된다.

2. 광합성

01 광합성 과정

핵심 역량 기르기 86쪽

모범 답안 보조 색소는 엽록소가 흡수하지 못하는 파장의 빛을 흡수하여 엽록소에 전달하여 광합성을 돕는다.

91쪽 창의력 키우기

모범 답안 비순환적 전자 흐름의 결과 ATP와 NADPH가 생성되고, 순환적 전자 흐름의 결과 ATP가 생성된다.

93쪽 창의력 키우기

모범 답안 1분자의 포도당을 합성하려면 2분자의 PGAL가 필요하다. 탄소 고정 반응이 1회 진행될 때 1분자의 PGAL가 만들어지고 이때 ATP 9분자, NADPH 6분자가 필요하므로 2분자의 PGAL가 합성되려면 총 ATP 18분자, NADPH 12분자가 필요하다.

개념 정리하기 97쪽

개념 확인하기

1 (1) 엽록체의 틸라코이드 막에는 빛을 흡수하는 광계, 전자 전달 효소, ATP 합성 효소가 있어 빛에너지를 ATP, NADPH의 화학 에너지로 전환한다.

(2) 광계를 구성하는 광합성 색소는 엽록소와 보조 색소인 카로티노이드 등이 있다.

(3) 빛을 흡수하여 전자를 잃은 P_{680}은 물을 분해하여 전자를 얻고, 산소 기체를 발생시킨다.

(4) 탄소 고정 반응은 3PG 합성, 3PG 환원, RuBP 재생 단계로 진행된다.

답 (1) 틸라코이드 막 (2) 엽록소 (3) 산소

(4) 3PG 합성, 3PG 환원, RuBP 재생

2 (1) 엽록소가 광합성에 주로 이용하는 빛은 청자색광과 적색광이다. 녹색광은 거의 흡수되지 않지만, 보조 색소의 도움으로 광합성에 일부 이용되기도 한다.

(2) 명반응 결과 $NADP^+$는 전자를 얻어 NADPH가 된다. NADPH는 탄소 고정 반응에서 $NADP^+$로 산화된다.

(3) 순환적 전자 흐름에서는 전자가 $NADP^+$로 전달되지 않고 전자 전달계로 이동하므로 NADPH가 생성되지 않는다.

(4) 명반응이 일어나지 않으면 탄소 고정 반응에 필요한 ATP와 NADPH가 생성되지 않으므로 빛을 주지 않으면 탄소 고정 반응도 지속하지 않는다.

답 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ×

3 명반응과 탄소 고정 반응은 유기적으로 연결되어 있다. 명반응은 빛에너지를 이용하여 ADP를 ATP로, $NADP^+$를 NADPH로 합성하며, 이는 탄소 고정 반응에서 포도당을 합성하는 데 필요한 에너지를 제공한다. 탄소 고정 반응 결과 $NADP^+$와 ADP가 재생되어 명반응에 다시 이용된다.

모범 답안 명반응은 탄소 고정 반응에 필요한 ATP와 NADPH를 제공하고, 탄소 고정 반응은 명반응에 필요한 ADP와 $NADP^+$를 재생시키므로 서로 긴밀하게 연결되어 있다.

개념 응용하기

1 (가)의 ㉠은 엽록체의 스트로마, ㉡은 틸라코이드이다. 스트로마에서는 탄소 고정 반응이, 틸라코이드에서는 명반응이 일어난다. (나)는 벤슨의 실험으로, 빛을 먼저 줘야 이산화 탄소가 있을 때 포도당이 합성될 수 있음을 발견하였고 광합성이 명반응과 탄소 고정 반응으로 구분되어 있음을 밝혔다.

(1) **모범 답안** 틸라코이드 내부의 H^+이 ATP 합성 효소를 통해서 스트로마로 이동하면서 ATP가 합성되므로 ATP가 합성되는 장소는 ㉠ 스트로마이다.

(2) **모범 답안** 구간 Ⅰ은 이전에 명반응이 없었기 때문에 광합성이 일어나지 않은 것이고, 구간 Ⅲ은 구간 Ⅱ에서 명반응이 일어나 탄소 고정 반응에 필요한 물질이 생성되어 광합성이 일어난 것이다.

2 틸라코이드 막에서의 전자 흐름은 비순환적 전자 흐름과 순환적 전자 흐름의 두 유형이 있다. 비순환적 전자 흐름은 광계 Ⅱ의 P_{680}에서 전자가 방출되어 전자 전달계와 광계 Ⅰ을 거쳐 $NADP^+$로 전달되는 과정으로, ATP와 NADPH가 합성된다. 전자를 잃은 P_{680}은 물을 분해하여 전자를 얻는다. 순환적 전자 흐름은 광계 Ⅰ에서 방출된 전자의 일부가 광계 Ⅱ와 광계 Ⅰ 사이에 있는 전자 전달계로 이동하여 전자 전달 과정을 반복하는 과정으로, ATP를 지속해서 생산한다. 전자 전달계에서 전자가 이동하는 동안 H^+이 틸라코이드 내부로 수송되며 ATP 합성 효소를 거쳐 스트로마로 H^+이 이동하면서 ATP가 합성된다.

(1) **모범 답안** H^+은 스트로마에서 틸라코이드 내부로 능동 수송된다.

(2) **모범 답안** 물질 A는 $NADP^+$, 물질 B는 NADPH이다.

(3) 답 광계 Ⅱ

단원마무리 98~99쪽

1 미토콘드리아와 엽록체에서는 모두 전자 전달과 화학 삼투를 이용한 ATP 합성이 일어난다.

모범 답안 공통점: 2중막 구조로 되어 있으며 순환적 화학 반응인 회로가 존재한다. 막에서 전자 전달과 H^+의 수송이 일어나고, 화학 삼투를 이용한 ATP 합성이 일어난다.

차이점: 미토콘드리아에서는 유기물이 분해되고, 엽록체에서는 유기물이 합성된다. 미토콘드리아에서는 유기물의 화학 에너지가 ATP 합성에 이용되고 엽록체에서는 빛에너지가 ATP 합성에 이용된다. 미토콘드리아에서 합성된 ATP는 주로 생명 활동에 이용되고, 엽록체에서 합성된 ATP는 주로 포도당 합성에 이용된다.

2 식물의 잎에는 엽록소를 비롯한 여러 가지 색소가 혼합되어 있어 크로마토그래피를 이용하면 색소를 분리할 수 있다.

모범 답안 전개가 가장 멀리된 순서대로 A는 카로틴, B는 잔토필, C는 엽록소 a, D는 엽록소 b이다. 카로틴과 잔토필은 보조 색소로 엽록소가 흡수하지 못하는 파장의 빛을 받아 광합성에 이용할 수 있도록 하고, 과도한 빛으로부터 식물을 보호하는 기능을 한다. 엽록소 a와 b는 광합성에 이용되는 빛을 흡수하며 특히 엽록소 a는 광계의 반응 중심 색소이다.

3 당이 이산화 탄소와 물로 완전히 산화되지 않고 산이나 알코올로 산화되는 반응을 발효라고 한다.

(1) **모범 답안** 알코올 발효와 젖산 발효는 포도당이 완전히 산화되지 않고 고에너지 중간 산물인 젖산이나 에탄올로 산화되므로 산소 호흡보다 ATP 합성량이 적다.

(2) **모범 답안** 빵이 부풀어 오르는 까닭은 발효로 이산화 탄소가 발생하였기 때문이다. 빵을 부풀리는 데는 발효 과정에서 이산화 탄소가 발생하는 알코올 발효를 사용한다.

4 엥겔만은 긴 선형 조류인 해캄으로 들어가는 빛을 프리즘으로 파장에 따라 분리해 파장별 광합성 정도를 분석하였다.

(1) **모범 답안** 광합성 결과 산소가 발생하므로 산소를 이용해 에너지를 얻는 산소 호흡 세균은 광합성이 활발한 곳에 모여든다.

(2) **모범 답안** 녹색광이 비친 해캄 부위에 산소 호흡 세균이 가장 적은 것으로 보아 가장 적게 흡수하는 빛은 녹색광이라는 것을 알 수 있다.

Ⅳ 유전자의 발현과 조절

1. 유전 물질의 구조와 DNA 복제

개념 정리하기 113쪽

개념 확인하기

1 답 (1) ㄷ (2) ㄱ (3) ㄴ

2 뉴클레오타이드는 일정한 방향으로 배열되므로 폴리뉴클레오타이드의 한쪽 끝은 5번 탄소 방향(5′ 말단), 다른 끝은 3번 탄소 방향(3′ 말단)이다. 답 3′ 말단

3 핵이 없는 원핵세포에서 DNA는 세포 가운데 부분에 응축되어 있다. 답 (1) ○ (2) × (3) ○

4 답 ㉠ 주형 ㉡ 선도 ㉢ 지연

개념 응용하기

1 **모범 답안** DNA 이중 나선에서 두 가닥 사이의 염기가 상보적인 결합을 하기 때문이다. A는 T와, G는 C와 상보적인 수소 결합을 하므로 이중 나선 DNA에서는 항상 A와 T의 양, G와 C의 양이 같다.

2 **모범 답안** A에는 무거운 DNA와 가벼운 DNA 사이의 중간 DNA 밴드가 나타나고, B에는 중간 DNA와 가벼운 DNA 사이에 밴드가 나타난다.

3 (1) **모범 답안** A – DNA 중합 효소, B – DNA 연결 효소, C – 선도 가닥, D – 지연 가닥
(2) **모범 답안** DNA 이중 나선은 방향성이 반대인데 DNA 중합 효소는 5′ → 3′ 방향으로만 DNA 합성이 가능하기 때문이다.

2. 유전자 발현

01 유전자의 기능과 유전부호

117쪽 **창의력** 키우기

모범 답안 DNA에서 RNA가 만들어지는 과정에서는 뉴클레오타이드라는 같은 언어가 사용되므로 전사라고 한다. RNA에서 단백질이 만들어지는 과정에서는 뉴클레오타이드로 구성된 RNA에서 아미노산으로 구성된 단백질이 만들어지므로 다른 언어로 바뀌는 것을 빗대어 번역이라고 한다.

119쪽 **창의력** 키우기

모범 답안 앞의 두 뉴클레오타이드가 같은 경우가 많다. 이 경우 코돈의 세 번째 자리에서 돌연변이가 일어나도 지정하는 아미노산은 변하지 않아 잘못된 아미노산을 합성할 가능성을 낮춘다.

개념 정리하기 127쪽

개념 확인하기

1 중심 원리는 세포 내에서 DNA의 유전 정보가 DNA → RNA → 단백질 순서로 전달되는 과정이다.
답 (1) ㄷ (2) ㄹ (3) ㄱ (4) ㄴ

2 (1) tRNA의 3′ 말단에는 코돈과 짝이 맞는 아미노산이 결합한다.
(2) 리보솜을 이루는 대단위체와 소단위체는 단백질 합성 시 결합하고, 합성이 완료되면 분리된다.
(3) mRNA는 리보솜의 소단위체에 결합한다.
답 (1) × (2) × (3) ×

3 DNA에서 RNA가 전사되는 과정은 개시 → 신장 → 종결 순서이다. 답 tRNA, 펩타이드

개념 응용하기

1 (1) **모범 답안** 오르니틴에서 시트룰린이 합성되는 과정에 결함이 있다.
(2) **모범 답안** 알 수 있다. Ⅰ형은 세 물질 중 어느 하나만 있으면 자라지만, Ⅱ형은 시트룰린이나 아르지닌이 있어야 자라며, Ⅲ형은 아르지닌이 있어야만 자라므로, 합성 순서는 전구 물질 → 오르니틴 → 시트룰린 → 아르지닌이다.

2 (1) **모범 답안** 5′–AAUCGUCAGAUUACGGUUGUA–3′
(2) 코돈표에서 AAU, CGU, CAG, AUU, ACG, GUU, GUA에 해당하는 아미노산을 찾는다.
모범 답안 아스파라진–아르지닌–글루타민–아이소류신–트레오닌–발린–발린

3 tRNA에는 mRNA의 코돈과 결합하는 안티코돈(A)이 있으며, 3′ 말단에는 안티코돈과 맞는 아미노산이 결합한다.
모범 답안 A는 아미노산과 결합하여 리보솜으로 아미노산을 운반하고, B는 안티코돈으로 코돈과 결합하여 코돈에 맞는 아미노산이 결합하게 해 준다.

3. 유전자 발현의 조절

개념 정리하기 139쪽

개념 확인하기

1 (1) ㄷ (2) ㄴ (3) ㄹ (4) ㄱ

2 진핵생물의 각 프로모터 상단에 존재하는 조절 부위는 변하지 않는다. 세포 분화는 단백질의 변화로 일어난다.
답 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ×

3 ㉠ – 염기 서열, ㉡ – 조절 부위

개념 응용하기

1 **모범 답안** (가)는 억제 단백질이 작동 부위에 결합하고 RNA 중합 효소가 결합하지 않아 유전자 발현이 일어나지 않고, (나)는 억제 단백질이 작동 부위에 결합하지 않아 RNA 중합 효소가 결합하므로 구조 유전자가 발현된다.

2 **모범 답안** 하나의 유전자 발현이 여러 전사 인자에 의해 조절되므로, 전사 인자의 종류는 2000종류이지만 전사 인자의 조합은 훨씬 많아 유전자 발현을 서로 다르게 조절할 수 있다.

3 (1) **모범 답안** 같다.
(2) **모범 답안** 완전한 개체의 당근이 만들어질 수 없다.
(3) **모범 답안** 식물의 뿌리 세포로부터 완전한 개체가 만들어지는 것으로 세포가 분화할 때 유전자는 변하지 않는다는 것을 알 수 있다.

단원 마무리 140~141쪽

1 에이버리는 효소를 이용해 S형 균의 세포 추출물에서 구성 물질 하나씩을 제거해 보면서 형질 전환을 일으키는 물질을 분석하였다.
(1) **모범 답안** 세포 추출물에 DNA 분해 효소를 처리하면 형질 전환이 일어나지 않았고, 다른 효소를 처리하면 형질 전환이 일어났으므로 DNA를 유전 물질로 판단하였다.
(2) **모범 답안** 유전 물질의 후보로 지목되던 단백질과 핵산 중 단백질이 더 복잡한 구조를 가지고 있어 복잡한 유전 정보를 담기에 적합할 것이라고 예측하였기 때문이다.

2 단백질 합성에 관한 정보를 담고 있는 mRNA에 리보솜이 결합하면 단백질 합성이 시작된다.
모범 답안 mRNA의 유전 정보는 반복적으로 이용될 수 있다. 그러므로 하나의 mRNA에 다수의 리보솜이 결합하면 단시간에 많은 양의 단백질을 합성할 수 있다.

3 대장균은 젖당을 이용할 때만 젖당 분해 효소를 합성한다.
(1) **모범 답안** 초기 대장균이 증식하는 구간에서는 젖당 분해 효소의 농도가 낮고, 후기 대장균이 증식하는 구간에서는 젖당 분해 효소의 농도가 높은 것으로 보아 먼저 사용하는 에너지원은 젖당과 포도당 중 포도당이라는 것을 알 수 있다.
(2) **모범 답안** 세균이 젖당을 이용하지 않을 때는 젖당 오페론 조절 유전자가 발현되어 합성된 억제 단백질이 작동 부위에 결합해 젖당 분해 효소 유전자가 전사되지 못하도록 막는다. 세균이 젖당을 이용할 때는 억제 단백질이 젖당 유도체와 결합하여 작동 부위에 결합하지 못하고 젖당 분해 효소 유전자가 발현되어 젖당 분해 효소가 합성된다.

4 사람의 모든 유전 정보는 DNA에 염기 서열의 형태로 저장되어 있다. 이러한 염기 서열을 분석하고 염기 서열을 해석하는 과정을 이해하면 사람에서 나타나는 모든 유전 현상을 설명할 수 있다.
(1) **모범 답안** 사람의 유전체를 통해 사람이 진화한 과정, 사람이 나타내는 여러 가지 유전 형질의 발현 과정, 유전병의 원인 등 사람이 가지는 대부분의 정보를 알아낼 수 있다.
(2) **모범 답안** DNA 염기 서열을 알면 어떤 아미노산으로 구성된 단백질이 합성되는지는 알 수 있다. 하지만 어떤 DNA 부위가 어느 조건에서 얼마만큼 단백질로 합성되는지는 단순히 DNA 염기 서열만으로 알아내기가 힘들다. 또한 합성된 단백질이 어떠한 상호 작용으로 생명 현상을 나타내는지를 이해하는 것은 염기 서열만으로는 알아내기가 거의 불가능하다. 그러므로 유전자 발현 조절이나 단백질의 상호 작용 등의 추가적인 연구가 필요하다. 생명의 정보의 가장 기본은 사람의 유전체 염기 서열이므로 사람의 유전체 연구를 기반으로 지속적인 연구가 이루어진다면 생명의 정보는 더욱 더 깊고 넓게 알아낼 수 있을 것이다.
(3) **모범 답안** 개인의 유전 정보를 어떤 목적으로 누가 수집하고 어떻게 연구하느냐에 따라 이득이 될 수도 있고 손해가 될 수도 있다. 유전 정보의 수집과 분석으로 개인에게 맞는 의료 서비스나 복지 등이 제공된다면 이득이지만, 유전 정보를 얻기 위해 무분별한 실험 등을 하여 사회적 혼란을 초래한다면 손해가 될 것이다.

V 생물의 진화와 다양성

1. 생명의 기원과 다양성

01 생명의 기원과 진화

핵심 역량 기르기 147쪽

모범 답안 RNA는 한 가닥으로 유전 정보를 저장할 수 있는 반면, DNA는 두 가닥으로 유전 정보를 저장할 수 있다. 두 가닥은 한 가닥에 이상이 생겨도 다른 가닥의 정보를 이용하면 되는 장점이 있다. 그러므로 생물의 구조와 기능이 복잡해져 유전 정보가 많아지게 되면 저장 물질도 많아지며 이를 안전하게 저장할 수 있는 것이 바로 DNA이다.

149쪽 창의력 키우기

모범 답안 두 생물이 공생하면서 유기물의 부족이나 산소의 증가와 같은 환경 변화에 더 잘 적응하게 되었을 것이다.

02 생물의 분류 체계

152쪽 창의력 키우기

모범 답안 종명: *Rosa multiflora* Thunberg(장미), 과명: Rosaceae(장미과), 목명: Rosales(장미목), 강명:

Magnoliopsida(목련강), 문명: Magnoliophyta(속씨식물문), 계명: Plantae(식물계)

155쪽 창의력 키우기

모범 답안 진핵생물역–세포벽의 펩티도글리칸: 없음, 히스톤과 결합한 DNA: 있음, 고세균역–염색체 모양: 원형

03 생물의 다양성

161쪽 창의력 키우기

특징	외떡잎식물	쌍떡잎식물
떡잎 수	1장	2장
잎맥	나란히맥	그물맥
뿌리	수염뿌리	원뿌리+곁뿌리
관다발	형성층이 없으며, 불규칙적으로 배열	형성층이 있으며, 고리 모양으로 배열

개념 정리하기 169쪽

개념 확인하기

1 진핵생물의 핵과 막성 세포 소기관은 원핵생물의 세포막이 안으로 접혀 들어가 세포막과 분리되어 형성되었고, 숙주 세포와 원핵생물의 공생으로 엽록체와 미토콘드리아가 들어 있는 진핵생물로 진화하였다. 이러한 과정을 막 진화설과 세포내 공생설이라고 한다. 그림에서 A와 B는 각각 미토콘드리아와 엽록체를 의미하므로 이는 세포내 공생설로 설명할 수 있다.

답 세포내 공생설

2 국제적으로 통용되는 생물의 이름을 학명이라고 한다. 이명법은 속명과 종소명으로 구성된다. 생물이 진화해 온 계통을 나뭇가지 모양으로 나타낸 것을 계통수라고 한다.

답 (1) 학명, (2) 종소명, (3) 계통수

3 3역은 고세균역, 세균역, 진핵생물역을 말한다. 고세균에는 진핵생물과 비슷한 히스톤이 있다. 세균은 대부분 분열법으로 빠르게 증식하고, 세대가 짧아 돌연변이체가 빠르게 생성될 수 있다. 헤켈은 다른 무리에 속하지 못하는 생물을 묶어 원생생물계를 만들었다.

답 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4)○

4 답 (1) ㉤ (2) ㉠ (3) ㉡ (4) ㉢ (5) ㉣

개념 응용하기

1 초기 원시 대기에는 수소, 물, 질소가 있었으며, CH_4과 NH_3는 없었다고 한다.

모범 답안 수소, 물, 질소가 지구의 열, 번개 등의 에너지로 반응하여 CH_4와 NH_3가 생성되었다.

2 종의 개념에는 생물학적 종과 형태학적 종이 있다. 전자는 교배를 하여 생식 가능한 자손이 나올 수 있는가에 중점을 두며, 후자는 형태적으로 얼마나 다른가에 중점을 둔다.

(1) **모범 답안** 생물학적 종: 다른 종과 구별되는 공통적인 특징과 생활형을 가지며 서로 교배하여 생식 능력이 있는 자손을 낳을 수 있는 무리. 치와와와 진돗개는 한 종이다.

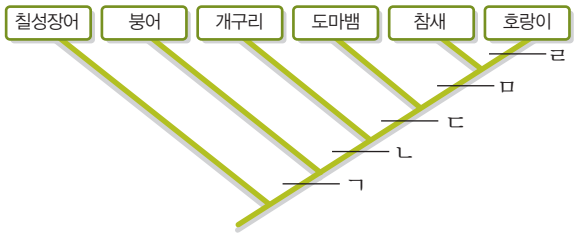
(2) **모범 답안** 형태학적 종: 형태와 구조가 비슷하여 다른 개체들과 구별되는 개체들의 무리. 떡갈나무와 신갈나무는 각각 다른 종이다.

3 계통수를 그릴 때는 형질 특성의 변화가 가장 적게 일어나도록 그린다. 이는 생물에 돌연변이가 일어나면 돌연변이체의 생존 가능성이 낮다는 것에 바탕을 둔다.

모범 답안 (3)에서 '가장 많이'를 '가장 적게'로 수정해야 한다.

4 척추동물의 진화에서 형질 특성의 변화는 턱의 유무, 팔다리의 유무, 수정 방법, 체온 유지, 젖의 분비 순으로 나타난 것으로 알려졌다.

모범 답안



2. 생물의 진화

개념 정리하기 183쪽

개념 확인하기

1 사람의 팔과 고래의 가슴지느러미는 상동 기관이다. 고래 화석으로 고래의 진화 과정을 알 수 있다. 특정 생물이 갈라파고스군도에만 사는 것은 지리적 격리로 가능하며, 헤모글로빈의 아미노산 서열은 분자진화학적 증거이다.

답 (1) ㄹ (2) ㄴ (3) ㄱ (4) ㄷ

2 답 (1) 변이 (2) 경쟁

3 유전자풀이 대를 거듭해도 변하지 않고 유지되는 상태를 유전적 평형이라고 하며, 유전적 평형이 유지되는 가상의 집단을 멘델 집단이라고 한다. 같은 종 내에서 유전적 교류가 차단되어 두 집단이 서로 다른 진화의 경로를 밟게 될 때 종분화가 일어난다.

답 (1) 멘델 집단 (2) 돌연변이 (3) 자연 선택 (4) 종분화

개념 응용하기

1 척추동물의 앞다리와 같이 모양과 기능은 다르지만 기본 구조가 같은 기관을 상동 기관이라고 한다. 곤충의 날개와 새의 날개 같이 발생 기원은 다르지만 모양과 기능이 비슷한 기관을 상사 기관이라고 한다.

모범 답안 생물이 공통 조상으로부터 환경에 따라 각각 다른 방향으로 진화하였다.

2 그림은 진화의 분자진화학적 증거를 보여 준다. 아미노산 서열의 차이가 작을수록 유연관계가 가깝다.

모범 답안 사람과 아미노산 서열 차이가 작은 생물일수록 유연관계가 가까우므로 붉은털원숭이가 사람과 유연관계가 가장 가깝다.

3 열성 동형 접합자(aa)의 비율은 $q^2 = \frac{1}{10000}$이므로 대립유전자 a의 빈도 $q = \frac{1}{100} = 0.01$이다. 멘델 집단에서 대립유전자 빈도의 합은 $p+q=1$이므로 대립유전자 A의 빈도 $p = 1 - q = 1 - 0.01 = 0.99$이다.

답 (1) 대립유전자 A의 빈도 p: 0.99
(2) 대립유전자 a의 빈도 q: 0.01

4 **모범 답안** 돌연변이, 진화를 일으키는 요인 중에서 새로운 형질이 만들어지는 요인은 돌연변이이며, 새로운 형질은 개체들 사이의 생존 능력과 번식 능력의 차이를 발생시키기 때문이다.

단원마무리 184~185쪽

1 밀러는 환원성 기체를 담은 플라스크에 장시간 고에너지를 제공하여 간단한 유기물이 합성될 수 있음을 밝혀 오파린이 제안한 화학적 진화설을 증명하였다.

모범 답안 화학적 진화설은 원시 지구의 조건에서 생명체의 기본 물질인 유기물이 자연히 합성되었을 것이라는 가설이다. 밀러는 직접 원시 지구와 같은 환경을 만들어 간단한 유기물이 적절한 조건에서 합성됨을 증명하였다.

2 미토콘드리아와 엽록체는 과거 산소 호흡 세균이나 광합성 세균이 숙주 세포 내에 공생하여 진화한 것으로 생각된다.

모범 답안 미토콘드리아와 엽록체는 독자적인 DNA와 복제 기구를 가지고 있으며, 분열하여 증식할 수 있다. 미토콘드리아의 내막과 엽록체의 틸라코이드 막에는 원핵생물의 세포막에 존재하는 효소와 전자 전달계가 존재한다. 이러한 증거로 보았을 때 미토콘드리아와 엽록체는 과거 독립적으로 살아가던 원핵생물이었음을 알 수 있다.

3 하디·바인베르크 법칙이 성립하는 집단에서는 표현형의 빈도를 이용해 대립유전자의 빈도를 알아낼 수 있다.

(1) **모범 답안** 낭성 섬유증 유전은 상염색체 열성 유전이므로 낭성 섬유증인 아이는 낭성 섬유증 대립유전자를 동형 접합으로 가지며 그 비율은 $q^2 = \frac{1}{2500}$이므로, 낭성 섬유증 대립유전자 빈도 $q = \frac{1}{50} = 0.02$이다.

(2) **모범 답안** 낭성 섬유증 대립유전자 빈도를 q라고 하고, 정상 대립유전자 빈도를 p라고 하면 보인자의 빈도는 $2pq$이다. q가 0.02이고, p가 0.98이므로 $2pq$는 0.0392 = 3.92 %이다.

4 생물의 분류 체계는 생명 과학 연구 방법의 발달과 함께 새로운 지식이 축적되면서 변화해 왔다.

(1) **모범 답안** 헤켈은 동물과 식물로 분류하기 어려운 미생물을 발견하면서 린네의 2계 체계에 원생생물계를 추가하여 3계 체계를 정립하였다.

(2) 답

(3) **모범 답안** 우즈는 여러 생물의 특정 rRNA 염기 서열을 기반으로 기존에 원핵생물계로 분류하던 고세균과 세균을 나누어야 한다고 주장했다. 또한 고세균과 세균을 계의 상위 단계인 역으로 조정하여 분류의 최상위 단계를 세균역, 고세균역, 진핵생물역으로 분류할 것을 제안하였다. 반면, 형태와 구조를 중요시하는 분류학자들은 분류 기준으로 특정 rRNA의 유전적인 차이보다 막의 모양과 같은 형태적인 특징이 중요함을 강조하며 3역 분류 체계에 반론을 제시하고 있다.

VI 생명 공학 기술과 인간 생활

1. 생명 공학 기술의 원리와 활용

01 유전자 재조합 기술

192쪽 **창의력 키우기**

모범 답안 대장균에 항생제 X 저항성 유전자와 항생제 Y 저항성 유전자가 있으면 플라스미드가 없어도 항생제 첨가 배지에서 생존할 수 있으므로 형질 전환된 대장균을 선별할 수 없다.

196쪽 **창의력 키우기**

모범 답안 범죄 현장에 남겨진 적은 양의 DNA를 PCR 기술을 이용하여 증폭하고, 증폭한 DNA를 DNA 지문 검사로 분석하면 범인을 찾을 수 있다.

02 다양한 생명 공학 기술의 원리와 활용

198쪽 **창의력 키우기**

모범 답안 방사선이나 항암제로 암을 치료하면 그 과정에서 암세포뿐만 아니라 정상 세포도 손상될 수 있다. 하지만 단일 클론 항체를 사용하면 암세포에만 결합하여 부작용을 줄일 수 있다.

개념 정리하기 205쪽

개념 확인하기

1 생명 공학 기술에는 유전자 재조합 기술, 세포 융합, 핵치환, 조직 배양 등이 있다.

답 (1) ㉣ (2) ㉡ (3) ㉢ (4) ㉠

2 형질 전환 생물은 유전자 재조합 기술로 만들 수 있고, 단일 클론 항체는 특정 항원과 반응하므로 질병이나 임신을 진단하는 데 활용된다. 핵치환 기술로 복제된 동물의 핵 DNA는 핵을 제공한 동물의 핵 DNA와 같다. 배아 줄기세포는 인체의 모든 종류의 세포로 분화할 수 있지만, 환자에게서 면역 거부 반응이 일어날 수 있다. 식물은 조직 배양 기술을 사용하여 동일한 개체를 다량으로 얻을 수 있다.

답 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) ○

개념 응용하기

1 (1) PCR는 DNA 변성, 프라이머 결합, DNA 합성 과정을 반복하여 다량의 DNA를 얻는 기술이다.

답 (가) 고온에서 염기 사이의 수소 결합을 끊어 DNA 이중 나선을 단일 가닥으로 분리한다.
(나) 프라이머가 각 DNA 단일 가닥에 결합한다.
(다) DNA 중합 효소로 새로운 DNA 가닥을 합성한다.

(2) DNA 이중 나선을 단일 가닥으로 분리하려고 가열한다.

답 (가)

(3) (가)~(다) 과정을 n번 반복하면 DNA 양은 2^n배로 증가한다.

답 2^{10}배

2 (1) 세포 융합 기술은 두 종류의 세포를 융합하여 두 세포가 지닌 형질을 모두 갖는 잡종 세포를 만드는 기술이고, 조직 배양 기술은 세포나 조직 일부를 인공적인 환경에서 배양하고 증식시키는 기술이다.

답 (가) 세포 융합 (나) 조직 배양

(2) 잡종 세포는 세포 융합에 사용된 B 림프구의 항체를 생산하는 형질과 암세포의 계속 분열하는 형질을 모두 갖는다.

모범 답안 잡종 세포는 계속 분열하면서 항체를 생산한다.

2. 생명 공학 기술과 생명 윤리

개념 정리하기 217쪽

개념 확인하기

1 유전자 재조합 기술로 형질 전환 생물을, 핵치환 기술로 복제 동물을 만들고 B 림프구와 종양 세포를 세포 융합하여 단일 클론 항체를 만든다. PCR로 특정 DNA를 대량 복제한다.

답 (1) ㉡ (2) ㉠ (3) ㉢ (4) ㉣

2 유전자 재조합 기술을 이용하여 유전자를 변형시킨 살아 있는 생명체를 LMO라고 한다. 배아 줄기세포는 배아로부터 얻어지므로 잠재적인 생명체를 이용한다는 점에서 윤리적인 문제가 있다. 유전자 치료에서 바이러스를 운반체로 사용할 경우 종양이 형성될 수 있다.

답 (1) ○ (2) × (3) ×

3 (1) 유전자 재조합 기술은 유용한 유전자와 플라스미드를 자르고 두 DNA를 연결하여 재조합 DNA를 만드는 기술이다. 유전자 재조합 기술을 이용하여 형질 전환 생물을 만들 수 있다.

답 (가) → (다) → (라) → (나)

(2) 유전자 재조합 기술은 원하는 DNA 부위를 자를 수 있는 제한 효소와 절단한 DNA 조각들을 연결하는 DNA 연결 효소가 필요하다.

답 효소 A: 제한 효소, 효소 B: DNA 연결 효소

개념 응용하기

1 (1) 유전자 재조합 기술을 이용하여 형질 전환 생물을 만들면 유용한 물질을 대량으로 얻을 수 있다.

답 유전자 재조합 기술

(2) 재조합 백신은 항원 단백질을 백신으로 만든 것이다.

모범 답안 재조합 백신은 병원체 유전자를 다른 생물에 삽입한 뒤 합성된 병원체의 일부를 사용하여 만든 것이므로 독성이 없다. 또한 재조합 백신의 개발로 백신을 다량으로 만들 수 있게 되어 공급이 원활해지고 가격이 낮아졌다.

2 유전자 치료란 유전자에 결함이 있는 유전병 환자에게 정상 유전자를 넣어 치료하는 방법이다.

모범 답안 체세포를 대상으로 유전자 치료를 하였으므로 환자가 자손에게 유전병 유전자를 물려줄 확률은 유전자 치료 전과 같다.

단원마무리 218~219쪽

1 플라스미드에 유용한 유전자가 삽입될 확률과 재조합된 플라스미드가 숙주 대장균으로 삽입될 확률은 낮다. 그러므로 재조합된 플라스미드가 있는 대장균만을 선택하는 선별 과정은 매우 중요하다.

모범 답안 재조합 플라스미드가 있는 콜로니들은 *lacZ* 유전자가 발현되지 않으므로 X-gal을 분해하지 못해 콜로니 색이 흰색이고, 비재조합 플라스미드가 있는 콜로니는 발현된 *lacZ* 유전자 산물이 X-gal을 분해하여 콜로니 색이 푸른색이 된다. 플라스미드가 없는 숙주 대장균은 앰피실린이 포함된 배지에서 콜로니를 형성하지 못한다.

2 DNA 반복 서열의 길이는 사람마다 달라 지문과 같이 사람을 식별하는 데 사용할 수 있다. 범죄 현장에서 얻은 범인의 DNA와 용의자의 DNA가 일치하면 용의자를 범인으로 판단할 수 있다.

모범 답안 범인의 DNA 일부를 증폭하여 전기영동을 한 패턴과 용의자 B의 DNA 일부를 증폭하여 전기영동을 한 패턴이 같으므로, 용의자 A~C 중 범인으로 판단할 수 있는 사람은 용의자 B이다.

3 줄기세포에는 배아 줄기세포, 성체 줄기세포, 유도 만능 줄기세포가 있다.

(1) **모범 답안** 환자 맞춤형 줄기세포를 만들 수 있어 개인에게 맞는 치료제의 효과와 독성을 시험할 수 있고, 세포나 조직을 이식하였을 때 면역 거부 반응이 없다.

(2) **모범 답안** 배아 줄기세포는 초기 단계의 배아로부터 얻는다. 따라서 배아 줄기세포를 얻으려면 발생하고 있는 배아를 희생시켜야 한다는 점에서 윤리적인 문제가 있다. 또한 수정란으로부터 얻은 배아 줄기세포나 배아 줄기세포로부터 분화된 조직을 환자에게 이식하면 면역 거부 반응이 나타날 수 있다. 하지만 성체 줄기세포와 유도 만능 줄기세포는 난자나 배아를 사용하지 않고 환자 자신의 체세포를 사용하므로 윤리적인 문제가 적고, 면역 거부 반응이 없다는 장점이 있다.

찾아보기

ㄱ

가수 분해 효소 56
개시 코돈 118
거친면 소포체 38
겉씨식물 161
결합 조직 31
계통 152
계통 분류 152
계통수 152
고리종 180
고세균 157
고장액 48
골지체 38
광계 85, 90
광인산화 91
광합성 67
구아닌(G) 30, 105
균계 162
균류 162
균사 162
그라나 40, 69, 85
극피동물문 165
극호열균 157
극호염균 157
근거리 조절 부위 132
근육 세포 79
근육 조직 31
글리세롤 28
글리코젠 28
기관 31
기관계 31
기질 40, 68
기질 수준 인산화 71
기질 특이성 55

ㄴ

내분비계 31
녹말 28
뉴클레오타이드 30, 105
능동 수송 51

ㄷ

다당류 28
단당류 28
단순 확산 48
단일 클론 항체 197
대단위체 121
대립유전자 빈도 154
독립 영양 생물 148
돌연변이 177
동물계 162
등장액 48
DNA 30
DNA 복제 모델 109
DNA 분해 효소 104
DNA 연결 효소 110, 190
DNA 운반체 190
DNA 중합 효소 110
DNA 지문 검사 196
디옥시리보뉴클레오타이드 30
디옥시리보스 30, 105

ㄹ

루비스코 93
리보뉴클레오타이드 30
리보솜 38
리보스 30
리보자임 147
리소좀 41
리포솜 53, 146

ㅁ

마이크로스피어 146
막 진화설 149
매끈면 소포체 38
메테인 생성균 157
멘델 집단 177
면역계 31
명반응 88, 90
미세 섬유 42
미세 소관 42
미토콘드리아 36, 40, 68

ㅂ

반보존적 복제 110
반복 서열 196
발효 77
배설계 31
배아 줄기세포 200
번역 117
병목 효과 178
보조 인자 56
복제 동물 199
분류 단계 151
분류 체계 154
분자 생물학 14
붉은빵곰팡이 115
비관다발 식물 160
비들 115
비순환적 전자 흐름 90
비종자 관다발 식물 160

ㅅ

사이토신(C) 30, 105
산소 호흡 77
산화 환원 효소 56
산화적 인산화 70, 74
3배엽성 동물 162
삼투 48
3PG 93
상보적 결합 106
생명 공학 기술 189
생물 분류 151
생물학적 종 151

생식계 31
생태학 13
샤가프의 법칙 105
선구동물 163
선도 가닥 110
선택적 투과성 47
선형동물문 165
성체 줄기세포 201
세균 156
세포 33
세포 골격 42
세포 분화 133
세포 분획법 35
세포 융합 197
세포 호흡 67
세포내 공생설 149
세포내 섭취 52
세포내 소화 41
세포막 41
세포벽 42
세포설 33
세포외 배출 52
세포학 14
셀룰로스 28, 42
소단위체 121
소포체 36, 38
속씨식물 161
수소 결합 27
순환적 전자 흐름 91
스테로이드 28
스트로마 40, 69, 85
스트로마톨라이트 148
시스터나 38
시트룰린 116
시트르산 72
식물계 159
식세포 작용 52
신경 조직 31
신경계 31
쌍떡잎식물 161

ㅇ

아데닌(A) 30, 105
아르지닌 116
아미노산 29
아세트알데하이드 79
아세틸 CoA 72
안티코돈 121
rRNA 121
RNA 30
RNA 중합 효소 120
알칼톤뇨증 115
알코올 발효 78, 79
액포 41
얀선 33
양서류 165
어류 165
억제 단백질 130
mRNA 121
연체동물문 164
염기 30, 104
염색질 131
엽록소 85
엽록체 36, 40, 68, 69
오르니틴 116
오파린 145
옥살아세트산 72
외떡잎식물 161
용불용설 13
용혈 48
운반체 단백질 50
원거리 조절 부위 132
원구류 165
원생생물계 158
원핵세포 36, 106
원형질 복귀 50
원형질 분리 50
위상차 현미경 34
유도 만능 줄기세포 201
유라실(U) 30, 120
유전부호 118
유전자 가위 208
유전자 발현 117
유전자 변형 생명체(LMO) 211
유전자 치료 208
유전자 흐름 179
유전자의 구조 107
유전자풀 175
유전적 부동 178
유전체의 구성 107
유전학 14
음세포 작용 52
이당류 28
이명법 152
2배엽성 동물 162
이성질화 효소 56
이중 나선 106
인산 28, 30, 105
인지질 28
1유전자 1효소설 116

ㅈ

자기 방사법 35
자연 발생설 14
자연 선택 13, 156
자포동물문 164
작동 부위 130
저장액 48
저해제 58
전구 물질 116
전사 117
전사 억제 인자 132
전사 인자 132
전사 촉진 인자 132

전이 효소 56
전자 전달 효소 68
전효소 56
절지동물문 165
젖당 오페론 130
젖산 발효 79
제거 부가 효소 56
제한 효소 190
조류 180
조절 부위 165
조직 31
조직 배양 202
조직계 32
조효소 56
종 151
종결 코돈 118
종속 영양 생물 148
종자식물 161
주사 전자 현미경(SEM) 34
주형 110
주효소 56
줄기세포 200
중간 섬유 42
중성 지방 28
중심 원리 117
중합 효소 연쇄 반응(PCR) 17, 195
지리적 격리 180
지방산 28
지연 가닥 110
지질 28
진핵생물 157
진핵세포 36, 106
진화 13
진화학 13

ㅊ

척삭동물문 165
척추동물 165
체온 유지 27
촉매 54
촉진 확산 50
최대 팽윤 상태 50
최적 온도 58
최적 pH 58
치료용 항체 198

ㅋ

카탈레이스 58
캘빈 회로 88
코돈 118
코아세르베이트 146
크리스타 40, 68

ㅌ

타이민(T) 30, 105
탄소 고정 반응 92
탄수화물 28
테이텀 115
통로 단백질 50
투과 전자 현미경(TEM) 34
TCA 회로 70, 72
tRNA 121
틸라코이드 40, 69, 85

ㅍ

파충류 165
팽압 50
펩타이드 결합 29
펩티도글리칸 36
편형동물문 164
포유류 165
포자 160
폴리뉴클레오타이드 105
폴리펩타이드 29
프라이머 195
프로모터 120
플라스미드 190
피루브산 71

ㅎ

하디·바인베르크 법칙 176, 177
학명 152
해당 과정 70, 71
해면동물문 164
핵 36, 38
핵산 30
핵심 조절 유전자 134
핵치환 199
현미경 12, 34
형광 현미경 34
형질 전환 104
형질 전환 생물 194
형태학적 종 151
호미오 유전자 135
호흡 기질 70
호흡계 31
호흡률 76
혹스 유전자 135
화석 151
화학 삼투 74
화학적 진화설 145
확산 48
환형동물문 164
활성 부위 55
활성화 에너지 54
효소 54, 55
효소·기질 복합체 55
후구동물 163
훅 33
흡수 스펙트럼 86
흡수력 50

자료 출처

사진 자료

표지 전체: 셔터스톡
1쪽 해파리: 셔터스톡
2쪽 열쇠: 게티이미지코리아
4쪽 폐렴균: 게티이미지코리아
6~7쪽 전체: 게티이미지코리아

Ⅰ 생명 과학의 역사

8~9쪽 벽화: 게티이미지코리아
10쪽 세포 사진: 게티이미지코리아
11쪽 고대 이집트의 벽화: 게티이미지코리아
12쪽 전체: 게티이미지코리아
16쪽 광학 현미경: 굿이미지
광학 현미경으로 관찰한 물속 플랑크톤: 게티이미지코리아
17쪽 호지킨, 헉슬리, 사람의 16번 염색체 속 유전 정보: 게티이미지코리아
광릉요광꽃의 유전자 지도, 광릉요광꽃, 광릉요광꽃(배경): 연합뉴스
18쪽 전체: 게티이미지코리아
19쪽 플레밍: 게티이미지코리아
21쪽 1번 문제: 게티이미지코리아
22쪽 1번 문제: 게티이미지코리아

Ⅱ 세포의 특성

24~25쪽 세포: 게티이미지코리아
26쪽 소포체: 게티이미지코리아
27쪽 보도 블록: 셔터스톡
물(배경): 게티이미지코리아
28쪽 탄수화물 종류: 셔터스톡
셀룰로스, 글리코젠: 게티이미지코리아
29쪽 적혈구: 셔터스톡
33쪽 세포, 세포설: 게티이미지코리아
34쪽 현미경: 게티이미지뱅크
현미경으로 관찰한 상: 게티이미지코리아
38쪽 전체: 게티이미지코리아
40쪽 미토콘드리아, 엽록체: 게티이미지코리아
41쪽 중심 액포, 세포막: 게티이미지코리아
42쪽 전체: 게티이미지코리아
43쪽 키네신: 게티이미지코리아
46쪽 식균 작용: 게티이미지코리아
47쪽 놀이동산: 셔터스톡
48쪽 확산: 게티이미지코리아
49쪽 전체: 게티이미지코리아
50쪽 시든 식물: 게티이미지코리아
53쪽 리포솜: 게티이미지코리아
54쪽 손, 파인애플: 게티이미지코리아
소독: 셔터스톡
55쪽 아밀레이스의 구조: 게티이미지코리아
59쪽 새우젓: 토픽 이미지스
의약품: 셔터스톡
세제, 오염 물질 정화: 게티이미지코리아
62쪽 식물 세포, 동물 세포: 게티이미지코리아

Ⅲ 세포 호흡과 광합성

64~65쪽 레서판다: 셔터스톡
66쪽 미토콘드리아: 게티이미지코리아
67쪽 기린: 셔터스톡
68쪽 미토콘드리아: 게티이미지코리아
69쪽 엽록체: 게티이미지코리아
70쪽 마라톤: 셔터스톡
72쪽 크레브스: 게티이미지코리아
77쪽 요구르트: 셔터스톡
80쪽 김치, 포도주: 게티이미지코리아
막걸리: 셔터스톡
81쪽 바이오에탄올: 게티이미지코리아
84쪽 나뭇잎: 게티이미지코리아
85쪽 태양 전지: 게티이미지코리아
86쪽 블루베리: 셔터스톡
88쪽 나뭇잎: 게티이미지코리아
94쪽 그라나: 게티이미지코리아

Ⅳ 유전자의 발현과 조절

100~101쪽 세포 분열 현미경 사진: 게티이미지코리아
102쪽 폐렴균: 게티이미지코리아
104쪽 전체: 게티이미지코리아
105쪽 DNA의 X선 회절 사진: 게티이미지코리아
110쪽 배경: 게티이미지코리아
114쪽 열쇠: 게티이미지코리아
115쪽 전체: 게티이미지코리아
118쪽 니런버그: 게티이미지코리아
123쪽 세포질에서의 단백질 합성 과정: 게티이미지코리아
128쪽 염색체 현미경 사진: 게티이미지코리아
133쪽 조직 배양 중인 식물: 게티이미지코리아
135쪽 전체: 게티이미지코리아
141쪽 4번 문제: 게티이미지코리아

V 생물의 진화와 다양성

142~143쪽 다양성: 게티이미지코리아
144쪽 바닷속 생물: 게티이미지코리아
145쪽 악어: 게티이미지코리아
146쪽 전체: 게티이미지코리아
148쪽 전체: 게티이미지코리아
150쪽 최초의 다세포 생물: 게티이미지코리아
151쪽 신갈나무, 떡갈나무: 연합뉴스
진돗개: 게티이미지뱅크, 치와와: 게티이미지코리아
152쪽 생물계에 관한 최초의 계통수: 게티이미지코리아
153쪽 능이버섯, 제비붓꽃: 개인 사진 작가 제공
고사리, 호박, 은행나무, 우산이끼: 게티이미지코리아
156쪽 바닷속 생물, 젖산균: 게티이미지코리아
아나베나: 윤익 이미지
포도상 구균, 대장균: 토픽 이미지스
157쪽 옐로스톤 국립 공원: 토픽 이미지스
사해: 게티이미지뱅크, 습지: 개인 사진 작가 제공
극호열균, 극호염균, 메테인 생성균: 게티이미지코리아
158쪽 짚신벌레, 아메바, 방산충, 유글레나, 갈적색털점균, 규조류, 볼복스: 게티이미지코리아
우뭇가사리, 다시마: 토픽 이미지스
159쪽 산개고사리: 개인 사진 작가 제공
우산이끼, 소나무: 게티이미지코리아
살구나무: 게티이미지뱅크
160쪽 물이끼, 고사리: 개인 사진 작가 제공
우산이끼, 뿔이끼, 쇠뜨기: 게티이미지코리아
석송: 토픽 이미지스, 솔잎란: 셔터스톡
161쪽 소철, 강아지풀, 붓꽃, 콩, 무궁화, 서양민들레: 게티이미지코리아
은행나무, 벼, 호박, 보리: 토픽 이미지스
구상나무: 윤익 이미지
측백나무: 개인 사진 작가 제공
162쪽 전체: 게티이미지코리아
163쪽 전복의 담륜자 유생: 게티이미지코리아
164쪽 주황해변해면, 참거머리: 게티이미지코리아
담황줄말미잘, 바다플라나리아, 피뿔고둥, 개량조개, 참지렁이: 개인 사진 작가 제공
갑오징어: 게티이미지뱅크
165쪽 산왕거미, 민꽃게: 연합뉴스
왕지네, 호랑나비, 창고기, 예쁜꼬마선충, 해삼: 게티이미지코리아, 우렁쉥이: 윤익 이미지
166쪽 별불가사리, 방아깨비, 원앙: 게티이미지코리아
맛조개: 셔터스톡
170쪽 나방: 게티이미지코리아
171쪽 삼엽충 화석: 게티이미지뱅크
172쪽 전체: 게티이미지코리아
173쪽 전체: 게티이미지코리아
175쪽 노랑무늬붓꽃, 금붓꽃: 개인 작가 제공
177쪽 전체: 게티이미지코리아
178쪽 북방코끼리바다표범: 셔터스톡
179쪽 생태 통로: 게티이미지코리아
180쪽 갈라파고스군도 생물상: 셔터스톡
큰군함조, 푸른발부비새: 게티이미지코리아
181쪽 버들솔새: 게티이미지코리아

VI 생명 공학 기술과 인간 생활

186~187쪽 마이크로어레이: 게티이미지코리아
188쪽 DNA 분석: 게티이미지코리아
189쪽 인슐린 주사, DNA 이중 나선 구조, 의약품, PCR 기계, 유전자 변형 식품, 사람 유전체 염기 서열 결정, 차세대 염기 서열 분석법: 게티이미지코리아
줄기세포, 멘델: 윤익 이미지
술, 빵, 치즈: 토픽 이미지스
돌리: 연합뉴스, 유전자 가위: 셔터스톡
194쪽 형질 전환 소, 황금 쌀: 게티이미지코리아
형광 고양이: 연합뉴스
형질 전환 식물: 국립농업과학원 농업생명자원부 신작물개발과 황덕주 박사, 2017.
195쪽 멀리스: 알파포토/Rex Features
196쪽 전기영동 실험 장치: 게티이미지코리아
197쪽 밀스테인: 게티이미지코리아
198쪽 말라리아 진단 키트: 게티이미지코리아
199쪽 돌리: 게티이미지코리아
200쪽 수정란, 2세포기, 4세포기, 배반포: 게티이미지뱅크
배아 줄기세포: 윤익 이미지
201쪽 거던, 야마나카: 게티이미지코리아
202쪽 조직 배양 기술로 재배한 감자: 농촌진흥청, 2016.
조직 배양 기술로 재배한 딸기: 충남농업기술원 논산딸기시험장, 2016.
203쪽 전체: 게티이미지코리아
206쪽 조직 배양: 게티이미지코리아
207쪽 젖소: 토픽 이미지스

의료, 전자·정보, 기계, 식품·농축산물, 산업 바이오, 환경: 게티이미지코리아

209쪽 복제 돼지: 연합뉴스
유전자 가위로 생장, 발달 조절에 관여하는 유전자를 교정한 상추: IBS 김진수, 서울대 최성화 교수, 2015.
증거물 분석: 게티이미지코리아

210쪽 전체: 게티이미지코리아

211쪽 전체: 게티이미지코리아

213쪽 스너피: 연합뉴스, 판사봉: 게티이미지코리아

부록

220쪽 미토콘드리아: 게티이미지코리아

228쪽 실험 기구: 셔터스톡

"출처 표시를 안 한 사진 및 삽화 등은 저작자 및 발행사에서 저작권을 가지고 있는 경우임."

인용 자료

17쪽 생체 내 신호 전달을 연구하는 데 이용된 실험 장치와 결과: Hodgikin, A. L., Huxley, A. F., 「Resting and action potentials in single nerve fibers」, 『J. Physiol.』, 1945.

21쪽 2번: Hodgikin, A. L., Huxley, A. F., 「Resting and action potentials in single nerve fibers」, 『J. Physiol.』, 1945.

27쪽 인체의 구성 원소와 구성 성분: 김양호, 김윤환 외 9명, 『인체 생리학』, 현문사, 2009.

35쪽 자기 방사법: Pavón, M., Esteban, M., 「Analysis of phosphoprotenis after PKR induction」, 『Journal of interferon and cytokine research』, 1999.

50쪽 식물 세포의 삼투압, 팽압, 흡수력의 관계: Duca, M., 『Plant Physiology』, SpringerVerlag, 2015.

51쪽 단순 확산과 촉진 확산의 물질 이동량 비교: Stenfield, C. L., Germann, W. L., 『Principles of Human Physiology 3rd ed.』, Addison-wesley, 2008.

51쪽 적혈구 안팎의 이온 분포: Widmaier, E. P., 『Vander's Human Physiology 12th ed.』, McGraw-Hill, 2010.

56쪽 효소의 종류: Nelson, D. L., Cox, M. M., 『Lehninger Principles of Biochemistry 5th ed.』, 2008.

58쪽 최적 온도: Reece 외, 전상학 역, 『캠벨 생명과학 9판』, 바이오사이언스, 2012.
최적 pH: Enger, E., Ross, F., 『Laboratory Manual Concepts in Biology』, 2011.

75쪽 ATP 합성: Reece 외, 전상학 역, 『캠벨 생명과학 9판』, 바이오사이언스, 2012.

76쪽 호흡률: Das, D., 『Biochemistry 12th ed.』, American Publishers, 2005.

86쪽 흡수 스펙트럼, 작용 스펙트럼: Reece 외, 전상학 역, 『캠벨 생명과학 9판』, 바이오사이언스, 2012.

107쪽 다양한 생물의 유전체 특징 비교: Watson, J. D., 『Molecular Biology of the Gene 7/E』, Pearson, 2013.

145쪽 밀러의 실험: Lazxano, A., Bada, J. L., 「The 1953 Stanley L. Miller experiment: fifty years of prebiotic organic chemistry」, 『Origins of Life and Evolution of the Biosphere 33』, 2003.

148쪽 대기 중 산소의 농도: Hillis 외, 김원역, 『생명의 원리 2판』, 라이프사이언스, 2015.

171쪽 고래 화석: Gingerich. P. D., 「Land-to-sea transition in early whales: evolution of Eocene Archaeoceti (Cetacea) in relation to skeletal proportions and locomotion of living semiaquatic mammals.」, 『Paleobiology 29』, 2003.
Thewissen, J. G. M., Williams, E. M., Roe, L. J. & Hussain, S. T., 「Skeletons of terrestrial cetaceans and the relationship of whales to artiodactyls」, 『Nature, VOL.413』, 2001.

172쪽 사람의 사이토크롬 C와 차이 나는 아미노산의 수: Dobzhansky 외, 『Evolution』, W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1977.

179쪽 치후아후아가문비나무 개체군 크기: Molles, M. C., 『Ecology: Concepts and Applications 6th ed.』, McGraw-Hill, 2013.

181쪽 고리종: Irwin, D. E., Bensch, S., Price, T. D., 「Speciation in a ring」, 『Nature, VOL. 409』, 2001.

183쪽 2번: Campbell 외, 김명원 역, 『생명과학: 이론과 현상의 이해 4판』, 라이프사이언스, 2004.

"집필진의 직접 집필인 경우 출처를 밝히지 않았음."

Team of Writers

집 | 필 | 진

이 준 규

서울대학교 자연과학대학 동물학과 졸업
서울대학교 자연과학대학 동물학과 석사
서울대학교 자연과학대학 분자생물학과 박사
|현| 서울대학교 생물교육과 교수

김 재 근

서울대학교 사범대학 생물교육과 졸업
서울대학교 사범대학 과학교육과 석사
데이비스 캘리포니아대학교 이학박사
|현| 서울대학교 생물교육과 교수

윤 신 선

서울대학교 사범대학 생물교육과 졸업
서울대학교 사범대학 생물교육과 식물생리생태 전공 석사
|현| 혜원여자고등학교 교사

최 종 훈

서울대학교 사범대학 생물교육과 졸업
|현| 서울대학교 사범대학 부설고등학교 교사

김 선 혜

한국교원대학교 자연대학 생물교육과 졸업
|현| 신목고등학교 교사

정 태 실

한국교원대학교 환경교육, 생물교육과 졸업
서울대학교 사범대학 과학교육과 생물 전공 석사
서울대학교 사범대학 과학교육과 생물 전공 박사 과정
|현| 저현고등학교 교사

단 | 원 | 별 | 집 | 필

Ⅰ 생명 과학의 역사	최종훈
Ⅱ 세포의 특성	윤신선
Ⅲ 세포 호흡과 광합성	정태실
Ⅳ 유전자의 발현과 조절	이준규
Ⅴ 생물의 진화와 다양성	김재근
Ⅵ 생명 공학 기술과 인간 생활	김선혜

검정심의회

• 위 원 장: 남상욱(강원대학교)
• 간　　사: 임승환(한국과학창의재단)
• 연구위원: 계명찬(한양대학교), 고영규(고려대학교), 김경환(충북대학교), 김호찬(충렬여자중학교), 오정균(목포대학교), 이성재(경희대학교), 이창로(명지대학교), 최현주(일산대진고등학교), 김형배(국립국어원), 정은주(前 국립국어원), 하영우(한국과학기술원)
• 검정위원: 김윤희(경상대학교), 박대호(광주과학기술원), 송점석(세일고등학교), 이신춘(동지여자고등학교), 이윤호(대구일과학고등학교), 정기화(공주대학교), 천충일(숙명여자대학교), 허해룡(공주대학교사범대학부설고등학교)

한국과학창의재단

조향숙, 김기상, 최임정, 김대수, 나준영, 남소현, 조혜정

편　　집 이성주, 김지원, 유예솔
삽　　화 **표지:** 송금진　**내지:** 정승연
사　　진 남궁신, 양창모, 조희태, 박정수, 송영신, 김태우
디 자 인 **표지:** 김희정, 박민정, 이호빈　**내지:** 박희춘, 디자인뷰
일러스트 김성찬, 이재섭

고등학교 생명과학Ⅱ

교육부의 위탁을 받아 한국과학창의재단이 검정 심사를 하였음.

2018. 3. 1. 초판 발행
정가 원

지은이 이준규 외 5인
발행인 (주)천재교육 (서울시 금천구 가산로 9길 54)
인쇄인 (주)프린피아 (서울시 금천구 가산로 9길 54)

이 교과서의 본문 용지는 우수 재활용 제품 인증을 받은 재활용 종이를 사용하였습니다.

교과서에 대한 문의 사항이나 의견이 있으신 분은 '교과서민원바로처리센터(전화: 1566-8572, www.textbook114.com 또는 www.교과서114.com)'에 문의하여 주시기 바랍니다.

이 도서에 게재된 저작물에 대한 보상금은 문화체육관광부 장관이 정하는 기준에 의거 **사단법인 한국복제전송저작권협회(전화: 02-2608-2800, www.korra.kr)**에서 저작재산권자에게 지급합니다.

내용 관련 문의 · (주)천재교육 중등과학부 · 전화: (02) 3282-1781 · 전송: (02) 857-4274
공급 업무 대행 · 사단법인 한국검인정교과서협회 · (10881) 경기도 파주시 문발로 439-1(신촌동 734-1)
개별 구입 문의 · 홈페이지 주소: www.ktbook.com · 전화: (031) 956-8581~4 사단법인 한국검인정교과서협회
www.chunjae.co.kr · 전화: (02) 3282-2851 (주)천재교육

ISBN 979-11-259-2734-1 53400