

고등학교

생물의 유전

오현선
강희정
정종우
이일규
김대준
최중훈



이 책의 구성과 특징

단원 시작 학습

I 유전자의 유전물질

1. 유전물질의 구조와 기능

2. 유전물질의 구성

대단원 도입

대단원에서 학습할 내용을 핵심 아이디어를 통해 확인하고, 단원 연계를 통해 학습의 구조를 파악할 수 있다.

1 사람의 유전과 유전병

유전물질의 전달과 생식기 유전 연구

유전병의 발생 원인과 예방

중단원 도입

- 일상생활 속 상황과 관련된 질문에 답하면서 학습에 호기심을 가질 수 있다.
- 중단원에서 학습해야 할 지식·이해, 과정·기능, 가치·태도를 파악하고, 학습 계획을 스스로 세울 수 있다.

단원 학습

QR 코드를 찍으면 교과서 속 모든 QR 코드와 연결된 디지털 콘텐츠를 확인할 수 있어.



소단원 도입 일상생활 속 다양한 상황을 통해 학습에 흥미를 느낄 수 있다.

본문 학습 목표를 확인하여 스스로 학습하고, 다양한 시각 자료로 학습 내용을 쉽게 이해할 수 있다.

탐구 / 해 보기 조사, 실험, 자료 분석 등 다양한 모둠 활동으로 학습 내용을 이해하고, 활동이 끝나면 스스로 평가할 수 있다.

물음 / 창의 사고 학습 내용을 적용하여 문제를 해결하며 창의력과 사고력을 기를 수 있다.

스스로 확인하기 학습 내용을 스스로 평가하고, 학습 목표를 달성했는지 확인할 수 있다.

01 DNA의 구조

유전물질의 DNA 이중 나선 구조

1. DNA의 구조

2. DNA의 기능

학습 도구

- 용어 해설
- 오개념 바로잡기 학습에 대한 오개념 해결
- 디지털 탐색 인터넷을 이용한 학습으로 디지털 소양 함양
- 생명과학 + 수학 생명과학과 다른 영역의 연계 설명
- 다른 학년 과목과의 연계 설명
- QR 코드를 통해 다양한 디지털 콘텐츠 활용

사람의 유전

1. 유전의 원리

2. 유전병의 발생 원인과 예방

유전체 정보의 보안을 올바르게 활용

1. 유전체 정보의 중요성

2. 유전체 정보의 보안

유전체 정보의 보안을 올바르게 활용

3. 유전체 정보의 활용

4. 유전체 정보의 미래

창의 활동

단원과 관련된 프로젝트 활동을 하면서 개인과 사회 문제를 과학적 근거를 들어 창의적으로 해결하고, 과학 역량을 기를 수 있다.

대단원 마무리

다양한 유형의 문제 풀이, 과학 글쓰기를 통해 학습 내용을 최종 점검하고 과학 역량을 기를 수 있다.

중단원 마무리 학습

유전공학연구원

1. 유전공학의 원리

2. 유전공학의 응용

한국생명공학연구원

1. 생명공학의 원리

2. 생명공학의 응용

생명과학과 나의 미래

생명과학 관련 직업 읽을거리를 통해 스스로 진로를 탐색할 수 있다.

과학 이야기

과학사, 과학자, 최신 과학, 체험 활동 등 다양한 읽을거리를 통해 과학에 흥미를 느낄 수 있다.

유전체 정보의 보안을 올바르게 활용

5. 유전체 정보의 보안을 올바르게 활용

중단원 마무리

학습 내용을 정리하고, 성취도를 스스로 평가할 수 있다.

이 책의 차례

I 유전자와 유전물질

1 사람의 유전과 유전병	
01 유전형질의 전달과 사람의 유전 연구	9
02 사람의 유전 현상	14
03 사람의 유전병	23
● 중단원 마무리	29
2 유전물질	
01 DNA의 구조	31
02 유전체 구성과 유전자 구조	40
03 DNA의 복제	42
● 중단원 마무리	49
창의 활동	50
대단원 마무리	51

II 유전자의 발현










1 유전자발현 과정	
01 유전정보의 흐름	57
02 전사와 번역	60
● 중단원 마무리	69
2 유전자발현 조절	
01 전사에서의 유전자발현 조절	71
02 발생에서의 유전자발현 조절	76
03 유전자발현 조절 및 발생 연구와 인류 복지	80
● 중단원 마무리	83
창의 활동	84
대단원 마무리	85

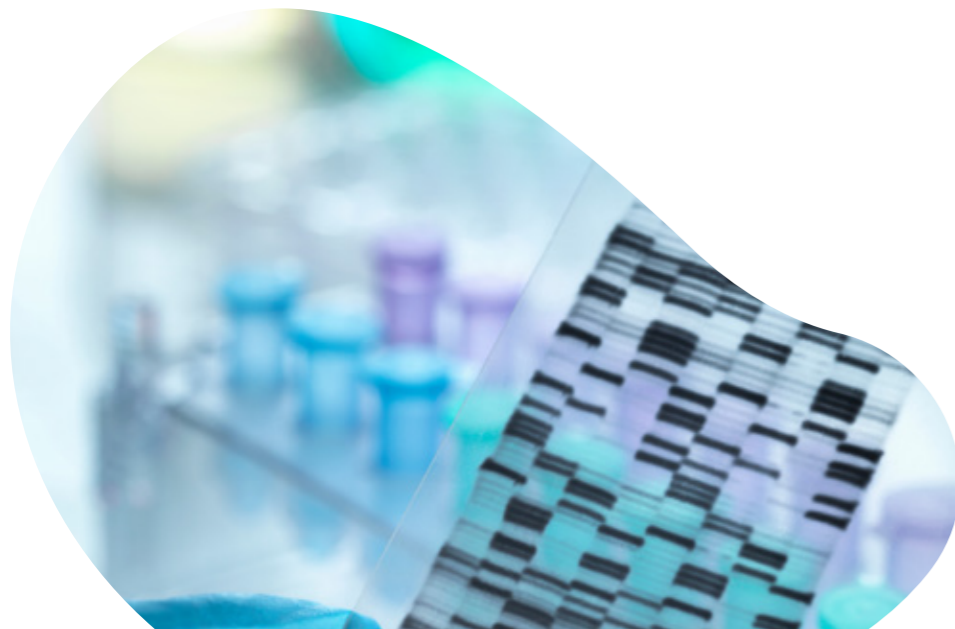
III 생명공학기술

1 생명공학기술의 발달과 활용	
01 생명공학기술의 발달	91
02 난치병 치료에 활용하는 생명공학기술	94
03 생명공학기술 관련 학문 분야와 활용 사례	100
● 중단원 마무리	107
2 생명공학기술의 영향과 생명윤리	
01 유전자변형생물체(LMO)의 특징과 영향	109
02 생명공학기술과 생명윤리	112
● 중단원 마무리	117
창의 활동	118
대단원 마무리	119

부록	121
-----------	-----

실험실 안전 기호

-  화학 물질, 열로부터 보호하기 위해 보안경을 쓴다.
-  위험한 물질로부터 보호하기 위해 실험복을 입는다.
-  뜨거운 기구나 화학 물질을 다룰 때에는 장갑을 낀다.
-  날카로운 물체에 다치지 않게 주의한다.
-  화학 물질이 피부에 묻었을 때에는 흐르는 물에 충분히 씻는다.
-  유리 기구를 다룰 때에는 깨지지 않게 주의한다.
-  가열 장치를 사용할 때에는 화재에 주의한다.
-  실험 폐기물은 선생님의 지도에 따라 처리한다.
-  화학 물질이 피부에 닿지 않게 하고, 독성 기체를 흡입하지 않는다.



I

유전자와 유전물질

생물의 다양한 유전 현상은 어떻게 나타나는 것일까?
이 단원에서는 사람에서 유전형질이 유전되는 방식과 양상을 알아보고,
염색체이상과 유전자이상에 의해 발생하는 유전병에 대해 알아보자.



이 단원의 핵심 아이디어

1 사람의 유전과 유전병

생물의 유전형질은 유전자를 통해 자손으로 전달되며, 염색체 이상과 유전자이상으로 유전병이 발생한다.

2 유전물질

여러 실험적 증거를 통해 DNA가 유전물질이라는 것이 밝혀졌고, DNA는 반보존적으로 복제된다.

단원 연계

중학교 과학

- 생식과 유전

통합과학1

- 물질과 규칙성
- 시스템과 상호작용

생명과학

- 생명의 연속성과 다양성

생물의 유전

1. 사람의 유전과 유전병
2. 유전물질

포트폴리오

이 단원을 학습하면서 나만의 포트폴리오를 만들어 보자.

- 27 쪽 사람의 유전병 조사하기
- 50 쪽 유전물질 관련 책 소개하기

1

사람의 유전과 유전병

- 01 유전형질의 전달과 사람의 유전 연구
- 02 사람의 유전 현상
- 03 사람의 유전병

학습할 내용을 알아보고,
스스로 학습 계획을 세워 봅시다.

같은 부모에서 태어난 형제자매는 외모, 성격 등이 가족이 아닌 다른 사람에 비해 더 닮는다.

들어다보기 나와 가족은 어떤 점이 닮았을까?
생각해 보기 가족끼리 닮은 유전형질에는 어떤 특성이 있을까?



이전 학습 내용

알고 있는 단어에 ✓ 표 해 보자.

- 유전자 유전형질 상염색체 유전 성염색체 유전

이 단원의 학습 내용

지식·이해

- 유전형질이 유전자를 통해 자손으로 유전된다는 것을 설명할 수 있다.
- 사람 유전형질의 유전적 특성을 이해하고, 다유전자유전 현상을 설명할 수 있다.
- 염색체이상과 유전자이상에 의한 사람의 유전병을 구분하여 설명할 수 있다.

과정·기능

- 가계도를 분석하여 사람 유전형질의 유전적 특성을 추론할 수 있다.
- 사람 유전 현상의 다양성 사례를 조사하고 협력적으로 소통할 수 있다.
- 사람의 유전병을 발병 원인별로 계획을 세워 조사할 수 있다.

가치·태도

- 과학적 근거를 들어 사람의 유전 현상을 분석할 수 있다.
- 사람의 유전을 학습하며 과학에 대한 경외심을 느낄 수 있다.

나의 학습 계획

나는 이 단원에서 _____ 을/를 알고 싶다.

01

유전형질의 전달과 사람의 유전 연구

| 학습 목표 |

- 유전형질이 유전자를 통해 자손으로 유전된다는 것을 설명할 수 있다.
- 사람의 유전을 연구하기 어렵다는 것을 이해하고, 사람의 유전 연구 방법의 사례를 설명할 수 있다.



조상의 지식은 책을 통해 후손으로 전달된다. 부모의 유전형질은 자손으로 어떻게 전달될까?

나는 허준, 내의학 지식을 책으로 전해 줄게.

염색체와 대립유전자

유전형질을 결정하는 유전정보는 DNA의 특정 염기서열인 유전자에 저장된다. 상동염색체의 같은 위치에 있는 대립유전자의 조합으로 유전형질이 결정되며, 유전형질을 결정하는 1 쌍의 대립유전자는 같을 수도 있고 다를 수도 있다. 1 쌍의 대립유전자가 서로 다를 때 표현형으로 나타나는 것이 우성이고, 나타나지 않는 것이 열성이다. 대립유전자의 조합에 따라 나타나는 표현형이 두 종류 이상일 때 이 형질들을 대립형질이라고 한다.

사람의 유전형질 중 PTC 미맹은 그림 I-1과 같이 정상 대립유전자와 *PTC 미맹 대립유전자의 조합으로 결정되고, 두 대립유전자는 DNA 염기서열에서 차이가 난다. PTC 미맹에서 대립형질은 PTC의 쓴맛을 느끼는 정상 형질과 PTC의 쓴맛을 느끼지 못하는 PTC 미맹 형질이다.

유전형질의 전달과 사람의 유전 연구는 『생명과학』의 ‘생명의 연속성과 다양성’ 단원과 연계된다.

* PTC 미맹
페닐티오카바마이드(PTC, phenylthiocarbamide) 화합물의 쓴맛을 느끼지 못하는 유전형질

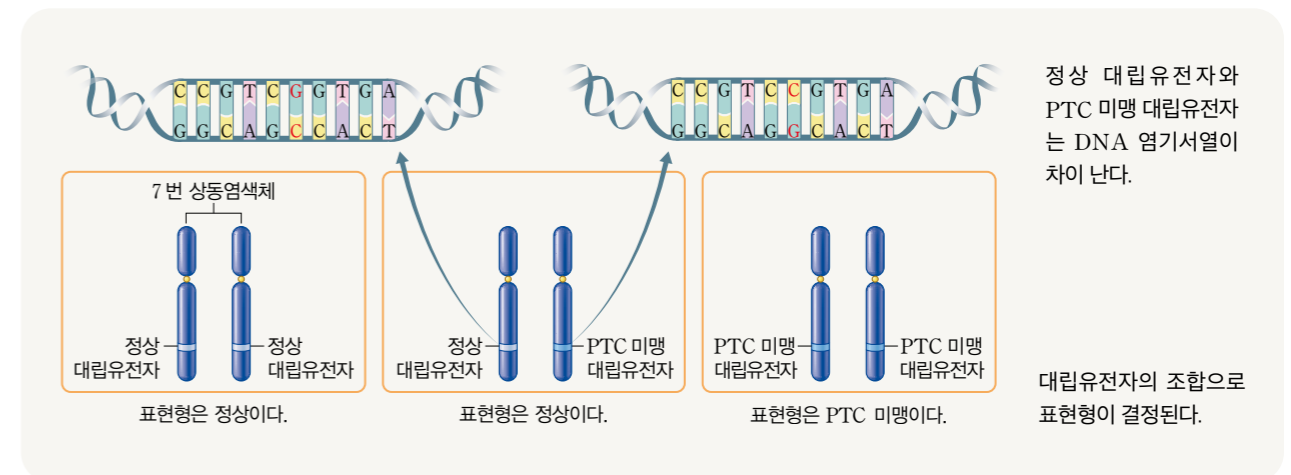


그림 I-1 PTC 미맹의 대립유전자 조합

정상 대립유전자와 PTC 미맹 대립유전자에서 우성은 어느 것일까?

유전형질의 전달

부모의 유전자는 생식세포를 통해 자손으로 전달된다. 감수분열 과정에서 상동 염색체는 분리되어 서로 다른 생식세포로 들어가며, 이때 상동염색체에 있는 대립 유전자 쌍도 분리된다. 정자와 난자가 수정하면 대립유전자가 다시 쌍을 이루어 유전형질이 결정된다. 정상 대립유전자를 T, PTC 미맹 대립유전자를 t라고 할 때 유전형질이 유전자를 통해 자손으로 전달되는 과정은 그림 I-2와 같다.

유전자형의 표기 방법

유전자형은 대립유전자 구성을 알파벳으로 나타낸 것이다. 일반적으로 우성 대립유전자는 알파벳 대문자로, 열성 대립유전자는 알파벳 소문자로 나타낸다.

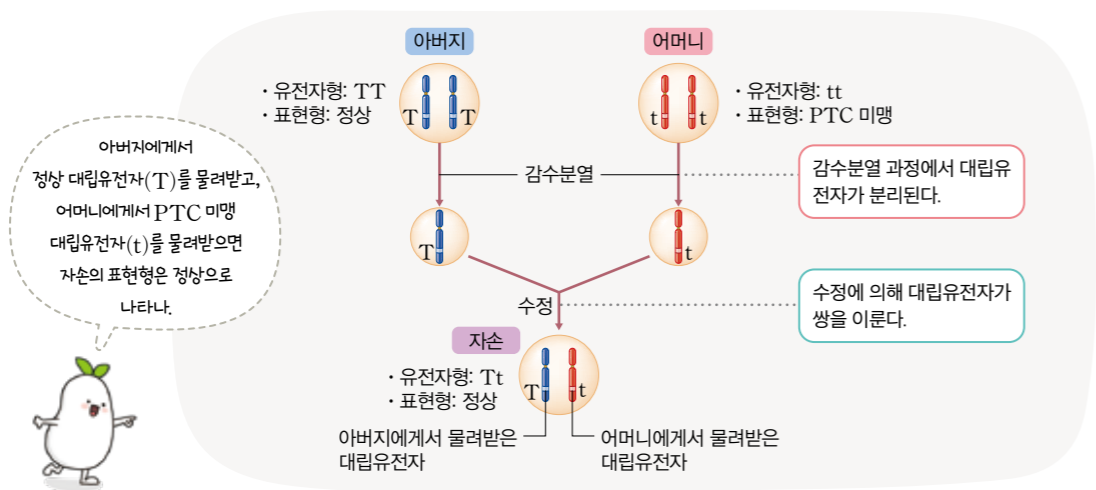
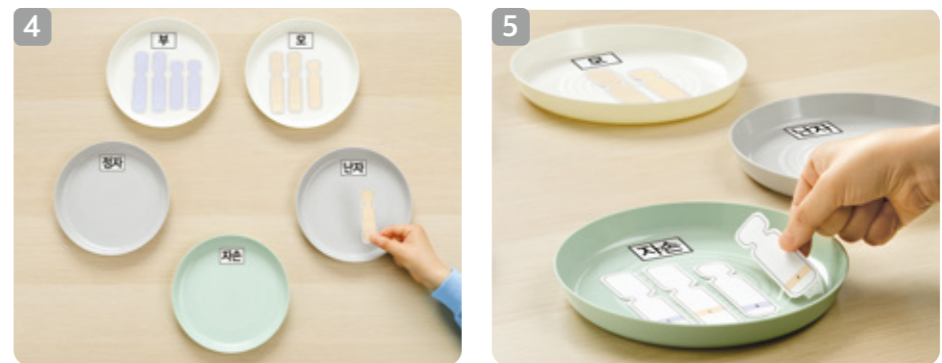


그림 I-2 부모의 유전자가 자손으로 전달되는 과정

다음 탐구에서 유전형질이 유전자를 통해 부모에서 자손으로 전달되는 과정을 알아보자.

- ‘부’, ‘모’ 접시에 있는 2 쌍의 상동염색체에서 염색체를 하나씩 무작위로 뽑아 각각 ‘정자’, ‘난자’ 접시로 옮긴다.
- ‘정자’, ‘난자’ 접시에 있는 염색체를 ‘자손’ 접시로 모두 옮겨 상동염색체끼리 짝을 지은 뒤 염색체를 뒤집어 유전자형을 확인한다.



PTC 미맹과 머리카락 색깔은 각각 1쌍의 대립유전자에 의해서만 결정되며, 유전적 특성은 다음 표와 같다.

유전형질	PTC 미맹		머리카락 색깔	
우열 관계	우성	열성	우성	열성
대립형질	정상	PTC 미맹	갈색	붉은색
대립유전자	T	t	R	r

- 자손의 PTC 미맹, 머리카락 색깔의 유전자형과 표현형을 자손 1의 빈칸에 써 보자. 3~5를 한 번 더 수행하여 얻은 결과를 자손 2의 빈칸에 써 보자.

구분	PTC 미맹		머리카락 색깔	
자손 1	유전자형		유전자형	
	표현형		표현형	
자손 2	유전자형		유전자형	
	표현형		표현형	

4는 생식세포가 형성되는 과정을, 5는 생식세포가 수정하여 자손의 염색체가 형성되는 과정을 나타내.



탐구

추론, 모형 생성

대립유전자와 유전형질의 전달 과정 알아보기

목표 PTC 미맹과 머리카락 색깔 같은 유전형질이 유전자를 통해 부모에서 자손으로 전달되는 과정을 모형을 이용하여 설명할 수 있다.

과정 및 결과

- 부록에 있는 염색체 모형을 잘라 준비한다.
- 2 명이 짝을 이루고, 플라스틱 접시 5 개에 각각 ‘부’, ‘모’, ‘정자’, ‘난자’, ‘자손’이라고 쓴다.
- 2 쌍의 상동염색체를 뒷면이 보이게 ‘부’, ‘모’ 접시에 각각 놓는다.



탐구 능력 | 문제 해결 능력

실험 영상



준비물

- 염색체 모형(부록 125 쪽)
- 플라스틱 접시
- 가위

안전



가위를 사용할 때에는 손을 다치지 않도록 주의한다.

스스로 평가하기

[지식·이해] 부모의 유전형질이 유전자를 통해 자손으로 전달되는 과정을 설명했는가? ☆☆☆

[과정·기능] 부모에서 자손으로 유전자가 전달되는 과정을 염색체 모형으로 표현했는가? ☆☆☆

[가치·태도] 유전형질이 유전자를 통해 전달되는 과정을 모형으로 표현하며 과학적 근거를 들었는가? ☆☆☆

정리

- 부모의 유전형질이 유전자를 통해 자손으로 전달되는 과정을 설명해 보자.
- [사고력]** 같은 부모에게서 태어난 형제자매에서 특정 유전형질의 표현형이 다르게 나타날 수 있는 까닭을 탐구 결과를 근거로 하여 설명해 보자.

사람의 유전 연구 방법은 중학교 『과학』의 '생식과 유전' 단원과 연계된다.

사람의 유전 연구 방법

과학자들은 완두, 초파리, 사람 등 여러 생물의 유전자와 유전 현상에 대해 활발하게 연구하고 있다. 다음 해 보기에서 완두의 유전을 연구하는 것과 사람의 유전을 연구하는 것에는 어떤 차이점이 있는지 알아보자.

멘델
(Mendel, G. J., 1822~1884)

오스트리아의 수도사. 1856년부터 완두로 교배실험을 하여 유전의 기본 원리를 발견했다.

해보기

유전 연구 대상으로서 완두와 사람 비교하기

다음은 완두와 사람을 유전 연구의 대상으로 이용할 때의 특징을 설명한 것이다.

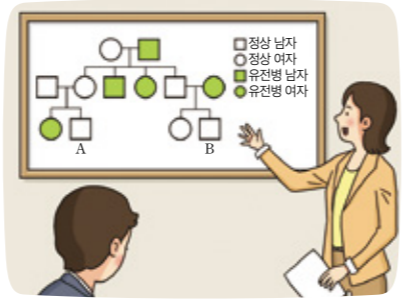
완두의 특징

- 완두는 열매의 색깔이 노란색과 초록색, 꽃의 색깔이 보라색과 흰색으로 나타나는 등 대립형질이 뚜렷하게 구분된다.
- 원하는 대립형질을 가진 완두끼리 교배실험을 할 수 있고, 봄에 심으면 가을에 열매를 수확할 수 있어 교배 결과를 빠르게 확인할 수 있다.
- 자손이 많아 통계를 내기 쉽다.



사람의 특징

- 사람은 유전형질이 나타나는 과정이 복잡하여 대부분 대립형질을 뚜렷하게 구분하기 어렵다.
- 교배실험을 인위적으로 할 수 없고, 한 세대가 길어 다음 세대의 유전형질을 확인하는 데 시간이 오래 걸린다.
- 자손이 적어 통계를 내기 어렵다.



1. 완두가 유전 연구의 대상으로 좋은 점을 설명해 보자.
2. 완두와 달리 사람의 유전 현상은 주로 가계도를 분석하여 연구한다. 그 까닭을 설명해 보자.

사람의 유전형질은 1 쌍의 대립유전자에 의해 결정되기도 하고, 여러 유전자의 상호작용으로 결정되거나 환경의 영향을 받기도 한다. 따라서 사람의 유전 현상은 다양하고 복잡하게 나타나며, 대부분 대립형질이 뚜렷하게 구분되지 않는다. 사람은 자손의 수가 적고, 태어나서 자손을 남기기까지 한 세대가 길어 자손의 유전형질을 확인하는 데 시간이 오래 걸린다. 또 완두와 달리 원하는 유전형질을 가진 개체끼리 교배실험을 인위적으로 할 수 없다. 이와 같은 어려움이 있어 사람의 유전 현상을 연구할 때에는 가계도 조사 방법을 주로 이용한다.

가계도는 한 집안의 *혈연 및 혼인 관계와 유전형질의 표현형을 기호로 나타낸 그림이다. 여러 세대에 걸쳐 특정 유전형질이 나타나는 집안의 가계도를 조사하면 유전형질의 유전 방식을 확인할 수 있고, 태어날 자손의 유전자형과 표현형을 예측할 수 있다.

* **혈연**
가족처럼 조상이 같아 핏줄로 연결된 관계

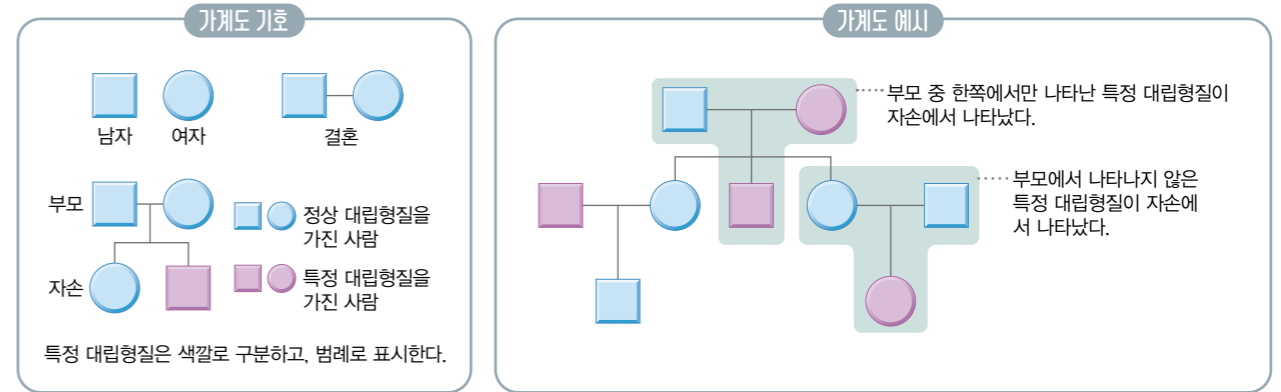


그림 1-3 가계도에 사용하는 기호와 의미

가계도 조사만으로 사람의 유전 현상을 연구하기 어려울 때에는 쌍둥이 연구, 집단 조사, 염색체 및 유전자 분석 등의 연구 방법을 이용한다. 쌍둥이 연구를 통해 일란성쌍둥이와 이란성쌍둥이의 유전형질 차이를 연구하면 유전자와 환경이 사람의 유전형질에 미치는 영향을 알아볼 수 있다. 집단 조사는 집단에서 얻은 자료로 통계를 내 유전 현상을 분석하는 방법이며, 특정 지역에 사는 사람의 유전 현상을 연구하거나 특정 지역에서 나타나는 유전병을 조사할 때 이용한다. 사람의 염색체를 직접 관찰하거나 유전자의 DNA 염기서열을 분석하는 방법은 암과 유전자의 연관성을 파악하거나 유전병을 조기에 발견하고 예방하기 위한 연구에 이용할 수 있다.

참의사고 우리 반 친구들의 ABO식 혈액형 분포를 집단 조사로 파악해 보자.

디지털 탐색
쌍둥이의 형성 과정을 검색하여 일란성쌍둥이와 이란성쌍둥이의 형성 과정에 어떤 차이가 있는지 찾아보자.

스스로 확인하기

- 1 상동염색체에서 같은 위치에 있는 1 쌍의 ()은/는 감수분열 과정에서 분리되었다가 정자와 난자가 수정하면 다시 쌍을 이룬다.
- 2 한 집안의 혈연 및 혼인 관계와 유전형질의 표현형을 기호로 나타낸 그림을 무엇이라고 하는지 써 보자.
- 3 | **과학 역량 기르기** | 일란성쌍둥이는 이론적으로 유전자 구성이 동일하다. 서로 다른 환경에서 자란 일란성쌍둥이에서 표현형이 차이 난다면 그 까닭은 무엇인지 설명해 보자.

단원을 마치고 전에 학습 목표를 달성했는지 9쪽 학습 목표에 ✓ 표 하여 스스로 점검해 보자.

02 사람의 유전 현상

| 학습 목표 |

- 사람의 유전 현상을 분석하여 유전형질의 유전적 특성을 설명할 수 있다.
- 상염색체 유전과 성염색체 유전의 양상 차이를 설명할 수 있다.
- 사람의 다유전자유전 현상을 설명할 수 있다.



사람의 유전 현상은 중학교 『과학』의 '생식과 유전' 단원과 연계된다.

사람의 유전 현상은 유전형질을 결정하는 유전자의 위치에 따라 상염색체 유전과 성염색체 유전으로 구분할 수 있다.

상염색체 유전

상염색체는 남녀가 공통으로 가진다. 따라서 유전형질을 결정하는 유전자가 상염색체에 있으면 특정 표현형이 자손에서 나타나는 빈도는 이론적으로 성과 관계없이 같다. 상염색체에 있는 1 쌍의 대립유전자에 의해 결정되는 유전형질에는 PTC 미맹, *헌팅턴무도병 등이 있다. PTC 미맹의 우성 대립유전자는 T, 열성 대립유전자는 t로 나타낸다고 할 때 PTC 미맹의 유전 방식은 그림 I-4와 같다.

* 헌팅턴무도병

뇌의 뉴런이 퇴화하여 몸의 움직임 이상과 인지 장애가 나타나는 유전병

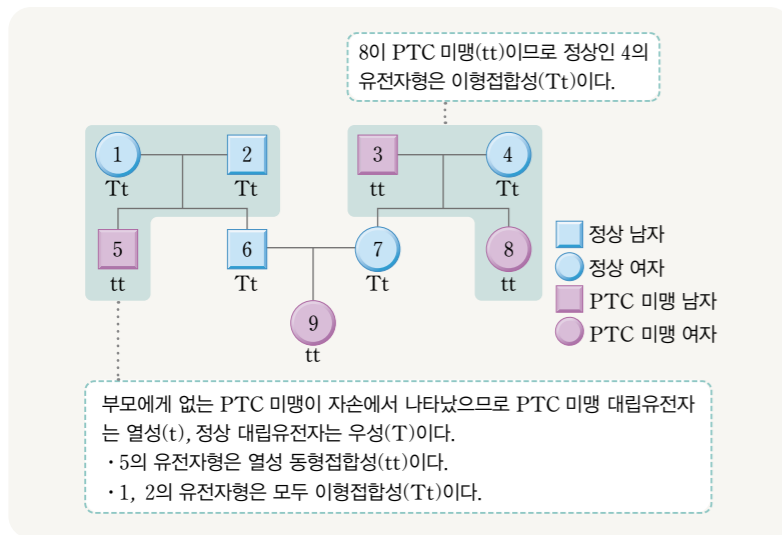


그림 I-4 PTC 미맹의 유전 방식

PTC 미맹 대립유전자는 정상 대립유전자에 대해 열성이므로 유전자형이 열성 동형접합성일 때에만 PTC 미맹이 표현형으로 나타난다. 헌팅턴무도병 대립유전자는 정상 대립유전자에 대해 우성이므로 유전자형이 우성 동형접합성일 때와 이형접합성일 때 모두 헌팅턴무도병이 표현형으로 나타난다.

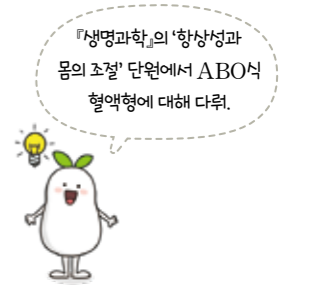
사람의 ABO식 혈액형을 결정하는 유전자는 상염색체에 있고, ABO식 혈액형은 3 개의 대립유전자에 의해 결정된다. 이와 같이 하나의 유전형질을 결정하는 데 3 개 이상의 대립유전자가 관여하는 유전 현상을 복대립유전이라고 한다. ABO식 혈액형을 결정하는 대립유전자는 I^A , I^B , i 로 나타내며, 대립유전자 중 I^A 와 I^B 는 i 에 대해 우성이고, I^A 와 I^B 사이에는 우열 관계가 없다. 따라서 대립유전자 I^A 와 I^B 를 가지는 사람은 두 대립유전자가 모두 표현형으로 나타나 ABO식 혈액형이 AB형이다. ABO식 혈액형은 표 I-1과 같이 유전자형은 6 종류이고, 표현형은 4 종류이다.

표현형	A형	B형	AB형	O형
유전자형	$I^A I^A$	$I^B I^B$	$I^A I^B$	$i i$

표 I-1 ABO식 혈액형의 표현형과 유전자형

ABO식 혈액형 대립유전자와 응집원

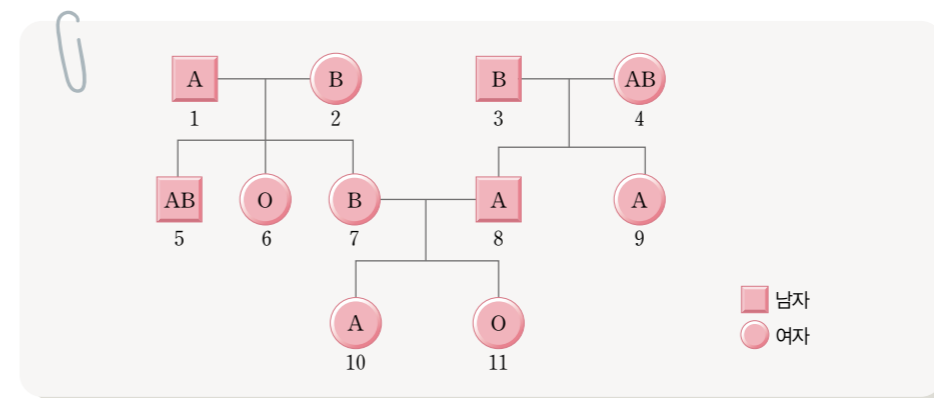
대립유전자 I^A 는 적혈구 표면에 응집원 A를 만들고, I^B 는 적혈구 표면에 응집원 B를 만든다. 대립유전자 i 는 응집원 A와 B를 모두 만들지 못한다.



다음 해 보기에서 집안 구성원의 ABO식 혈액형을 조사한 가계도를 분석해 보자.

해 보기 ABO식 혈액형 가계도 분석하기

그림은 어느 집안의 ABO식 혈액형 가계도를 나타낸 것이다.



1. 집안 구성원의 ABO식 혈액형 유전자형을 모두 써 보자.
2. 대립유전자 I^A , I^B , i 의 우열 관계를 가계도에서 근거를 찾아 설명해 보자.
3. 11의 동생이 태어날 때 이 아이의 ABO식 혈액형이 11과 같을 확률은 몇 %인지 써 보자.

성염색체 유전

사람의 성은 X염색체와 Y염색체로 결정된다. 그림 I-5와 같이 아버지와 어머니에게서 X염색체를 하나씩 물려받으면 여자가 되고, 아버지에게서 Y염색체를 물려받고 어머니에게서 X염색체를 물려받으면 남자가 된다.

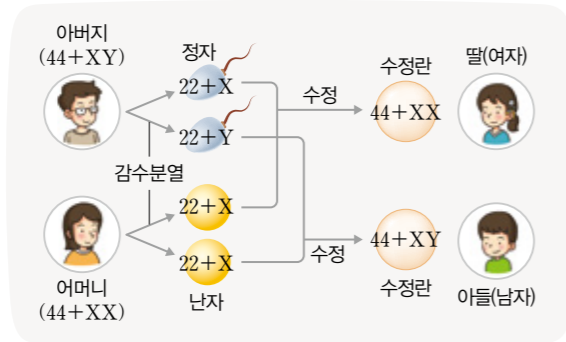


그림 I-5 사람의 성 결정

성에 따라 성염색체의 구성이 다르므로 유전형질을 결정하는 유전자가 성염색체에 있으면 특정 표현형이 자손에서 나타나는 빈도는 성에 따라 달라진다. 이러한 유전 현상을 **반성유전**이라고 한다.

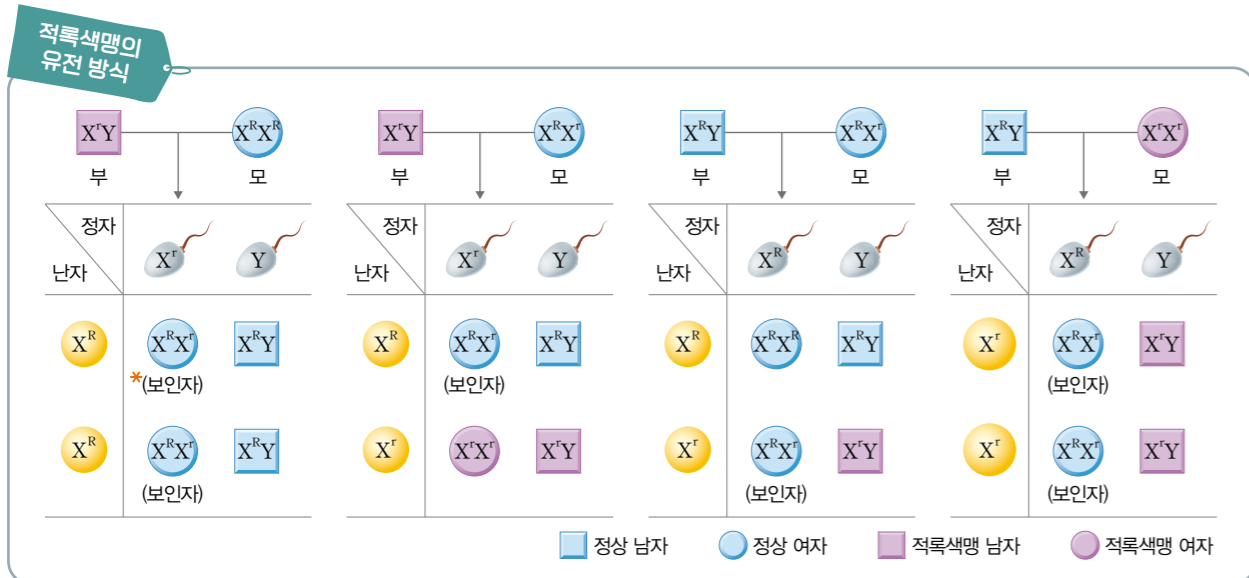
성염색체에 있는 1쌍의 대립유전자에 의해 결정되는 유전형질에는 *적록색맹이 있다. 적록색맹을 결정하는 유전자는 X염색체에 있고, 적록색맹 대립유전자는 정상 대립유전자에 대해 열성이다. 여자는 성염색체 구성이 XX이므로 X염색체 2개에 모두 적록색맹 대립유전자가 있어야 표현형이 적록색맹으로 나타난다. 그러나 남자는 성염색체 구성이 XY이므로 X염색체에 적록색맹 대립유전자가 있으면 표현형이 적록색맹으로 나타난다. 정상 대립유전자는 X^R , 적록색맹 대립유전자는 X^r 로 나타낸다고 할 때 적록색맹의 유전 방식은 다음과 같다.

* 적록색맹

시각세포의 이상으로 빨간색과 초록색을 제대로 구별하지 못하는 유전형질

* 보인자

특정 대립형질의 유전자를 가지지만 유전형질이 겉으로 드러나지 않는 사람 등의 생물



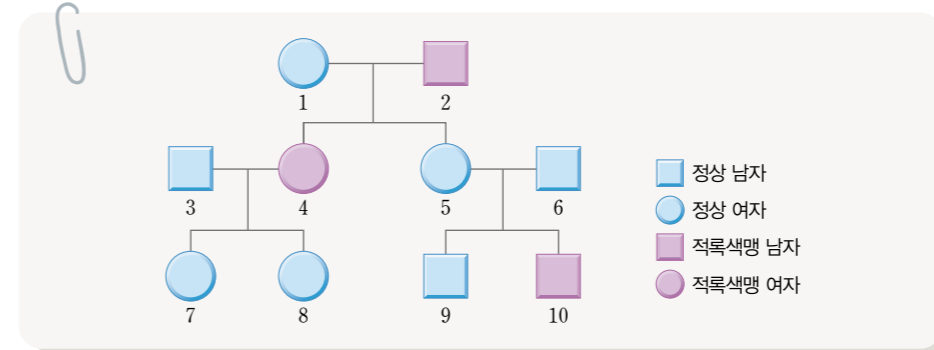
다음 해 보기에서 집안 구성원의 적록색맹을 조사한 가계도를 분석해 보자.

해보기

탐구 능력 | 문제 해결 능력

적록색맹 가계도 분석하기

그림은 어느 집안의 적록색맹 가계도를 나타낸 것이다.



1. 정상 대립유전자와 적록색맹 대립유전자의 우열 관계를 가계도에서 근거를 찾아 설명해 보자.
2. 10이 가진 적록색맹 대립유전자는 누구에서 유래한 것인지 설명해 보자.
3. 8의 동생이 태어날 때 이 아이가 적록색맹인 남자일 확률은 몇 %인지 써 보자.

아들의 적록색맹 대립유전자는 어머니에게서 전달된 것이며, 아버지의 적록색맹 대립유전자는 딸에게만 전달된다. 적록색맹처럼 유전형질을 결정하는 유전자가 X염색체에 있고 열성으로 유전할 경우 이 유전형질은 여자보다 남자에서 더 높은 빈도로 나타난다. 유전형질을 결정하는 유전자가 Y염색체에 있는 경우 이 유전형질은 남자에서만 나타난다.

자료실 유럽 왕실의 혈우병 유전

유전형질을 결정하는 유전자가 X염색체에 있으며 열성으로 유전하는 것에는 적록색맹 이외에 혈우병이 있다. 혈우병은 혈액을 응고시키는 단백질에 이상이 생겨 발생하는 유전병이며, 출혈이 일어나면 잘 멎지 않는다. 혈우병의 유전 양상은 19세기 말 유럽 왕실의 가계도를 분석하여 밝혀졌다. 유럽 왕실의 혈우병 대립유전자는 보인자였던 영국의 빅토리아 여왕에서 유래한 것으로 알려져 있다. 러시아의 로마노프 왕가의 알렉산드라 황후는 빅토리아 여왕의 손녀로 보인자였으며, 아들인 알렉세이 왕자는 어머니인 알렉산드라 황후에게서 혈우병 대립유전자를 물려받아 혈우병을 앓았다. 알렉세이 왕자의 혈우병은 당시 러시아의 정세 변화에도 영향을 준 것으로 알려져 있다.



▲ 알렉세이 왕자의 가족사진

다음 탐구에서 사람의 유전 현상을 분석하여 유전형질이 어떻게 유전되는지 알아보자.

탐구 능력 | 문제 해결 능력

탐구

추론,
자료 분석

*알카톤노증

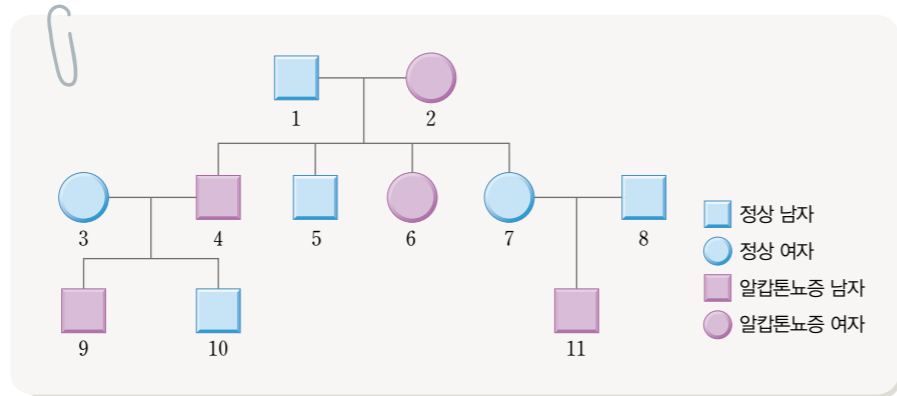
오줌 색깔이 검게 변하는 증상이 나타나는 물질대사 이상 유전병

가계도 분석하기

목표 가계도를 분석하여 상염색체 유전형질과 성염색체 유전형질의 유전적 특성을 추론할 수 있다.

과정 및 결과

1. 그림은 어느 집안의 *알카톤노증 가계도를 나타낸 것이다. 알카톤노증은 대립유전자 A와 a에 의해 결정되며, 대립유전자 A는 a에 대해 우성이다. 알카톤노증의 유전적 특성을 추론해 보자. (단, 돌연변이는 고려하지 않는다.)



① 알카톤노증 대립유전자와 정상 대립유전자의 우열 관계를 설명해 보자.

② 알카톤노증을 결정하는 유전자는 상염색체와 성염색체 중 어느 염색체에 있는지 설명해 보자.

③ 집안 구성원의 알카톤노증 유전자형을 모두 써 보자.

④ 11의 동생이 태어날 때 이 아이가 남자이면서 알카톤노증일 확률과 여자이면서 알카톤노증일 확률은 각각 몇 %인지 써 보자.

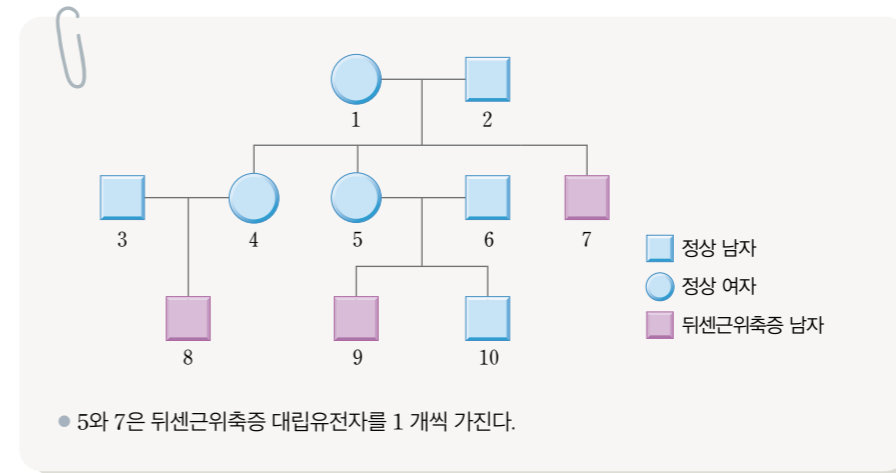
상염색체 유전과
성염색체 유전 양상은
어떻게 차이 날까?



2. 그림은 어느 집안의 *뒤센근위축증 가계도를 나타낸 것이다. 뒤센근위축증은 대립유전자 D와 d에 의해 결정되며, 대립유전자 D는 d에 대해 우성이다. 뒤센근위축증의 유전적 특성을 추론해 보자. (단, 돌연변이는 고려하지 않는다.)

*뒤센근위축증

근육세포를 유지하는 데 관여하는 단백질에 이상이 생겨 점차 근육이 퇴화하는 유전병



● 5와 7은 뒤센근위축증 대립유전자를 1 개씩 가진다.

① 뒤센근위축증 대립유전자와 정상 대립유전자의 우열 관계를 설명해 보자.

② 뒤센근위축증을 결정하는 유전자는 상염색체와 성염색체 중 어느 염색체에 있는지 설명해 보자.

③ 집안 구성원의 뒤센근위축증 유전자형을 모두 써 보자.

④ 10의 동생이 태어날 때 이 아이가 남자이면서 뒤센근위축증일 확률과 여자이면서 뒤센근위축증일 확률은 각각 몇 %인지 써 보자.

정리

● 알카톤노증과 뒤센근위축증의 유전적 특성의 차이점을 설명해 보자.

스스로 평가하기

| 지식·이해 | 상염색체 유전과 성염색체 유전 양상의 차이점을 설명했는가? ☆☆☆

| 과정·기능 | 가계도를 분석하여 사람의 유전적 특성을 추론했는가? ☆☆☆

| 가치·태도 | 가계도를 분석하면서 과학적 근거를 들어 문제를 해결했는가? ☆☆☆

상염색체에 있는 유전자에 의해 결정되는 유전형질은 특정 표현형이 나타나는 빈도가 이론적으로 성과 관계없이 같지만, 성염색체에 있는 유전자에 의해 결정되는 유전형질은 특정 표현형이 나타나는 빈도가 성에 따라 다르다.

오개념 바로잡기

복대립유전은 다유전자유전일까?

ABO식 혈액형은 대립유전자가 3 개 이상인 복대립유전 형질이 어도 개체의 유전형질이 1 쌍의 대립유전자에 의해 결정되므로 단일유전자유전 형질이다.

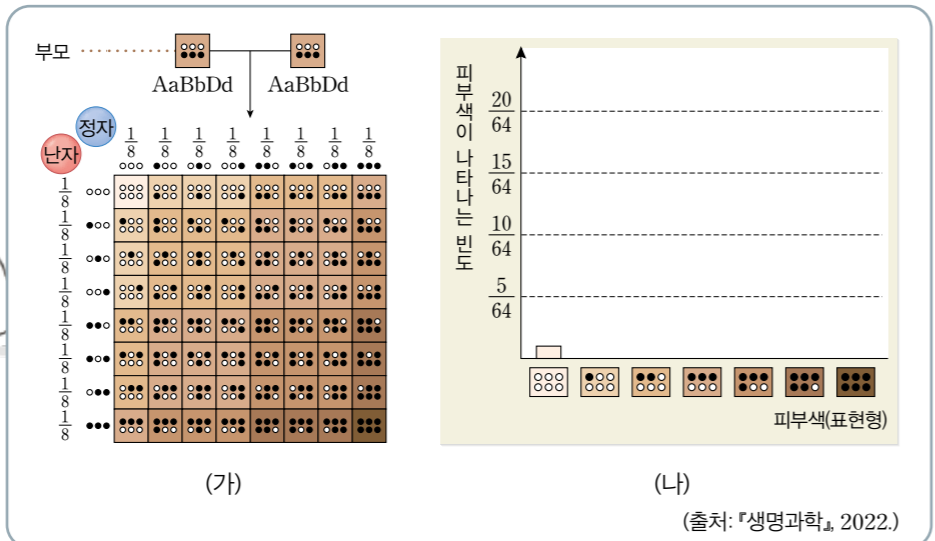
다유전자유전

PTC 미맹, ABO식 혈액형, 적록색맹같이 하나의 유전형질이 1 쌍의 대립유전자에 의해 결정되는 유전 현상을 단일유전자유전이라고 한다. 단일유전자유전형질은 일반적으로 대립형질이 뚜렷하게 구분된다. 이와 다르게 하나의 유전형질이 여러 쌍의 대립유전자에 의해 결정되는 유전 현상을 다유전자유전이라고 한다. 다유전자유전 형질은 대립형질이 뚜렷하게 구분되지 않고 표현형이 연속적으로 나타난다. 다음 해 보기에서 피부색의 빈도를 나타낸 다유전자유전 모델을 분석하여 다유전자유전의 특성을 알아보자.

해보기 다유전자유전 모델 알아보기

사람의 피부색이 3 쌍의 대립유전자 A와 a, B와 b, D와 d에 의해 결정되는 다유전자유전 모델에서 대립유전자 A, B, D(●)의 수가 많을수록 피부색이 검고, 대립유전자 a, b, d(○)의 수가 많을수록 피부색이 희다고 가정해 보자. 그림 (가)는 피부색 유전자형이 AaBbDd인 부모에게서 태어나는 자손이 가질 수 있는 피부색의 종류를 나타낸 것이고, (나)는 (가)에서 피부색이 나타나는 빈도의 일부를 막대그래프로 나타낸 것이다.

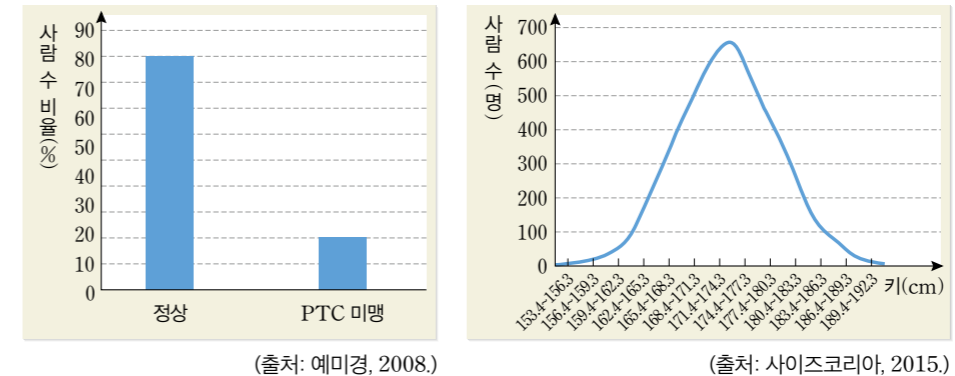
각 생식세포가 만나 수정란을 형성할 확률은 $\frac{1}{8} \times \frac{1}{8} = \frac{1}{64}$ 이야.



1. 3 쌍의 대립유전자를 조합하면 자손의 피부색 표현형은 최대 몇 종류로 나타날 수 있는지 설명해 보자.
2. 자손에서 각 피부색이 나타나는 빈도를 (나)에 막대그래프로 나타내 보자.
3. 피부색을 결정하는 대립유전자 쌍의 수가 더 많아지면 피부색 표현형의 종류는 어떻게 될지 설명해 보자.

3 쌍의 대립유전자에 의해 피부색이 결정된다고 가정한 다유전자유전 모델에서 피부색의 표현형은 최대 7 종류로 다양하게 나타나고, 중간값의 표현형일수록 나타나는 빈도가 높다. 따라서 피부색의 표현형에 따른 사람 수를 그래프로 나타내면 정규분포곡선으로 나타난다.

유전형질을 결정하는 데 관여하는 대립유전자 쌍의 수가 많아지면 표현형의 종류가 많아져 연속적인 변이를 나타낸다. 다유전자유전 형질은 환경의 영향을 받기도 하므로 표현형이 더 다양하게 나타날 수 있다. 다유전자유전 형질에는 피부색 외에도 키, 지문, 몸무게, 홍채의 색깔 등이 있다.



▲ 특정 집단의 PTC 미맹 분포 ▲ 특정 집단의 키 분포

그림 I-6 단일유전자유전 형질과 다유전자유전 형질의 표현형 분포 PTC 미맹은 단일유전자유전 형질이며, 대립형질이 뚜렷하게 구분된다. 키는 다유전자유전 형질이며, 표현형이 연속적이고 표현형의 빈도는 정규분포곡선을 나타낸다.



사람의 피부색은 실제로 수백 쌍의 유전자에 의해 결정되는 것으로 알려져 있어.

생명과학 수학 정규분포곡선 자료의 분포가 평균값을 중심으로 좌우 대칭인 종 모양을 이루는 것이다.

자료실 지문의 형성과 다양성

지문은 태아의 발생이 어느 정도 진행된 뒤 손가락 피부가 만들어질 때 형성되는 주름이며, 형성될 때 태아 주변 환경의 영향을 받는다. 한 사람에서도 열 손가락의 지문 형태는 다르며, 일란성 쌍둥이는 수정란이 분리된 뒤 지문이 형성되므로 유전자 구성이 같지만 지문의 형태는 다르다. 지문선의 수는 지문의 형태에 따라 달라진다. 지문선의 수는 지문의 중심점과 3 개의 지문선이 교차하는 삼중점을 연결한 선에 닿는 지문선을 센 값이다. 한 사람에서 열 손가락 지문선의 수를 모두 더하면 일반적으로 0에서 300 사이이며, 특정 집단에서 이 값의 빈도를 조사한 그래프는 정규분포곡선으로 나타난다. 지문은 태아 시기에 형성된 뒤 일생 동안 변하지 않으며, 서로 다른 사람의 지문이 같을 확률은 0에 가깝다. 따라서 지문은 개인을 식별하는 자료로 활용되기도 한다.



▲ 지문선의 수

다음 탐구에서 사람의 유전 현상에서 나타나는 다양한 사례를 알아보자.

탐구

● 조사, 협력적 소통

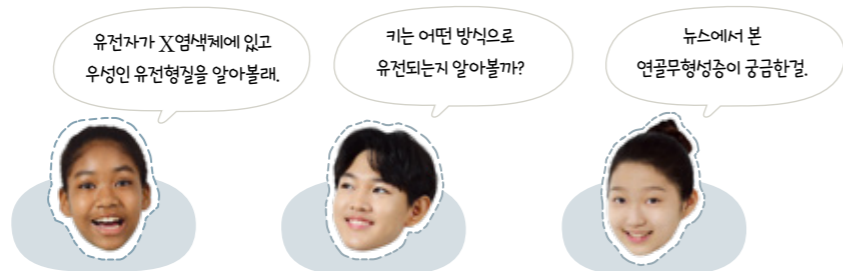
Q 탐구 능력 | Q 의사 결정 능력

유전 현상의 다양성 사례 조사하기

목표 유전 현상의 다양성 사례를 조사하고, 과학적 근거를 들어 설명할 수 있다.

과정 및 결과

1. 모둠별로 사람의 유전형질 중 조사하고 싶은 것을 정해 보자.



2. 유전형질의 유전 양상에 대해 다음을 참고하여 조사해 보자.

- 단일유전자유전인가, 다유전자유전인가?
- 대립형질을 우성과 열성으로 구분할 수 있는가?
- 유전형질은 환경의 영향을 받는가?

[다유전자유전]
머리카락 색깔

- 100여 쌍의 유전자가 관여한다.
- 표현형이 연속적으로 나타난다.
- 자외선을 많이 받으면 머리카락 색깔이 밝아질 수 있다.

3. 조사한 내용으로 발표 자료를 만들고, 유전 현상의 다양성 사례를 과학적 근거를 들어 발표해 보자.

정리

- 사람의 유전 현상의 다양성에 대해 알게 된 점을 설명해 보자.

스스로 평가하기

[지식·이해] 유전 현상의 다양성 사례에 대해 과학적 근거를 들어 설명했는가? ☆☆☆

[과정·기능] 유전 현상의 다양성을 조사하는 과정에서 협력적으로 소통했는가? ☆☆☆

[가치·태도] 사람의 유전 현상에 흥미와 관심을 가지게 되었는가? ☆☆☆

사람의 유전형질에는 단일유전자유전인 것이 있지만, 대부분의 유전형질은 다유전자유전이다.

스스로 확인하기

- 1 부모에게 없는 유전형질이 자손에서 나타났다면 자손에 나타난 형질은 (우성, 열성)이다.
- 2 적록색맹인 아들의 적록색맹 대립유전자는 부모 중 누구에게서 물려받은 것인지 써 보자.
- 3 **과학 역량 기르기** | 어떤 유전형질은 3 개의 대립유전자 B, T, Q에 의해 결정된다. B는 T, Q에 대해 우성이고, T는 Q에 대해 우성이다. 유전자형이 BQ인 아버지와 TQ인 어머니에게서 태어날 수 있는 자손의 유전자형을 모두 쓰고, 표현형이 최대 몇 종류인지 써 보자.

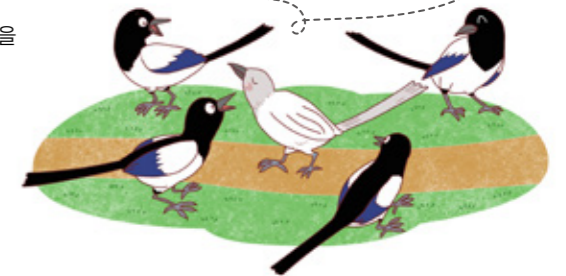
단원을 마치기 전에
학습 목표를 달성했는지 14 쪽 학습 목표에 ✓ 표하여 스스로 점검해 보자.

03 사람의 유전병

| 학습 목표 |

- 염색체이상에 의한 유전병과 유전자이상에 의한 유전병을 구분하여 설명할 수 있다.

까지 우리에서 몸 전체가 흰색인 까치가 나타나는 것처럼 사람에게도 백색증이 나타난다. 이러한 유전병은 어떻게 나타나는 것일까?



사람의 유전병은 대부분 염색체나 유전자에 발생하는 돌연변이에 의해 나타난다. 유전병은 염색체이상에 의한 유전병과 유전자이상에 의한 유전병으로 구분할 수 있다.

돌연변이의 발생

돌연변이는 유전정보가 저장된 DNA가 여러 가지 요인에 의해 변화하여 발생한다. 생식세포에서 발생하는 돌연변이는 다음 세대로 전달될 수 있다.

염색체이상에 의한 유전병

염색체이상에 의한 유전병은 *핵형분석으로 진단할 수 있으며, 그 원인은 염색체 구조이상과 염색체수이상으로 구분할 수 있다.

* 핵형분석

체세포분열 중기 세포의 염색체를 관찰하여 염색체의 수나 구조 이상을 알아보는 방법

염색체구조이상 | 염색체에는 수많은 유전자가 있으므로 염색체의 구조에 이상이 생기면 유전정보가 달라져 유전병이 나타날 수 있다. 염색체구조이상에는 그림 I-7과 같이 결실, 중복, 역위, 전좌가 있다. 염색체구조이상으로 나타나는 유전병에는 5 번 염색체의 일부가 결실되어 나타나는 *고양이울음증후군, 9 번과 22 번 염색체 사이에 전좌가 일어나 나타나는 *만성골수백혈병 등이 있다.

* 고양이울음증후군

여러 신체의 기형과 심한 정신 지체가 나타나는 유전병

* 만성골수백혈병

조혈모세포가 과다 증식하여 백혈구와 혈소판의 수가 증가하는 유전병

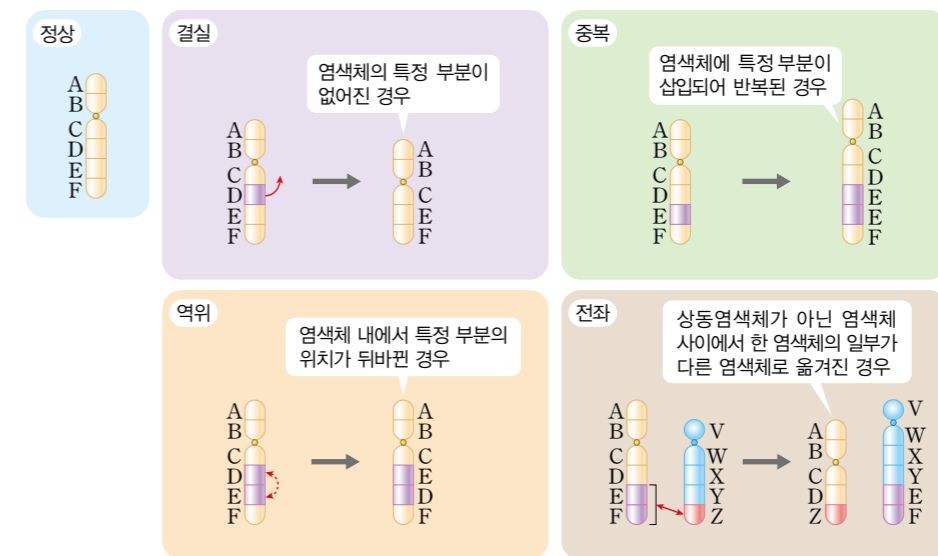


그림 I-7 염색체구조이상의 종류

염색체수이상 | 염색체의 수가 정상보다 많거나 적은 염색체수이상은 그림 I-8 과 같이 감수분열 과정에서 상동염색체나 염색분체가 정상적으로 분리되지 않아 나타나며, 이러한 현상을 **염색체비분리현상**이라고 한다. 염색체의 수가 정상이 아닌 생식세포가 다른 생식세포와 수정되어 태아로 발생하면 염색체의 수에 이상이 있는 자손이 태어나고, 이 자손에서 유전병이 나타날 수 있다.

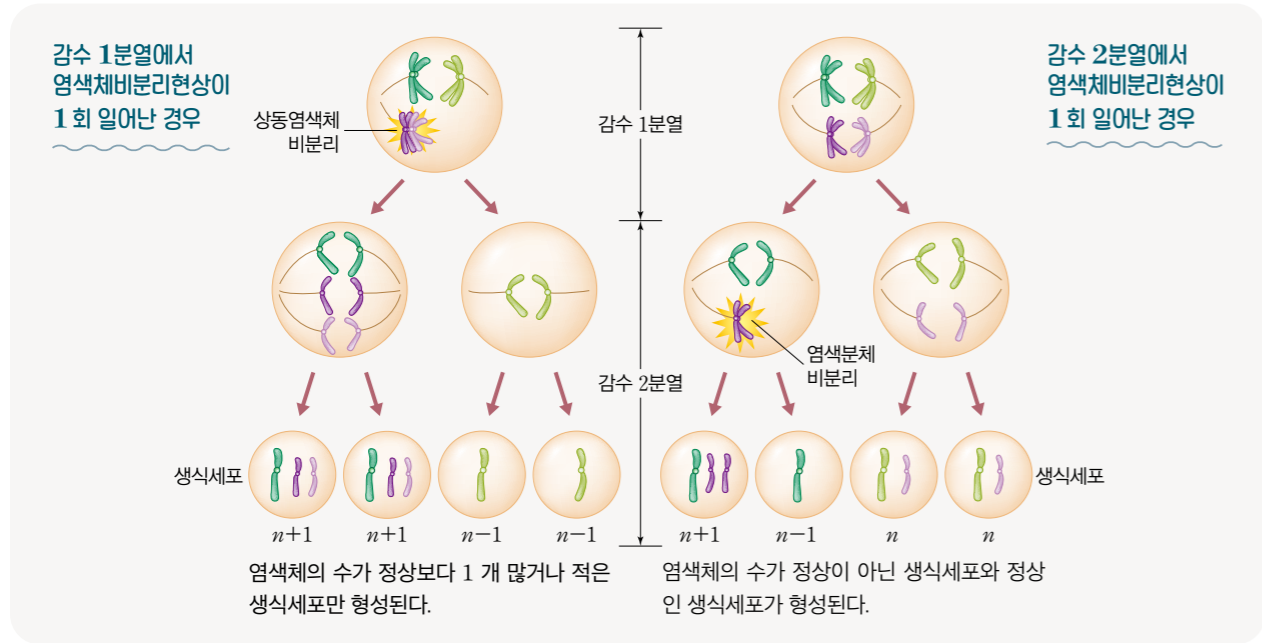
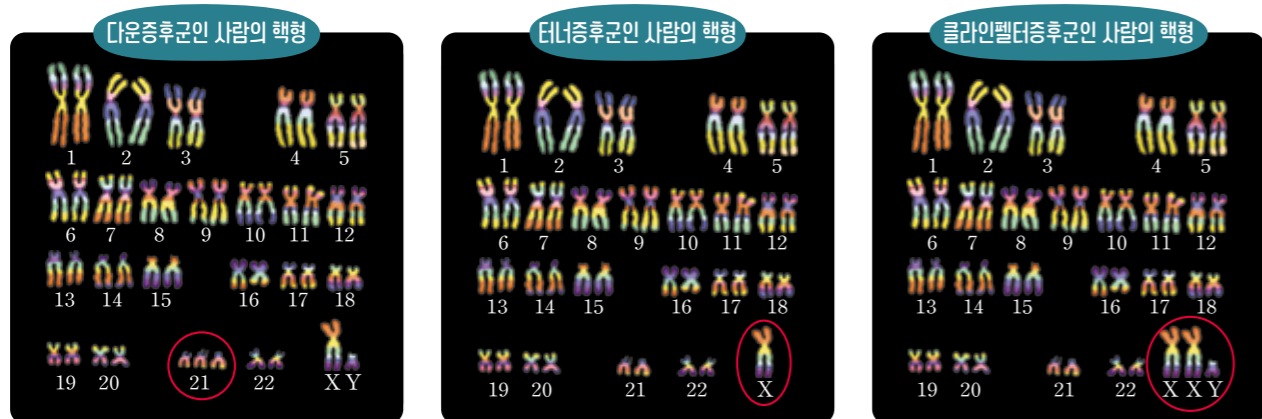


그림 I-8 염색체비분리현상

염색체비분리현상은 상염색체와 성염색체에서 모두 일어날 수 있다. 상염색체 수이상에 의한 유전병에는 다운증후군, 에드워드증후군 등이 있고, 성염색체수 이상에 의한 유전병에는 터너증후군, 클라인펠터증후군 등이 있다.



21번 염색체가 3개인 사람은 다운증후군을 나타낸다.

성염색체를 X염색체 1개만 가진 사람은 터너 증후군을 나타낸다.

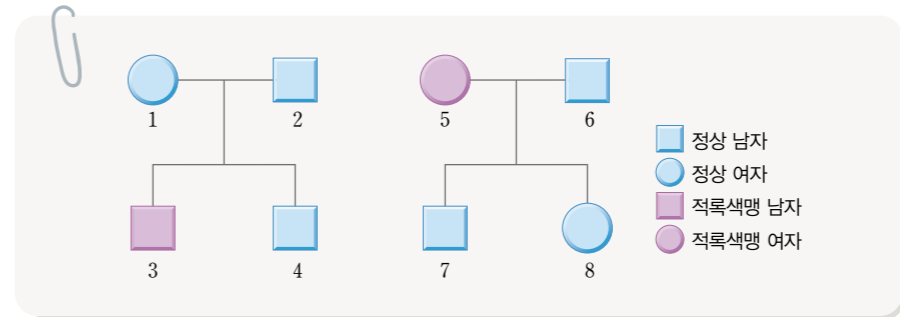
성염색체 구성이 XXY인 사람은 클라인펠터 증후군을 나타낸다.

그림 I-9 염색체수이상에 의한 유전병

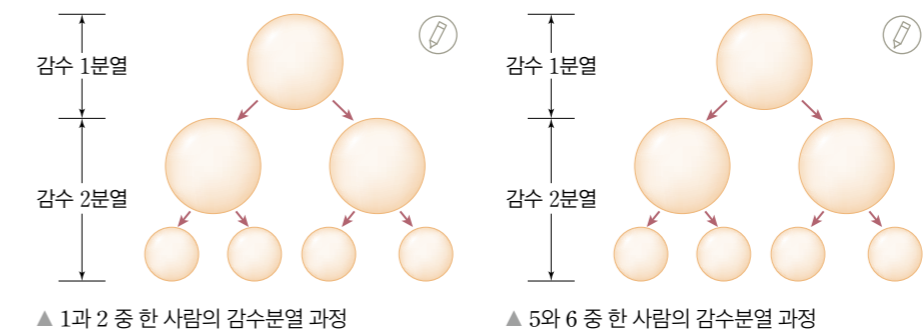
다음 해 보기에서 유전병의 원인을 알아보자.

해보기 **유전병 원인 분석하기** 탐구 능력 | 문제 해결 능력

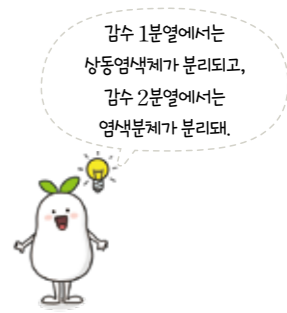
그림은 어느 두 집안의 적록색맹 가계도를 나타낸 것이다. 3과 7은 클라인펠터증후군을 나타내고, 나머지 구성원의 핵형은 정상이다. 두 집안의 부모 중 각각 한 사람의 성염색체에서 염색체비분리현상이 1회 일어났다.



1. 정상 대립유전자는 X^R , 적록색맹 대립유전자는 X^r 로 나타낸다고 할 때 두 집안 구성원의 적록색맹 유전자형을 모두 써 보자.
2. 3과 7에서 염색체수이상이 나타나게 된 과정을 각각 설명해 보자.
3. 1과 2, 5와 6 중 감수분열 과정에서 염색체비분리현상이 일어난 사람을 각각 써 보자.
4. 1과 2, 5와 6 중 염색체비분리현상이 일어난 사람의 감수분열 과정에서 일어난 성염색체의 염색체비분리현상을 그림으로 나타내고 설명해 보자.



감수 1분열에서 염색체비분리현상이 일어나 비분리된 염색체가 자손에게 전달되면 두 염색체의 대립유전자 조합은 다를 수 있다. 감수 2분열에서 염색체비분리 현상이 일어나 비분리된 염색체가 자손에게 전달되면 두 염색체의 대립유전자 조합은 같다.



유전자이상에 의한 유전병

유전자에는 단백질을 만드는 데 필요한 유전정보가 DNA 염기서열로 저장되어 있다. 유전자에 이상이 생겨 DNA 염기서열이 달라지면 정상 단백질과 아미노산서열이 다른 비정상 단백질이 만들어지기도 하며, 비정상 단백질이 기능을 정상적으로 수행하지 못하면 유전병이 나타날 수 있다. 그림 I-10은 유전자이상으로 낫모양적혈구빈혈증이 발생하는 과정을 나타낸 것이다.

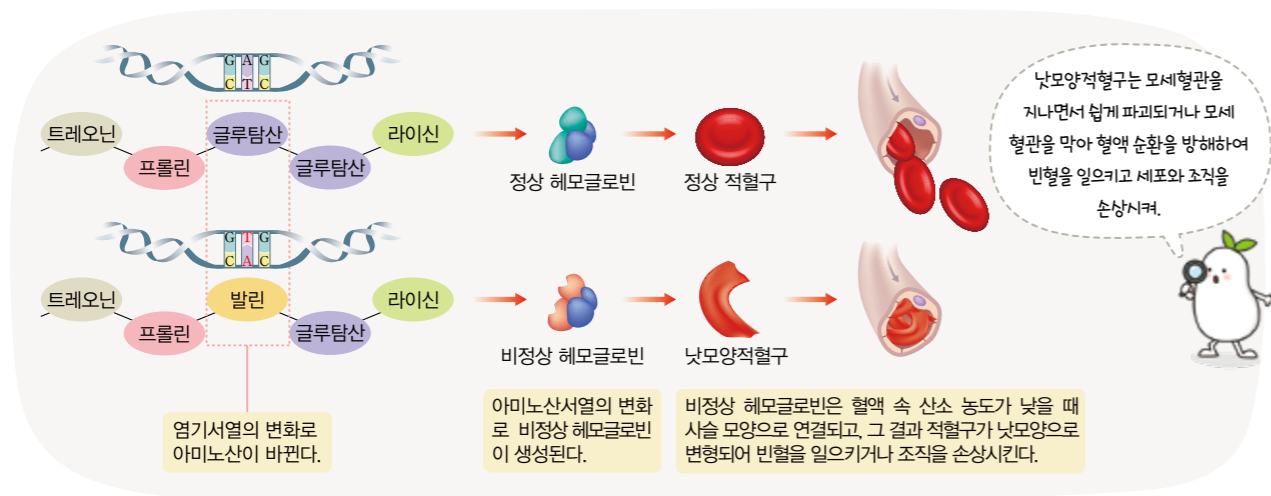


그림 I-10 낫모양적혈구빈혈증이 발생하는 과정

유전자이상에 의한 유전병에는 낫모양적혈구빈혈증 외에도 백색증, 연골무형성증 등이 있다. 이러한 유전병은 우성과 열성이 비교적 뚜렷하게 구분되며, 대부분의 유전자이상에 의한 유전병은 열성으로 유전된다.

백색증



검은색 또는 흑갈색의 색소 단백질인 멜라닌이 결핍되는 유전병이며, 열성으로 유전된다.

연골무형성증



성장판에 이상이 생겨 뼈가 자라지 않는 유전병이며, 우성으로 유전된다.

다음 탐구에서 사람의 유전병에 대해 발병 원인별로 알아보자.

탐구

사람의 유전병 조사하기

탐구 능력 | 의사 결정 능력

조사, 탐구 설계 **목표** 사람의 유전병을 발병 원인별로 계획을 세워 조사하여 발표할 수 있다.

1 고안하기

1. 모둠별로 사람의 유전병이 발병하는 원인을 고르고, 고른 발병 원인에 의해 발생하는 유전병에 대한 조사 계획을 세워 보자.

- 어떤 유전병을 조사할까?
- 어떤 내용을 조사할까?
- 역할을 어떻게 분담할까?

2. 조사한 내용을 어떤 형태의 발표 자료로 만들지 정해 보자.

2 수행하기

1. 조사 계획에 따라 사람의 유전병을 조사해 보자.

2. 조사한 내용을 정리하여 발표 자료를 만들어 보자.

3 소통하기

1. 발표 자료를 활용하여 발표해 보자.

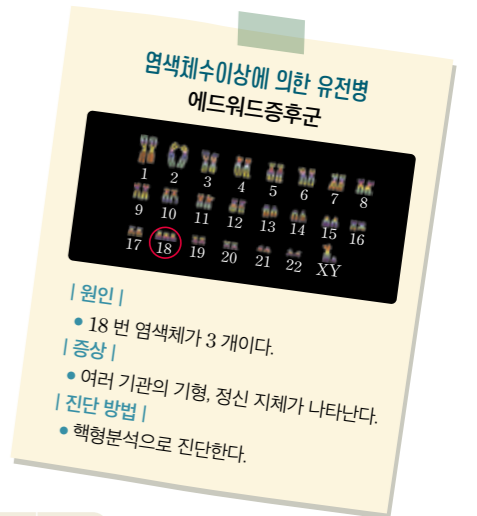
2. 다른 모둠의 발표를 듣고, 사람의 유전병을 발병 원인별로 정리해 보자.

3. 다음 표를 활용하여 우리 모둠과 다른 모둠의 발표 내용을 평가해 보자.

평가 내용	우수	보통	미흡
지식·이해 사람의 유전병을 발병 원인별로 구분하고 설명했는가?			
과정·기능 사람의 유전병을 발병 원인별로 조사하여 발표했는가?			
가치·태도 사람의 유전병에 관심을 가지게 되었는가?			

준비물

- 스마트 기기
- 사람의 유전병과 관련된 책



스스로 확인하기

1 상동염색체가 아닌 다른 염색체 사이에서 한 염색체의 일부가 다른 염색체로 옮겨지는 염색체이상을 ()이라고 한다.

2 감수분열 과정에서 염색체가 정상적으로 분리되지 않는 현상을 무엇이라고 하는지 써 보자.

3 | 과학 역량 기르기 | 과거에는 친척끼리 결혼하는 경우가 많았고, 친척 관계인 부모에게서 태어나는 자손에 열성 유전병이 나타나는 빈도가 높았다. 그 까닭을 설명해 보자.

단원을 마치기 전에 학습 목표를 달성했는지 23 쪽 학습 목표에 표하여 스스로 점검해 보자.

유전병 진단

사람의 유전병을 조기에 발견하여 질병의 진행을 늦추면 환자가 정상적으로 생활할 수 있어 유전병을 조기에 정확하게 진단하는 것은 매우 중요하다. 유전병을 진단하는 방법에는 유전자 검사와 염색체 검사가 있다.

유전자 검사는 암세포로 변할 수 있는 세포에서 DNA 변화를 확인하거나 악성 종양 환자를 진단할 때 시행한다. 최근 유전자 검사는 특정 단백질에 대한 정보를 저장하는 유전자만 분석하여 검사 비용을 줄이는 등 검사 기술이 빠르게 발전하고 있다. 이 검사 기술을 이용하면 유전성 희귀 질환과 관련 있는 5500여 개의 유전자를 한 번에 분석하여 환자의 치료 효과와 질병의 진행을 예측할 수 있다.

염색체 검사는 정신 지체가 나타나고 2차 성징이 지연되는 등 유전병 의심 증상이 나타날 때 염색체의 구조와 수를 확인하기 위해 시행한다. 염색체수이상과 염색체구조이상을 확인하는 핵형분석은 흩어져 있는 염색체를 분류하고 염색체의 이상 부위를 찾아내는 과정이 수작업으로 이루어지므로 검사자의 숙련도가 검사 결과에 미치는 영향이 매우 크다. 그러나 최근에 인공지능(AI)을 이용하여 염색체를 빠르고 정확하게 분석하여 판독하는 기술이 개발되어 판독 결과의 정확성이 높아졌다.

생각 펼치기

유전병을 미리 발견하기 위해 임신 중 태아의 유전병 여부를 진단하기도 한다. 태아의 유전병 여부를 진단하는 방법을 조사해 보자.

문제 해결 능력

종단원 마무리

1. 사람의 유전과 유전병

01 유전형질의 전달과 사람의 유전 연구 9 쪽~13 쪽

1. 염색체와 대립유전자

① : 상동염색체의 같은 위치에 있으며, 이 유전자의 조합에 의해 유전형질이 결정된다.

2. 유전형질의 전달: 유전형질을 결정하는 부모의 유전자는 정자, 난자와 같은 ② 을/를 통해 자손으로 전달된다.

감수분열 과정에서 상동염색체가 분리될 때 대립유전자 쌍도 분리되어 서로 다른 생식세포로 들어간다.

정자와 난자가 수정하면 대립유전자가 다시 쌍을 이루고, 그에 따라 자손의 유전형질이 결정된다.

3. 사람의 유전 연구 방법: 가계도 조사, 쌍둥이 연구, 집단 조사, 염색체 및 유전자 분석 등이 있다.

02 사람의 유전 현상 14 쪽~22 쪽

1. ③ 유전: 유전형질을 결정하는 유전자가 상염색체에 있어 표현형이 나타나는 빈도가 이론적으로 성과 관계없이 같다. 예) PTC 미맹은 결정하는 대립유전자가 상염색체에 있어 나타나는 빈도가 이론적으로 남녀에서 같다.

2. ④ 유전: 유전형질을 결정하는 유전자가 성염색체에 있어 표현형이 나타나는 빈도가 성에 따라 다르다. 예) 적록색맹은 결정하는 대립유전자가 X염색체에 있어 나타나는 빈도가 여자보다 남자에서 높다.

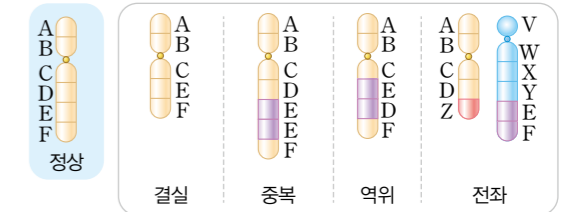
3. 단일유전자유전과 다유전자유전

- ⑤ : 유전형질이 1 쌍의 대립유전자에 의해 결정되는 유전 현상이며, 대립형질이 뚜렷하게 구분된다. 예) PTC 미맹
- ⑥ : 유전형질이 여러 쌍의 대립유전자에 의해 결정되는 유전 현상이며, 대립형질이 뚜렷하게 구분되지 않고 표현형이 연속적으로 나타난다. 예) 키

03 사람의 유전병 23 쪽~27 쪽

1. 염색체이상에 의한 유전병

염색체구조이상에 의한 유전병: 염색체의 구조가 정상과 달라서 나타난다. 예) 고양이올름증후군



▲ 염색체구조이상의 종류

- 염색체수이상에 의한 유전병: 감수분열 과정에서 ⑦ 이/가 일어나 형성된 생식세포가 수정되어 태어난 자손에서 염색체의 수가 정상보다 많거나 적어서 나타난다. 예) 다운증후군
- 유전자이상에 의한 유전병: DNA 염기서열에 이상이 생겨 나타난다. 예) 낫모양적혈구빈혈증

스스로 평가하기

이 단원에서 학습한 내용을 확인하고 스스로 평가해 봅시다.

	우수	보통	미흡
지식-이해 유전형질이 유전자를 통해 자손에게 유전된다는 것을 설명했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
사람 유전형질의 유전적 특성을 이해하고, 다유전자유전 현상을 설명했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
염색체이상과 유전자이상에 의한 사람의 유전병을 구분하여 설명했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
과정-기능 가계도를 분석하여 사람 유전형질의 유전적 특성을 추론했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
사람 유전 현상의 다양성 사례를 조사하고 협력적으로 소통했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
사람의 유전병을 발병 원인별로 계획을 세워 조사했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
가치-태도 과학적 근거를 들어 사람의 유전 현상을 분석했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
사람의 유전을 학습하며 과학에 대한 경외심을 느꼈는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

평가 결과가 아쉽다면 '1. 사람의 유전과 유전병'을 다시 한번 학습해 봅시다.

2 유전물질

- 01 DNA의 구조
- 02 유전체 구성과 유전자 구조
- 03 DNA의 복제

유전물질을 이용하여 멸종한 생물을 복원하려는 연구가 진행되고 있다.

들어다보기 멸종한 생물을 복원하는 데 유전물질을 이용하는 까닭은 무엇일까?

생각해 보기 유전물질에는 유전정보가 어떻게 저장되어 있을까?



학습할 내용을 알아보고, 스스로 학습 계획을 세워 봅시다.

이전 학습 내용

알고 있는 단어에 ✓ 표 해 보자.
 유전자 DNA 구조

지식·이해

- DNA의 구조를 설명할 수 있다.
- 원핵세포와 진핵세포의 유전체 구성과 유전자 구조의 공통점과 차이점을 설명할 수 있다.
- DNA의 반보존적 복제 과정을 설명할 수 있다.

이 단원의 학습 내용

과정·기능

- 유전물질과 DNA의 구조를 밝힌 과학사적 연구 결과를 창의적인 자료로 만들어 발표할 수 있다.
- DNA를 추출하여 관찰할 수 있다.
- DNA 복제 과정의 의미를 추론하여 협력적으로 소통할 수 있다.

가치·태도

- DNA의 구조와 복제 과정에 흥미와 관심을 가지고 모둠 활동에 적극적으로 참여할 수 있다.
- 실험 결과를 있는 그대로 기록할 수 있다.

나의 학습 계획

나는 이 단원에서 _____ 을/를 알고 싶다.

01 DNA의 구조

| 학습 목표 |

- 유전물질과 DNA의 구조 규명 관련 과학사적 연구 결과를 설명할 수 있다.
- DNA의 구조를 설명할 수 있다.

유전물질의 본체는 DNA이다. DNA에는 어떤 특성이 있을까?



유전물질과 DNA의 구조 규명

멘델은 완두로 교배실험을 하여 유전형질을 전달하는 유전 인자가 쌍으로 존재한다는 것을 알아내 유전 인자의 행동을 설명했다. 1865년 멘델이 유전의 기본 원리를 제시한 뒤 과학자들은 유전 인자가 무엇인지에 관심을 가졌다.

1902년 서턴(Sutton, W. S., 1877~1916)은 세포 속 염색체의 행동을 현미경으로 관찰하여 상동염색체가 쌍으로 존재하고, 감수분열 과정에서 염색체의 행동이 멘델이 설명한 유전 인자의 행동과 일치한다는 것을 알아냈다. 서턴은 유전 인자가 염색체에 있다는 염색체설을 주장했고, 이후 유전 인자를 유전자라고 부르게 되었다.

1926년 모건(Morgan, T. H., 1866~1945)은 초파리의 유전을 연구하여 유전자가 염색체의 일정한 위치에 있으며, 상동염색체에서 같은 위치에 있다는 것을 알아내 유전자설을 주장했다. 세포에 대한 연구가 발달하여 염색체가 DNA와 단백질로 구성된다는 것이 밝혀졌고, 그에 따라 과학자들은 DNA나 단백질이 유전물질일 것이라고 추정했다.

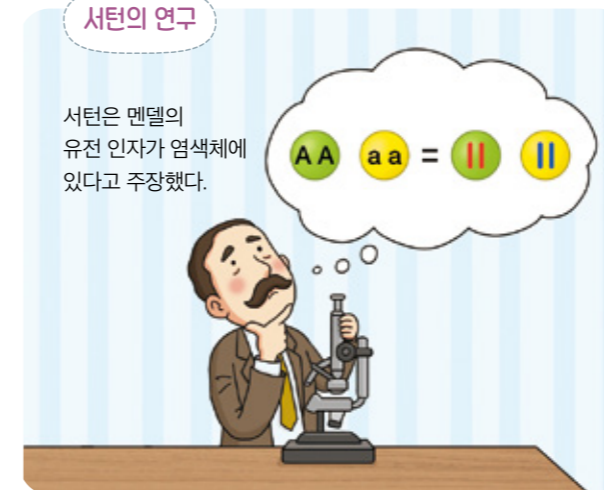
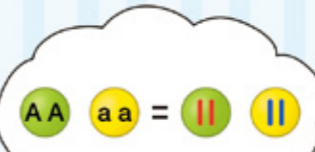
DNA의 구조는 중학교 「과학」의 '생식과 유전', 『통합과학1』의 '물질과 규칙성', '시스템과 상호작용' 단원과 연계된다.

멘델은 쌍으로 존재하는 유전 인자가 감수분열 과정에서 분리되었다가 수정을 통해 다시 쌍을 이룬다고 생각했어.

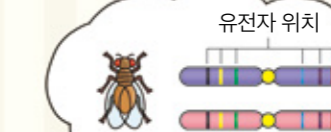


서턴의 연구

서턴은 멘델의 유전 인자가 염색체에 있다고 주장했다.



모건의 연구



모건은 유전자가 염색체의 일정한 위치에 있다고 주장했다.



그림 1-11 서턴과 모건의 연구

다음 탐구에서 유전물질과 DNA의 구조를 밝히는 데 기여한 과학사적 연구에 대해 알아보자.

탐구

조사, 협력적 소통

탐구 능력 | 의사 결정 능력

유전물질과 DNA의 구조 규명 관련 과학사적 연구 결과 조사하기

목표 유전물질과 DNA의 구조를 밝히는 데 기여한 과학사적 연구를 조사하고, 그 결과를 설명하는 자료를 창의적으로 만들어 발표할 수 있다.

과정 및 결과

1. 다음은 DNA가 유전물질이라는 것과 이중나선구조라는 것을 밝히는 데 기여한 과학자의 연구이다. 모둠별로 연구를 하나씩 골라 연구 과정과 결과, 연구의 중요성에 대해 조사해 보자.

- 준비물**
- ☑ 스마트 기기
 - ☑ 유전물질 및 DNA의 연구와 관련된 책

그리피스 (Griffith, F., 1879~1941)의 폐렴균을 이용한 형질전환 실험

에이버리 (Avery, O. T., 1877~1955)의 형질전환을 일으키는 물질 확인 실험

허시(Hershey, A. D., 1908~1997)와 체이스(Chase, M. C., 1927~2003)의 박테리오파지 증식 실험

샤가프 (Chargaff, E., 1905~2002)의 생물의 염기 조성 비율 조사

프랭클린(Franklin, R. E., 1920~1958)과 윌킨스(Wilkins, M. H. F., 1916~2004)의 X선 회절 연구

왓슨(Watson, J. D., 1928~)과 크릭(Crick, F. H. C., 1916~2004)의 DNA 구조 모델 제시

2. 조사 결과를 정리하여 발표 자료를 창의적으로 만들어 보자.

- 1 발표 자료는 영상, 정보 그림 등의 시청각 설명 자료로 만들 수 있다.

디지털 탐색 디자인 플랫폼을 활용하여 발표 자료 만들기

디자인 플랫폼에서는 포스터, 정보 그림, 카드 뉴스 등을 만들 수 있는 디자인 틀과 글씨체를 다양하게 사용할 수 있다. 또 디자인 플랫폼을 활용하면 스마트 기기를 통해 과정을 공유하면서 발표 자료를 만들 수 있다.

3. **디지털** 발표 자료를 공유 플랫폼에 공유하고 발표해 보자.

4. 다른 모둠의 발표를 듣고, 1에 제시된 과학자의 연구 결과가 서로 어떻게 관련되어 있는지 토의해 보자.

스스로 평가하기

- | 지식·이해 |** 유전물질과 DNA의 구조를 규명한 과학사적 연구 결과를 설명했는가? ☆☆☆
- | 과정·기능 |** 발표 자료를 창의적으로 만들었는가? ☆☆☆
- | 가치·태도 |** 유전물질과 DNA의 구조 규명 관련 과학사적 연구에 흥미와 관심을 가지게 되었는가? ☆☆☆

정리

- DNA가 유전물질이라는 것을 밝히는 데 기여한 연구 결과를 정리해 보자.
- DNA가 이중나선구조라는 것을 밝히는 데 기여한 연구 결과를 정리해 보자.

폐렴균의 특징

폐렴균은 폐렴의 주요 원인인 세균이며, 동근 모양이다. 폐렴균에는 병원성이 있어 폐렴에 걸리게 하는 S형균과 병원성이 없는 R형균이 있다.

***형질전환**

세포가 원래 가지는 DNA 외에 다른 DNA 조각이 외부 환경에서 세포로 들어와 세포의 유전형질이 변하는 현상

그리피스는 폐렴균을 연구하다가 두 종류의 폐렴균 사이에서 *형질전환이 일어나는 것을 관찰했다. 그림 I-12와 같이 가열하여 죽은 S형균을 살아 있는 R형균과 섞어 생쥐에 주사했더니 생쥐가 폐렴에 걸려 죽었고, 죽은 생쥐에서 살아 있는 S형균이 관찰되었다. 이를 통해 그리피스는 죽은 S형균의 어떤 물질이 R형균을 S형균으로 형질전환시켰다고 생각했지만 그 물질이 무엇인지 밝히지 못했다. 그리피스의 실험은 이후 유전물질이 무엇인지 밝히는 연구의 토대가 되었다.

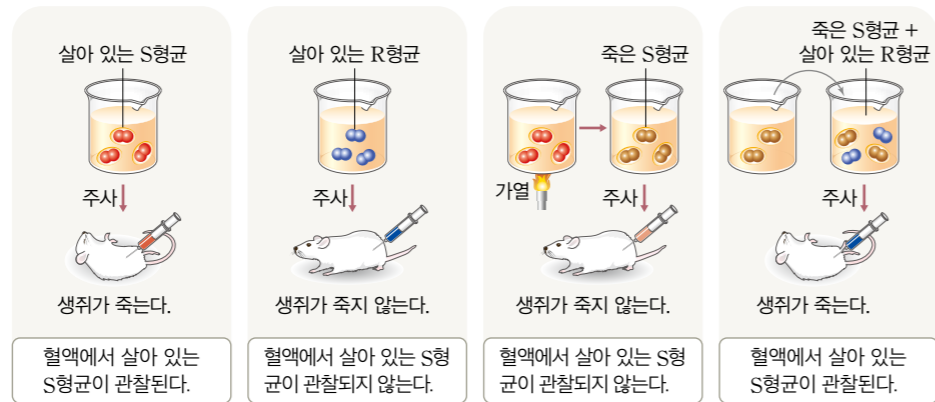


그림 I-12 그리피스의 실험

에이버리는 폐렴균에 여러 효소를 처리하여 형질전환을 일으키는 물질이 무엇인지 연구했다. 가열하여 죽은 S형균의 추출액에 DNA 분해효소, 단백질분해효소, RNA 분해효소를 각각 처리한 뒤, 각 추출액을 살아 있는 R형균이 들어 있는 배양액에 넣고 형질전환이 일어나는지 관찰했다. 그 결과 DNA 분해효소를 처리한 경우에는 형질전환이 일어나지 않는 것을 확인했고, 이를 통해 에이버리는 형질전환을 일으키는 물질이 DNA라고 결론을 내렸다.

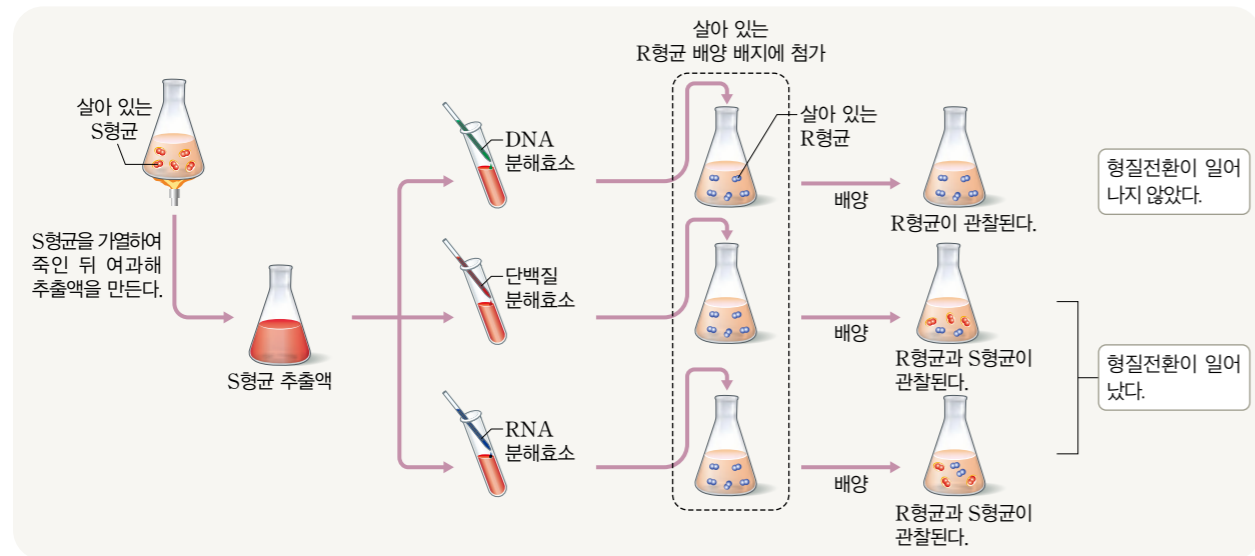


그림 I-13 에이버리의 실험

허시와 체이스는 방사성 동위원소인 ³⁵S과 ³²P으로 각각 단백질과 DNA를 표지한 박테리오파지를 대장균에 감염시킨 뒤 원심분리 하여 방사선을 측정했다. 단백질을 ³⁵S으로 표지한 박테리오파지를 대장균에 감염시키면 박테리오파지의 단백질 껍질이 있는 상층액에서 대부분의 방사선이 검출되었다. DNA를 ³²P으로 표지한 박테리오파지를 대장균에 감염시키면 대장균이 있는 침전물에서 대부분의 방사선이 검출되었다. 이를 통해 허시와 체이스는 박테리오파지가 대장균 안에서 증식하는 데 필요한 유전물질이 DNA라고 결론을 내렸다.

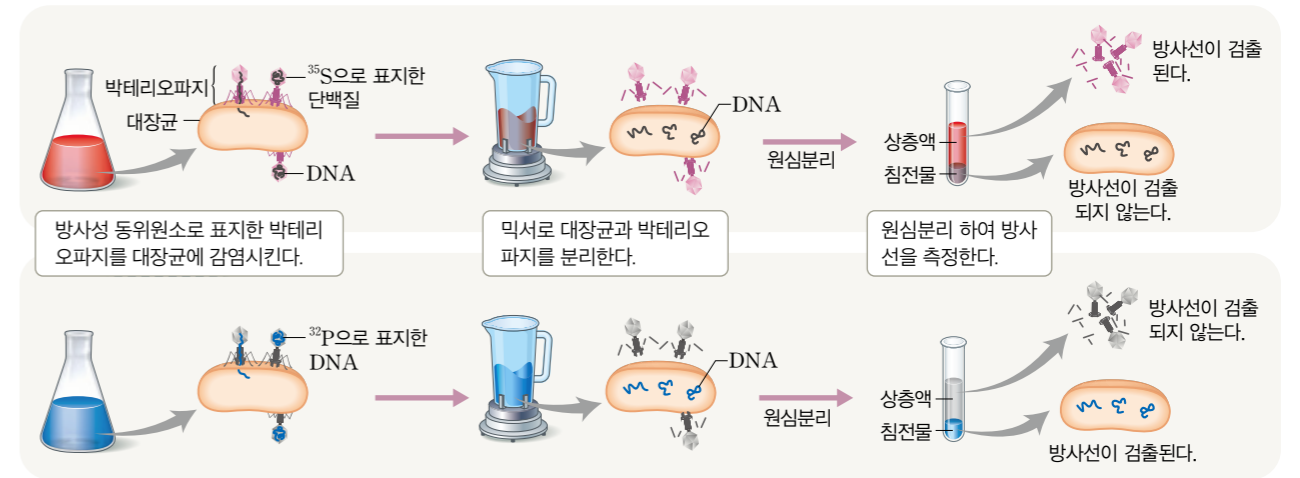
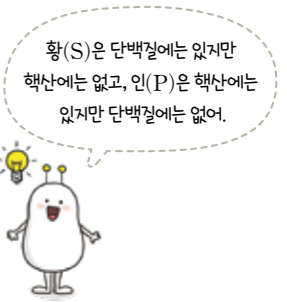


그림 I-14 허시와 체이스의 실험 박테리오파지가 DNA와 단백질 껍질로만 이루어지고, 대장균 안에서는 스스로 증식하는 특성을 이용하여 실험했다.

샤가프는 종에 따라 염기의 조성 비율은 다르지만, 아데닌(A)과 타이민(T), 구아닌(G)과 사이토신(C)의 양이 항상 같다는 샤가프의 법칙을 발표했다.

구분	염기 조성 비율(%)			
	아데닌(A)	구아닌(G)	사이토신(C)	타이민(T)
옥수수	26.8	22.8	23.2	27.2
문어	33.2	17.6	17.6	31.6
닭	28.0	22.0	21.6	28.4
쥐	28.6	21.4	20.5	28.4

(출처: Bansal, 2003.)

표 I-2 샤가프가 밝힌 여러 생물의 염기 조성 비율

프랭클린과 윌킨스는 DNA의 X선 회절 사진을 분석하여 DNA가 나선구조이고, 당-인산 골격이 나선구조의 바깥쪽에 있다는 것을 알아냈다. 샤가프, 프랭클린 등의 연구를 바탕으로 하여 왓슨과 크릭은 DNA 이중나선 모델을 제시해 DNA의 구조를 규명했다.

DNA의 구조

DNA는 핵산의 한 종류이고, 기본 단위체가 반복적으로 연결된 화합물이다. DNA의 기본 단위체는 뉴클레오타이드이고, 뉴클레오타이드는 그림 I-15와 같이 인산, 당, 염기가 1 : 1 : 1로 결합되어 있다. DNA의 뉴클레오타이드를 구성하는 당은 디옥시라이보스이며, 디옥시라이보스의 5' 탄소에 인산이, 1' 탄소에 염기가 연결된다. 염기는 아데닌(A), 구아닌(G), 사이토신(C), 타이민(T)의 4 종류이다. 아데닌(A)과 구아닌(G)은 2 개의 고리 구조로 이루어진 퓨린계열의 염기이며, 사이토신(C)과 타이민(T)은 1 개의 고리 구조로 이루어진 피리미딘계열의 염기이다.

2 개의 뉴클레오타이드는 한 뉴클레오타이드의 당과 다른 뉴클레오타이드의 인산이 공유결합 하여 연결되며, 이 과정이 반복되어 폴리뉴클레오타이드가 형성된다. 폴리뉴클레오타이드에서 당-인산 골격을 기본으로 당에 연결된 염기는 일정한 순서로 배열되어 있다. 또 당-인산 골격에서 한쪽 끝은 디옥시라이보스의 5' 탄소에 인산이 연결된 5' 말단이고, 다른 쪽 끝은 디옥시라이보스의 3' 탄소에 하이드록시기(-OH)가 연결된 3' 말단이다.

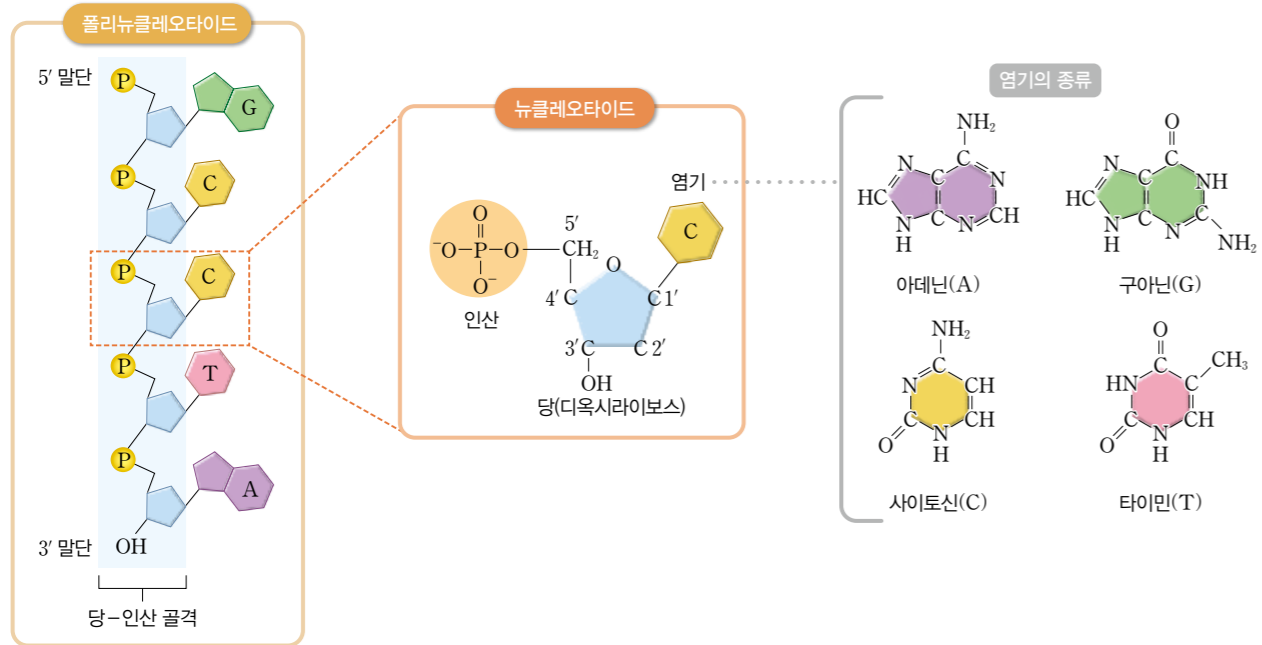


그림 I-15 폴리뉴클레오타이드의 구조 폴리뉴클레오타이드는 방향성이 있으며, 뉴클레오타이드의 연결에 의해 염기서열이 나타난다.

DNA는 폴리뉴클레오타이드 두 가닥이 나선 모양으로 꼬여 있어 이중나선의 입체 구조를 형성한다. 각 폴리뉴클레오타이드 가닥에서 당-인산 골격은 *친수성으로 이중나선의 바깥쪽에 배열되고, 염기는 안쪽에서 서로 마주 보고 수소결합으로 연결되어 염기쌍을 형성한다.

* 친수성
물 분자와 쉽게 결합하는 성질

다음 해 보기에서 DNA의 구조적 특징을 알아보자.

해보기

탐구 능력 | 문제 해결 능력

DNA의 구조 추론하기

그림은 폴리뉴클레오타이드 두 가닥에서 염기가 결합할 수 있는 세 가지 경우를 나타낸 것이고, 표는 성체와 사람의 염기 조성 비율을 나타낸 것이다.

구분	아데닌 (A)	구아닌 (G)	사이토신 (C)	타이민 (T)
성체	32.8 %	17.7 %	18.4 %	32.1 %
사람	30.3 %	19.5 %	19.9 %	30.3 %

(출처: 『Genetics』, 2017.)

- DNA를 이루는 폴리뉴클레오타이드 두 가닥 사이의 염기 결합은 그림의 (가), (나) 중 어느 것에 해당하는지 표를 참고하여 설명해 보자.

폴리뉴클레오타이드 두 가닥 사이에서 아데닌(A)은 항상 타이민(T)과, 구아닌(G)은 항상 사이토신(C)과 수소결합으로 연결된다. 이와 같은 염기의 결합을 상보 결합이라고 하며, 상보결합으로 상보적 염기쌍이 형성된다. 이처럼 퓨린계열의 염기와 피리미딘계열의 염기가 상보결합 하므로 DNA 이중나선의 지름은 일정하며, 상보결합으로 연결된 폴리뉴클레오타이드 두 가닥은 방향이 서로 반대이다.

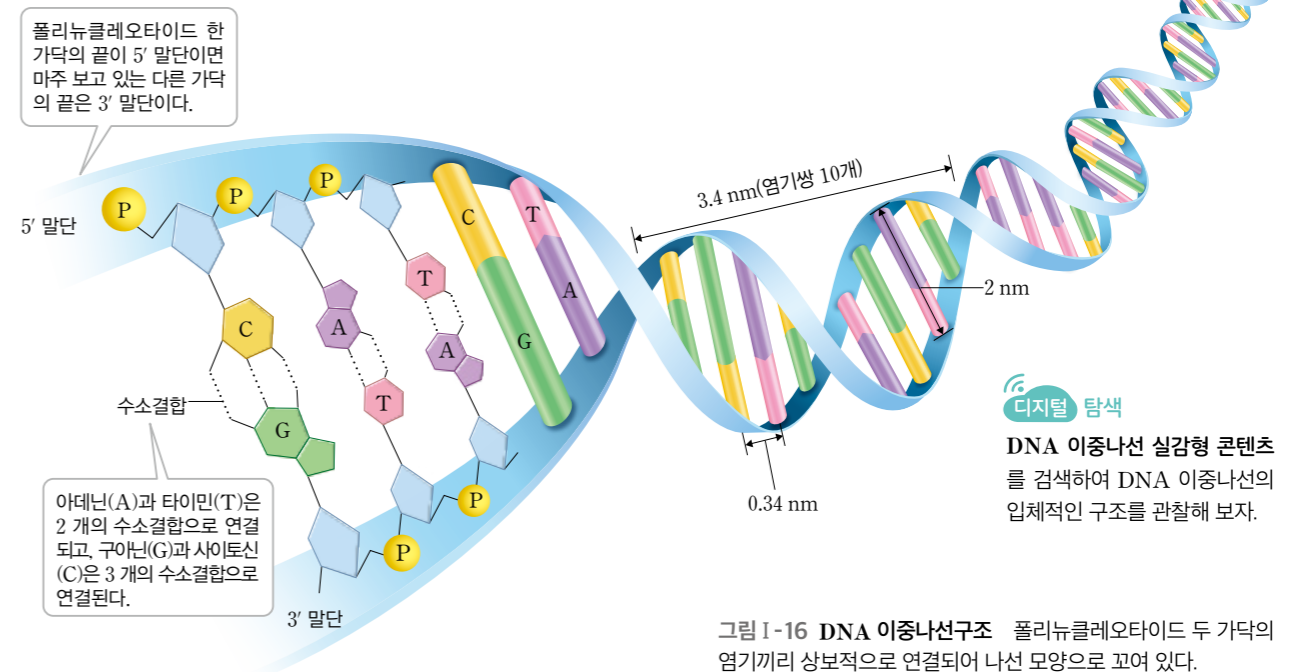


그림 I-16 DNA 이중나선구조 폴리뉴클레오타이드 두 가닥의 염기끼리 상보적으로 연결되어 나선 모양으로 꼬여 있다.

다음 탐구에서 식물세포에 있는 DNA를 추출하여 관찰해 보자.

탐구

실험, 결론 도출

탐구 능력 | 문제 해결 능력

DNA를 추출하여 관찰하기

실험 영상



목표 식물세포에서 DNA를 추출하여 관찰할 수 있다.

과정 및 결과

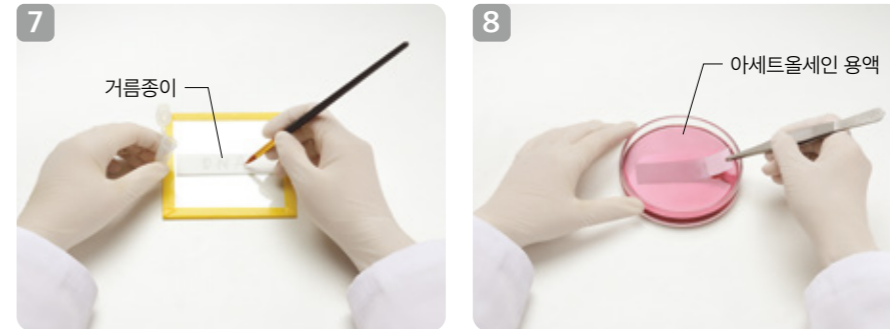
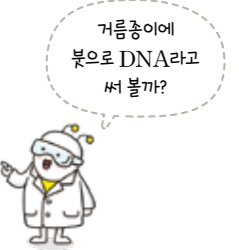
- 증류수 150 mL에 소금 2 g과 주방용 세제 7 mL를 넣어 소금-세제 용액을 만든다.
- 막자사발에 브로콜리 50 g을 넣고 막자로 곱게 간 뒤 소금-세제 용액 100 mL를 넣어 섞는다.
 - 소금의 Na^+ 은 DNA를 잘 뭉치게 하고, 세제는 핵막과 세포막의 인지질을 녹인다.
- 10 분 뒤 2의 혼합액을 체로 걸러 비커에 브로콜리 추출액을 모은다.
- 브로콜리 추출액이 들어 있는 비커에 차가운 95 % 에탄올을 유리 막대를 따라 천천히 흘려 부어 브로콜리 추출액과 섞이지 않고 층을 이루게 한다.
 - 에탄올은 냉동실에 보관했다가 꺼내 차가운 상태로 사용한다.
- 가는 실이 뭉친 모양으로 추출된 물질을 관찰한다.

- 준비물**
- 스포이트 비커
 - 유리 막대 유리판
 - 페트리 접시
 - 막자사발과 막자
 - 체 원심관 튜브
 - 나무젓가락 거름종이
 - 붓 핀셋
 - 증류수 소금
 - 주방용 세제
 - 95 % 에탄올
 - 0.2 % 아세트올세인 용액
 - 브로콜리
 - 실험복 실험용 장갑
 - 보안경 마스크

- 안전**
- 유리 기구가 깨지지 않게 주의한다.
 - 사용하고 남은 생물 재료와 화학 약품은 선생님의 지도에 따라 분리하여 처리한다.
 - 실험복, 실험용 장갑, 보안경, 마스크를 반드시 착용한다.



- 원심관 튜브에 증류수 0.5 mL를 넣고, 5에서 추출된 물질을 나무젓가락으로 건져 넣어 섞는다.
- 6의 용액을 붓에 묻혀 거름종이에 여러 번 겹쳐 바른다.
- 거름종이를 0.2 % 아세트올세인 용액에 15 분 동안 담가 둔다.
 - 아세트올세인 용액은 DNA를 붉은색으로 염색한다.
- 거름종이를 꺼내 70 °C~80 °C의 물에 담가 거름종이에 묻은 아세트올세인 용액을 제거한 뒤 꺼내어 염색된 부위를 관찰한다.



정리

- 실험 결과로 알 수 있는 사실을 설명해 보자.
- 사고력** 브로콜리에서 추출한 물질에는 단백질과 DNA가 들어 있다. 단백질을 제거하여 DNA만 얻을 수 있는 방법을 설명해 보자.

특정 생물의 세포에서 DNA를 추출하여 분석하면 그 생물의 유전정보를 알 수 있다. 이 유전정보는 생물 사이의 유연관계를 비교하거나 유전병을 진단하는 등 다양한 분야에 이용될 수 있다.

스스로 평가하기

- 지식·이해** | DNA 추출 과정에서 실험 원리를 이해했는가? ☆☆☆
- 과정·기능** | 브로콜리의 DNA를 추출하여 관찰했는가? ☆☆☆
- 가치·태도** | 실험 결과를 있는 그대로 기록했는가? ☆☆☆

스스로 확인하기

- 허시와 체이스는 박테리오파지의 구성 물질 중 ()이 대장균 안으로 들어가 박테리오파지의 증식에 관여한다는 것을 밝혔다.
- DNA 이중나선에서 아데닌(A)은 항상 타이민(T)과, 구아닌(G)은 항상 사이토신(C)과 수소결합으로 연결되는 것을 무엇이라고 하는지 써 보자.
- 과학 역량 기르기** | DNA 이중나선에서 한 가닥의 염기서열이 5'-GATTACA-3' 일 때 다른 가닥의 방향과 염기서열을 써 보자.

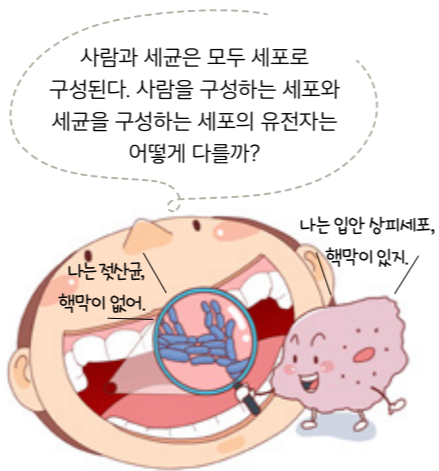
단원을 마치기 전에 학습 목표를 달성했는지 31 쪽 학습 목표에 표하여 스스로 점검해 보자.

02

유전체 구성과 유전자 구조

학습 목표

- 원핵세포와 진핵세포의 유전체 구성과 유전자 구조를 이해하고 공통점과 차이점을 설명할 수 있다.



유전체 구성과 유전자 구조는 『생명과학』의 ‘생명의 연속성과 다양성’ 단원과 연계된다.

생물을 구성하는 세포는 유전물질이 핵막으로 둘러싸여 있지 않은 원핵세포와 유전물질이 핵막으로 둘러싸여 있고 막으로 둘러싸인 세포소기관이 발달한 진핵세포로 구분된다. 세포 내 유전정보 전체를 유전체라고 한다. 다음 해 보기에서 원핵세포와 진핵세포의 유전체를 비교해 보자.

해보기

원핵세포와 진핵세포의 유전체 특징 비교하기

표는 원핵세포로 구성된 대장균과 진핵세포로 구성된 사람의 세포 하나당 유전체의 특징을 나타낸 것이다.

구분	대장균	사람(생식세포)
염색체의 형태와 수	<p>원형의 염색체 1 개</p>	<p>선형의 염색체 23 개</p>
유전체의 크기 (10 ⁶ 염기쌍)	4.6	3000
유전자의 수(개)	4400	21300

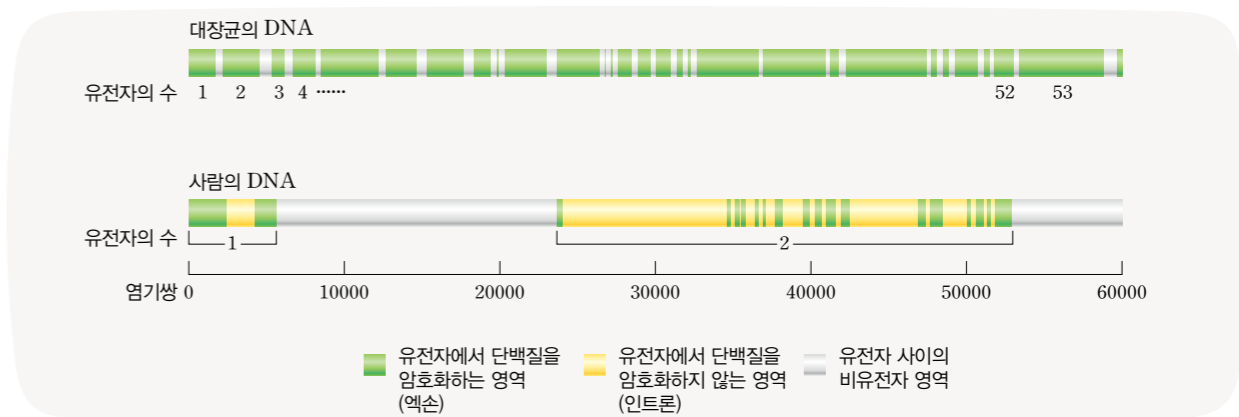
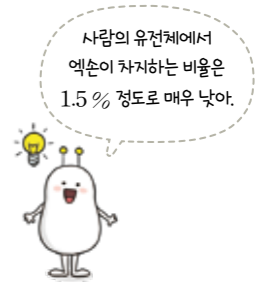
(출처: 『생명과학』, 2022.)

- 대장균과 사람 염색체의 형태와 수를 비교하여 차이점을 설명해 보자.
- 대장균과 사람 유전체의 크기 차이에 비해 유전자의 수 차이가 더 작은 까닭을 추론해 보자.

원핵세포와 진핵세포는 염색체의 형태와 수, 유전체의 구성, 유전자의 구조가 다르다. 원핵세포에는 대부분 원형의 염색체가 1 개 있지만, 진핵세포에는 선형의 염색체가 여러 개 있다. 원핵세포는 진핵세포보다 유전체의 크기가 작고, 유전자의 수가 적다.

그림 I-17은 대장균과 사람의 DNA에서 60000 염기쌍 길이에 존재하는 유전자의 분포를 나타낸 것이다. 대장균과 사람의 유전자 사이에는 유전정보를 저장하지 않는 비유전자 영역이 있다. 대장균과 같은 원핵세포의 유전체는 비유전자 영역이 차지하는 비율이 낮아 유전체에 유전자가 매우 조밀하게 배열되어 있으며, 일반적으로 유전자는 단백질을 암호화하는 영역으로만 이루어진다.

사람의 세포와 같은 진핵세포의 유전체는 원핵세포의 유전체에 비해 비유전자 영역이 차지하는 비율이 높다. 또 유전자에는 단백질을 암호화하는 영역인 엑손과 단백질을 암호화하지 않는 영역인 인트론이 있다.



(출처: 『Molecular Biology of the Gene』, 2013.)

그림 I-17 대장균과 사람의 유전체 구성과 유전자 구조 60000 염기쌍 길이에서 대장균의 DNA에는 53 개의 유전자가 조밀하게 배열되어 있고, 사람의 DNA에는 2 개의 유전자만 배열되어 있으며 유전자 사이에 비유전자 영역이 차지하는 비율이 높다.

참고사고 당뇨병을 치료하는 데 이용하는 인슐린은 사람의 유전자를 대장균의 유전체에 삽입하여 대량으로 생산할 수 있다. 사람의 유전자를 대장균의 유전체에 삽입할 때 유의할 점을 설명해 보자.



스스로 확인하기

- 생물의 ()은/는 세포 내 유전정보 전체이다.
- 진핵세포의 유전자에서 단백질을 암호화하는 영역을 무엇이라고 하는지 써 보자.
- 과학 역량 기르기** 유전체에서 단백질을 암호화하는 영역의 비율은 대장균과 사람 중 어느 것이 더 높은지 유전체의 구성과 유전자의 구조를 근거로 하여 설명해 보자.

단원을 마칠기 전에 학습 목표를 달성했는지 40 쪽 학습 목표에 ✓ 표시하여 스스로 점검해 보자.

03 DNA의 복제

| 학습 목표 |

- 반보존적 복제 과정의 의미를 설명할 수 있다.
- DNA 복제 과정을 설명할 수 있다.

염색분체는 하나의 DNA 이중나선이 복제되어 만들어진다. DNA 이중나선은 어떤 과정을 거쳐 복제될까?



DNA 복제모델

사람을 구성하는 세포는 성장, 재생, 발생 등을 위해 체세포분열을 반복한다. 체세포분열로 생성된 딸세포는 유전자 구성이 모세포와 같으며, 이는 모세포의 DNA가 복제되어 딸세포로 전달되기 때문이다. DNA 이중나선구조가 규명된 뒤 DNA 복제에 대한 세 가지 모델이 가설로 제기되었다. 그림 I-18은 보존적 복제모델, 분산적 복제모델, 반보존적 복제모델을 나타낸 것이다.

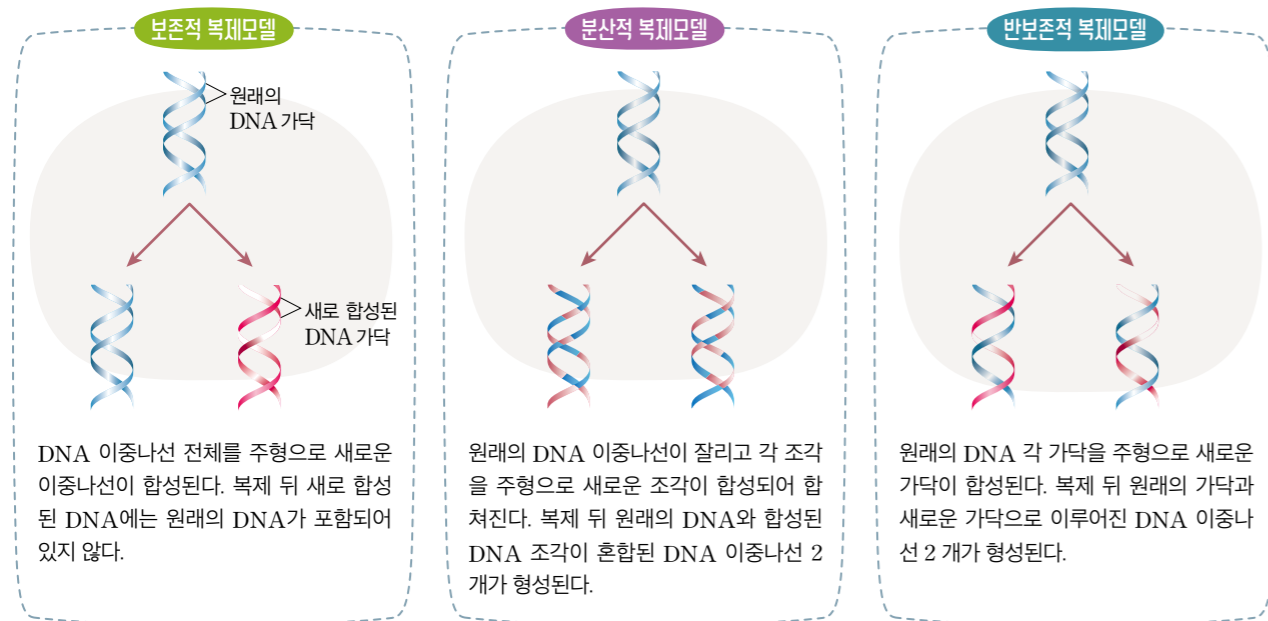


그림 I-18 DNA 복제에 대한 세 가지 모델

메셀슨(Meselson, M. S., 1930~)과 스탈(Stahl, F. W., 1929~)은 DNA의 염기 성분 중 하나인 질소(N)의 동위원소를 대장균의 DNA에 표지하여 복제 방식을 확인했다.

다음 탐구에서 DNA 복제 방식을 알아보고, 그 의미를 추론해 보자.

탐구 능력 | 문제 해결 능력

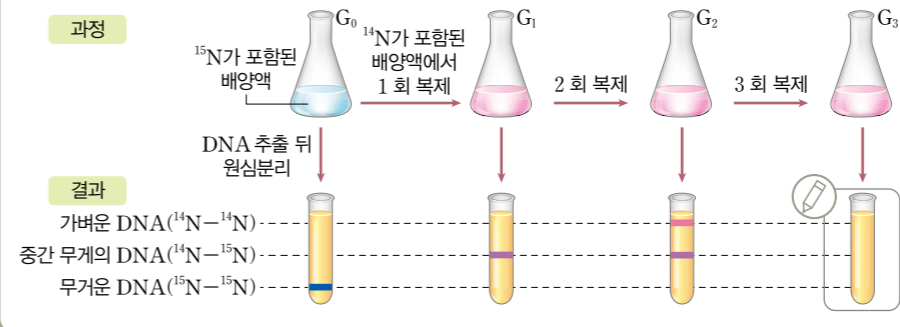
탐구 DNA 복제 방식 추론하기

추론, 협력적 소통 **목표** DNA 복제 방식과 그 의미를 추론하여 설명할 수 있다.

과정 및 결과

다음은 메셀슨과 스탈이 DNA 복제 방식을 알아내기 위해 수행한 실험이다.

- 대장균을 무거운 질소(¹⁵N)가 포함된 배양액에서 여러 세대 배양하여 ¹⁵N로 표지된 DNA를 가진 대장균(G₀)을 얻었다.
- G₀ 일부를 가벼운 질소(¹⁴N)가 포함된 배양액에서 1회 분열시켜 1세대 대장균(G₁)을 얻었다.
- G₁ 일부를 ¹⁴N가 포함된 배양액에서 1회 분열시켜 2세대 대장균(G₂)을 얻고, G₂ 일부를 ¹⁴N가 포함된 배양액에서 1회 분열시켜 3세대 대장균(G₃)을 얻었다.
- G₀, G₁, G₂, G₃의 DNA를 각각 추출하여 원심분리 했다.

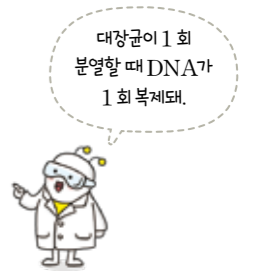


준비물

- ☑ 스마트 기기

탐구 유의 사항

발표할 때에는 내용을 이해하기 쉽게 설명한다.



1. G₁과 G₂의 결과로 기각된 DNA 복제모델을 모두 쓰고, 그 까닭을 설명해 보자.
2. 이 실험 결과가 지지하는 DNA 복제 방식을 바탕으로 하여 G₃의 결과를 그려 보자.
3. 이 실험 결과가 지지하는 DNA 복제 방식의 의미를 토의하고, 그 의미를 설명하는 자료를 만들어 발표해 보자.

정리

- 메셀슨과 스탈의 실험 결과가 지지하는 DNA 복제 방식의 의미를 설명해 보자.

스스로 평가하기

| 지식·이해 | DNA의 반보존적 복제 과정이 가지는 의미를 설명했는가? ☆☆☆

| 과정·기능 | DNA 복제 방식을 추론하는 과정에서 협력적으로 소통했는가? ☆☆☆

| 가치·태도 | DNA 반보존적 복제 방식의 의미를 추론할 때 과학적으로 사고했는가? ☆☆☆

메셀슨과 스탈은 DNA 이중나선이 두 가닥으로 분리되고, 각 가닥을 주형으로 새로운 가닥이 합성되어 DNA가 반보존적으로 복제된다는 것을 밝혔다.

DNA의 반보존적 복제 방식

DNA가 복제될 때에는 먼저 염기 사이의 수소결합이 끊어져 DNA 이중나선이 폴리뉴클레오타이드 두 가닥으로 분리된다. 각 폴리뉴클레오타이드 가닥을 주형으로 새로운 폴리뉴클레오타이드 가닥이 합성되는데, 이 과정을 **DNA 중합효소**가 촉매한다. 그림 I-19와 같이 DNA 중합효소는 주형 가닥의 염기와 상보적인 염기를 가지는 뉴클레오타이드를 합성 중인 가닥의 3' 말단에 연결한다. 따라서 새로 합성되는 가닥은 5' 말단 → 3' 말단의 방향으로 길어진다.

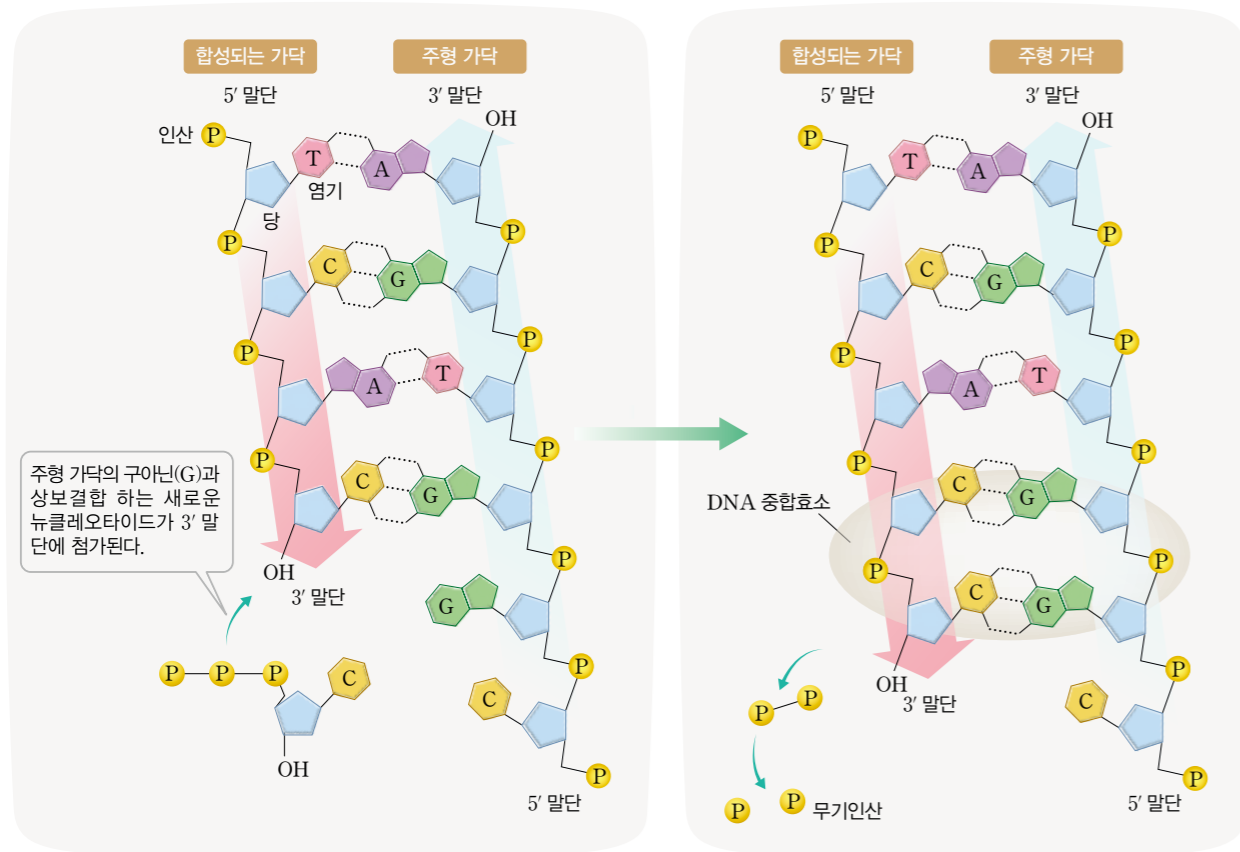


그림 I-19 DNA 중합효소의 작용 DNA 중합효소는 새로 합성되는 가닥의 5' 말단 → 3' 말단 방향으로 뉴클레오타이드를 연결하며, 합성 중인 가닥과 주형 가닥의 방향은 서로 반대이다.

DNA 중합효소에 의해 새로운 폴리뉴클레오타이드 가닥이 합성되려면 뉴클레오타이드가 처음 결합할 3' 말단을 제공하는 RNA 프라이머가 필요하다. RNA 프라이머는 복제 시작 지점에 합성되며, DNA 중합효소는 RNA 프라이머의 3' 말단에 주형 가닥과 상보적인 염기를 가지는 뉴클레오타이드를 연결한다. RNA 프라이머는 복제가 완료되기 전에 제거되고, DNA를 구성하는 뉴클레오타이드로 대체된다.

DNA가 복제될 때에는 이중나선을 구성하는 폴리뉴클레오타이드 두 가닥을 각각 주형으로 새로운 폴리뉴클레오타이드 가닥 2 개가 동시에 합성된다. 새로 합성되는 가닥은 5' 말단 → 3' 말단 방향으로만 길어질 수 있으므로 한 가닥은 이중나선이 풀리는 방향에 따라 연속적으로 합성되지만, 다른 가닥은 이중나선이 풀리는 방향과 반대로 불연속적인 짧은 DNA 조각을 만들며 합성된다. 이때 연속적으로 합성되는 가닥을 **선도 가닥**이라 하고, 불연속적으로 합성되는 가닥을 **지연 가닥**이라고 한다.

선도 가닥이 합성될 때에는 복제 시작 지점에 RNA 프라이머가 합성되고, DNA 중합효소가 RNA 프라이머의 3' 말단에 뉴클레오타이드를 연속적으로 연결한다. 지연 가닥이 합성될 때에는 이중나선이 조금씩 풀릴 때마다 RNA 프라이머와 DNA 중합효소에 의해 짧은 DNA 조각들이 합성되며, 이 조각들은 DNA 연결효소에 의해 길게 연결된다. 이러한 반보존적 복제 결과 만들어진 DNA 이중나선은 원래의 폴리뉴클레오타이드 가닥과 새로 합성된 폴리뉴클레오타이드 가닥으로 구성되며, 원래의 DNA 이중나선과 염기서열이 같다.

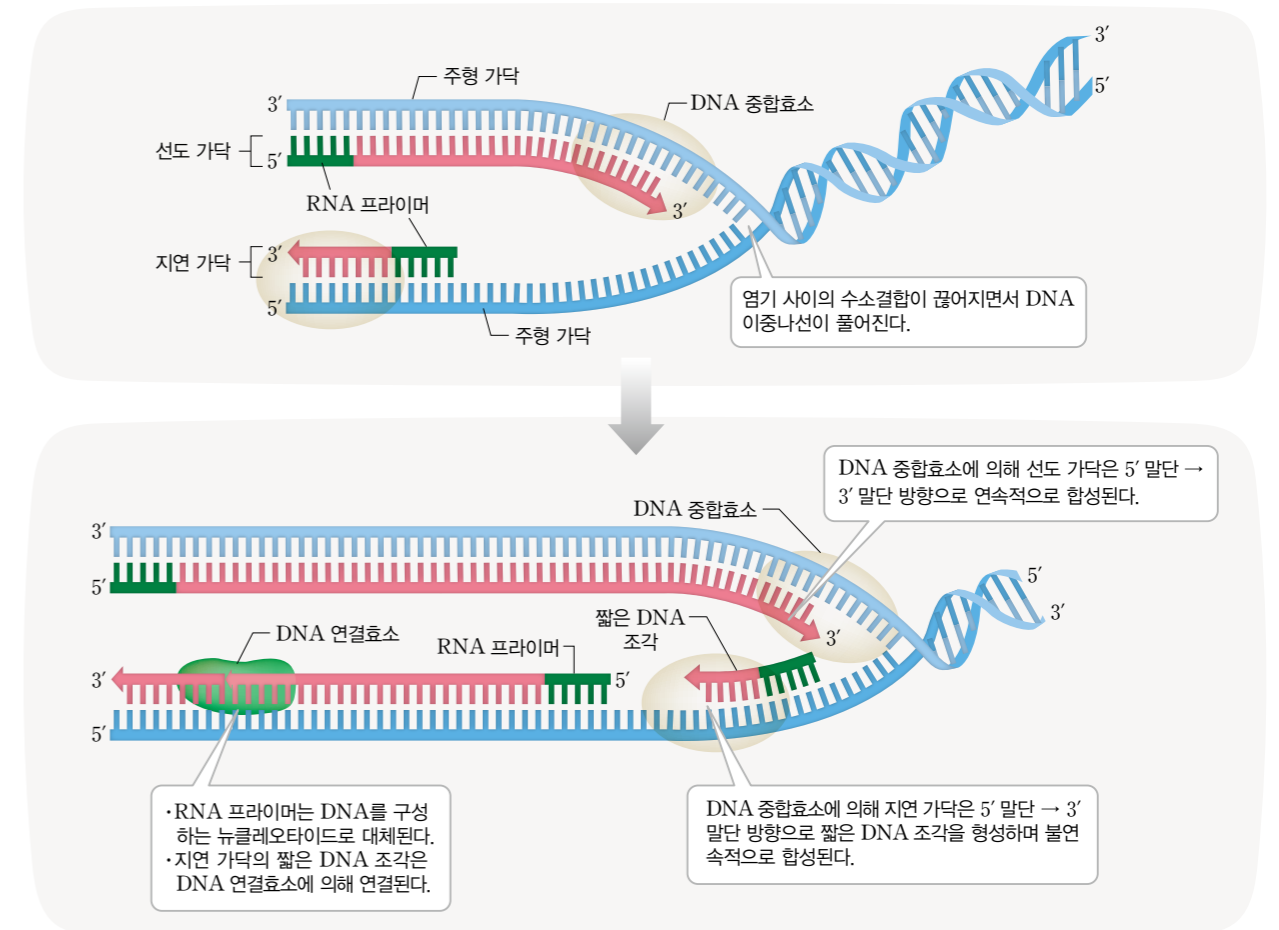


그림 I-20 DNA 복제 과정

다음 탐구에서 모의실험을 하여 DNA 복제 과정을 알아보자.

탐구

추론, 모형 생성

탐구 능력 | 문제 해결 능력

실험 영상



DNA 복제 모의실험 하기

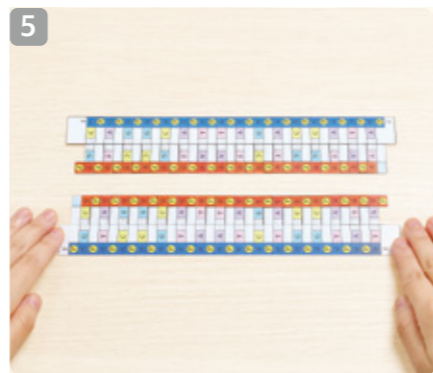
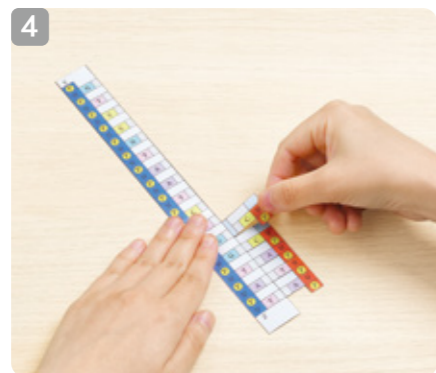
목표 DNA 복제 과정을 모의실험으로 확인할 수 있다.

과정

1. 부록에 있는 DNA 복제 모형을 잘라 준비한다.
2. 2 명씩 모둠을 이루고, 뉴클레오타이드 모형을 잘라 준비한다.
3. DNA 이중나선 모형을 이중나선이 풀어지는 방향을 따라 가운데 선을 잘라 두 가닥으로 분리한다.
4. 주형 가닥의 방향을 확인하고, 다음을 참고하여 주형 가닥의 염기에 상보적인 염기를 가지는 뉴클레오타이드 모형을 붙인다.

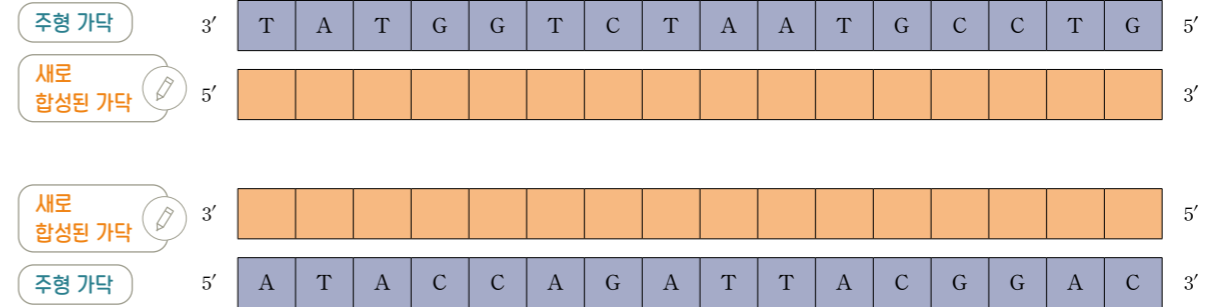
- 아데닌(A)은 항상 타이민(T)과, 구아닌(G)은 항상 사이토신(C)과 상보결합 한다.
- 아데닌(A)과 타이민(T) 사이에는 2 개의 수소결합이 형성되고, 구아닌(G)과 사이토신(C) 사이에는 3 개의 수소결합이 형성된다.

5. 2 개의 주형 가닥을 모두 반보존적으로 복제하여 완성한다.



결과 및 정리

1. 새로 합성된 DNA 가닥의 염기서열을 써 보자.



2. DNA 복제 과정에서 **과정 3**이 의미하는 것을 설명해 보자.
3. **과정 4**에서 새로운 뉴클레오타이드 모형을 붙이는 방향을 설명해 보자.
4. 원래의 DNA 이중나선의 염기서열과 복제된 DNA 이중나선의 염기서열을 비교하여 설명해 보자.
5. **사고력** DNA 복제 모의실험이 실제 DNA 복제 과정과 다른 점을 설명해 보자.

디지털 탐색 DNA 복제 과정 알아보기

- 1 DNA 복제 과정에 대한 동영상을 검색하여 공유해 보자.
- 2 공유한 동영상을 시청하고, DNA 복제 과정에 대해 알게 된 점을 정리해 보자.

🔍 DNA 합성 🔍 DNA 복제

스스로 평가하기

- [지식·이해]** DNA의 반보존적 복제 과정을 설명했는가? ☆☆☆
- [과정·기능]** DNA 복제 과정을 모의실험으로 재연했는가? ☆☆☆
- [가치·태도]** 모둠 활동에 적극적으로 참여하고, DNA 복제 과정에 관심을 가지게 되었는가? ☆☆☆

스스로 확인하기

- 1 DNA는 이중나선의 두 가닥에서 각 가닥을 주형으로 새로운 가닥을 합성하는 () 복제 방식으로 복제된다.
- 2 DNA 복제 과정에서 DNA 중합효소는 () → () 방향으로 뉴클레오타이드를 연결한다.
- 3 **| 과학 역량 기르기 |** DNA 복제 과정에서 새로운 가닥을 합성할 때 주형 가닥에 상보적이지 않은 염기를 가진 뉴클레오타이드가 연결될 수 있다. 이때 잘못 연결된 뉴클레오타이드가 제거되고 상보적인 염기를 가진 뉴클레오타이드로 교체된다. 이 작용의 의미를 설명해 보자.

단원을 마치기 전에 학습 목표를 달성했는지 42 쪽 학습 목표에 ✓ 표시하여 스스로 점검해 보자.

유전자감식수사연구원

사건 및 사고의 수사를 지원하기 위해 유전자를 과학적으로 분석하는 업무를 수행하는 전문가를 유전자감식수사연구원이라고 한다. 과학 수사가 중요해지면서 유전자감식수사연구원이라는 직업이 주목받고 있다.

유전자감식수사연구원은 어떤 일을 하나요?

유전자감식수사연구원은 국립과학수사연구원 등에서 DNA의 변이를 이용하여 유전자를 감식합니다. 이를 통해 사건 및 사고 현장에서 채취한 시료의 유전정보를 분석하고 범인이나 희생자의 신원을 확인합니다. 또 실종 아동의 신원을 확인하는 데 필요한 DNA 정보를 모아 데이터 베이스를 구축합니다. 최근에는 해결되지 않은 사건과 관련된 DNA가 손상되지 않게 관리하거나 동식물의 종을 알아 내는 일도 합니다.



유전자감식수사연구원이 되려면 어떻게 준비하나요?

유전자감식수사연구원이 되려면 생명과학, 생화학, 유전학 등을 전공해야 합니다. 최근에는 법 유전학, 집단유전학을 전공한 사람도 유전자감식수사연구원에 지원하고 있습니다. 유전자감식수사연구원은 비슷한 증거물에서 나오는 많은 시료의 유전자를 분석해야 하므로 각 시료에 대한 정보를 기록하고 실험할 때마다 꼼꼼하게 확인해야 합니다. 따라서 성실함, 정직함, 책임감이 필요하고, 여러 분야의 사람들과 협력할 수 있도록 의사소통 능력을 길러야 합니다.



디지털 탐색

워크넷(www.work.go.kr)
유전자감식수사연구원과 관련된 정보를 찾아보자.



생각 펼치기

문제 해결 능력

유전자감식수사연구원이 되려면 어떻게 준비해야 하는지 계획을 세워 보자.



중단원 마무리

2. 유전물질

01 DNA의 구조

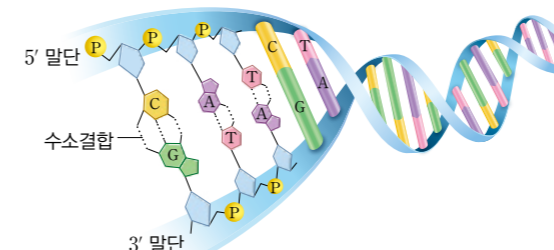
31 쪽~39 쪽

1. 유전물질과 DNA 구조 규명

- 허시와 체이스의 박테리오파지 증식 실험: 박테리오파지는 대장균 안으로 유전물질인 ① 을/를 주입하여 대장균 안에서 증식한다는 것을 확인했다.
- 샤가프의 법칙과 DNA X선 회절 사진을 토대로 왓슨과 크릭은 DNA의 ② 구조를 규명했다.

2. DNA의 구조

- DNA는 기본 단위체인 ③ 이/가 반복적으로 결합하여 만들어진 폴리뉴클레오타이드 두 가닥이 나선 모양으로 꼬여 이중나선구조를 이룬다.
- 폴리뉴클레오타이드의 방향성: 한 가닥의 끝이 5' 말단이면 마주 보는 다른 가닥의 끝은 ④ 이다.
- 염기의 상보결합: 아데닌(A)은 항상 타이민(T)과, 구아닌(G)은 항상 사이토신(C)과 ⑤ (으)로 연결된다.



▲ DNA 이중나선구조

02 유전체 구성과 유전자 구조

40 쪽~41 쪽

1. 유전체 구성: 진핵세포는 원핵세포보다 비유전자 영역이 차지하는 비율이 ⑥ .
2. 유전자 구조: 진핵세포에서 유전자에는 단백질을 암호화하는 영역인 엑손과 단백질을 암호화하지 않는 영역인 ⑦ 이/가 있다.

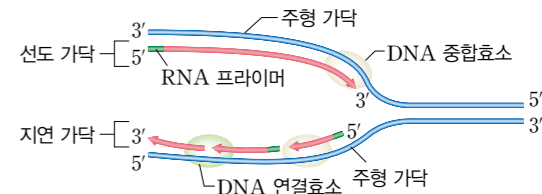
03 DNA의 복제

42 쪽~47 쪽

1. 반보존적 복제: 원래의 DNA 각 가닥을 주형으로 새로운 가닥이 합성되며, 복제 뒤 원래의 가닥과 새로운 가닥으로 이루어진 DNA 이중나선 2 개가 형성된다.

2. DNA 복제 과정

- 복제 방향: 새로 합성되는 DNA 가닥은 ⑧ 의 작용으로 5' 말단 → 3' 말단 방향으로 길어진다.
- DNA 이중나선이 풀리는 방향에 따라 연속적으로 합성되는 가닥을 ⑨ , 풀리는 방향과 반대로 불연속적인 짧은 DNA 조각들이 합성된 뒤 연결되는 가닥을 ⑩ (이)라고 한다.



▲ DNA 복제 과정

스스로 평가하기

이 단원에서 학습한 내용을 확인하고 스스로 평가해 봅시다.

우수 보통 미흡

지식-이해	DNA의 구조를 설명했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	원핵세포와 진핵세포의 유전체 구성과 유전자 구조의 공통점과 차이점을 설명했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	DNA의 반보존적 복제 과정을 설명했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
과정-기능	유전물질과 DNA의 구조를 밝힌 과학사적 연구 결과를 창의적인 자료로 만들어 발표했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	DNA를 추출하여 관찰했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	DNA 복제 과정의 의미를 추론하고 협력적으로 소통했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
가치-태도	DNA의 구조와 복제 과정에 흥미와 관심을 가지고 모둠 활동에 적극적으로 참여했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	실험 결과를 있는 그대로 기록했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

평가 결과가 아쉽다면 '2. 유전물질'을 다시 한번 학습해 봅시다.

유전물질 관련 책 소개하기

유전자와 유전물질에 대해 더 알고 싶은 내용이 있다면 친구들과 관련 책을 찾아 함께 읽으면서 어려운 내용이나 궁금한 내용에 대해 토의해 보자. 또 토의한 내용을 정리하여 책을 소개하는 글을 써 보자.



1 고안하기

- 모둠별로 읽고 싶은 유전자와 유전물질 관련 책을 골라 보자.
- 고른 책을 언제까지 읽고, 책을 소개하는 글을 어떻게 쓸지 정해 보자.

2 수행하기

- 모둠별로 책을 읽은 뒤 책의 주요 내용을 이야기하고, 어려운 내용이나 궁금한 내용에 대해 토의해 보자.
- 토의한 내용을 정리하여 책을 소개하는 글을 써 보자.
- 완성한 책 소개 글을 모둠원과 함께 읽으면서 수정할 점을 찾아보자.
- 책 소개 글을 수정하고, 공유 플랫폼에 공유해 보자.



3 평가하기

- 다른 모둠의 책 소개 글을 모둠원과 함께 읽어 보자.
- 다음 표를 활용하여 우리 모둠과 다른 모둠의 책 소개 글을 평가해 보자.

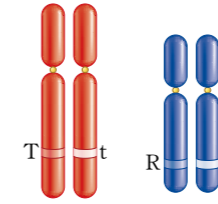
평가 내용	우수	보통	미흡
지식·이해 책의 주요 내용을 조리 있게 소개했는가?			
과정·기능 책의 주요 내용을 포함하여 소개하는 글을 썼는가?			
가치·태도 글쓰기에 흥미를 느끼고 적극적으로 참여했는가?			

대단원 마무리

I. 유전자와 유전물질

1. 사람의 유전과 유전병 8 쪽

01 그림은 어떤 사람의 2 쌍의 상동염색체에 있는 대립유전자 T와 t, R와 r를 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 돌연변이는 고려하지 않는다.)

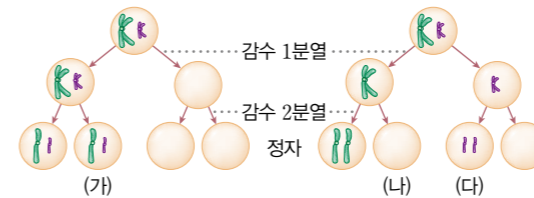


- [보기]
- T와 t는 DNA 염기서열이 서로 다르다.
 - 감수분열 과정에서 R와 r는 같은 생식세포로 들어간다.
 - 상동염색체 중 하나는 어머니에게서, 다른 하나는 아버지에게서 물려받은 것이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

1. 사람의 유전과 유전병 8 쪽

02 그림은 사람의 정자 형성 과정에서 나타날 수 있는 성염색체의 염색체비분리현상을 나타낸 것이다.



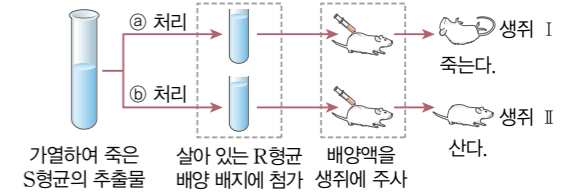
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 성염색체의 염색체비분리현상 이외에 다른 돌연변이는 고려하지 않는다.)

- [보기]
- (가)와 정상 난자가 수정하여 태어난 아이는 터너증후군을 나타낸다.
 - (나)와 정상 난자가 수정하여 태어난 아이의 체세포에는 45 개의 염색체가 있다.
 - 염색체의 수는 (다)가 정상 정자의 2 배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

2. 유전물질 30 쪽

03 그림은 페렴균을 이용하여 수행한 실험의 일부를 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡는 DNA 분해효소와 단백질분해효소를 순서 없이 나타낸 것이다.



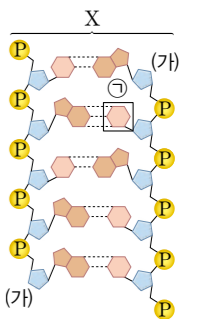
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- [보기]
- ㉠은 단백질분해효소이다.
 - ㉡에 의해 살아 있는 R형균이 S형균으로 형질 전환되었다.
 - 생쥐 II의 혈액에서 살아 있는 S형균이 관찰된다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

2. 유전물질 30 쪽

04 그림은 5 개의 염기쌍으로 이루어진 DNA X를 나타낸 것이다. (가)는 5' 말단과 3' 말단 중 하나이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



- [보기]
- (가)는 5' 말단이다.
 - ㉠은 사이토신(C)이다.
 - X에는 총 4 개의 아데닌(A)이 있다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

과학 글쓰기

2. 유전물질 30 쪽

05 다음은 브로콜리의 유전물질을 관찰하는 실험이다.

- (가) 곱게 간 브로콜리에 소금-세제 용액을 넣고 일정 시간이 지난 뒤 체로 걸러 브로콜리 추출액을 모은다.
- (나) 브로콜리 추출액에 차가운 95% 에탄올을 섞이지 않게 넣는다.
- (다) ㉠ 가는 실이 뭉친 모양으로 추출된 물질을 건조 증류수에 넣고 섞는다.
- (라) (다)의 용액을 붓에 묻혀 거름종이에 여러 번 걸쳐 바른다.
- (마) ㉡ 0.2% 아세트올세인 용액에 거름종이를 담가 두었다가 남은 아세트올세인 용액을 제거하고 관찰한다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. 소금-세제 용액은 브로콜리 세포의 핵막과 세포막 인지질을 녹인다.
 - ㄴ. ㉠에는 DNA와 단백질이 있다.
 - ㄷ. DNA는 ㉡에 의해 붉은색으로 염색된다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

2. 유전물질 30 쪽

06 대장균과 사람의 유전체 구성과 유전자 구조에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

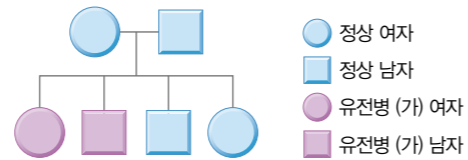
- 보기
- ㄱ. 유전체의 크기는 대장균보다 사람이 더 크다.
 - ㄴ. 유전자의 수는 사람보다 대장균에서 더 많다.
 - ㄷ. 유전체에서 단백질을 암호화하는 영역이 차지하는 비율은 대장균보다 사람에서 더 높다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

과학 역량 기르기

1. 사람의 유전과 유전병 8 쪽

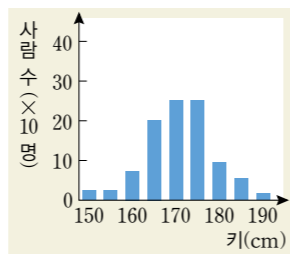
07 그림은 어느 집안의 유전병 (가) 가계도를 나타낸 것이다. (단, 돌연변이는 고려하지 않는다.)



- (1) 정상 대립유전자와 유전병 (가) 대립유전자의 우열 관계를 그렇게 판단한 까닭과 함께 설명해 보자.
- (2) 유전병 (가)를 결정하는 대립유전자는 상염색체와 성염색체 중 어디에 있는지 그렇게 판단한 까닭과 함께 설명해 보자.

1. 사람의 유전과 유전병 8 쪽

08 그림은 어느 집단의 키에 따른 사람 수를 나타낸 것이다.



- (1) 키를 단일유전자유전과 다유전자유전으로 구분하여 그렇게 판단한 까닭과 함께 설명해 보자.
- (2) 성장 환경이 다른 일란성쌍둥이의 키가 서로 달랐다. 이 경우 일란성쌍둥이의 키를 결정하는 데 영향을 미치는 요인은 무엇인지 까닭과 함께 설명해 보자.

2. 유전물질 30 쪽

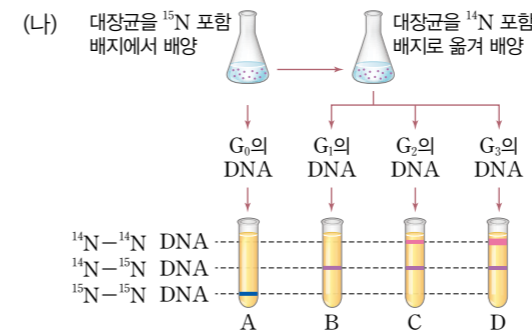
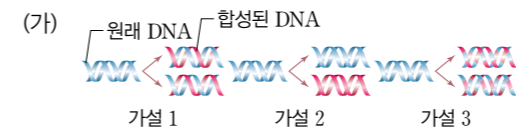
09 그림은 박테리오파지를 이용한 허시와 체이스의 실험 중 일부를 나타낸 것이다.



- (1) 박테리오파지의 단백질 껍질과 DNA 중 방사성 동위원소 ³²P로 표지한 물질은 무엇인지 써 보자.
- (2) (가)에서 상층액과 침전물 중 방사선이 주로 검출되는 것은 무엇인지 쓰고, 그렇게 판단한 까닭을 설명해 보자.

2. 유전물질 30 쪽

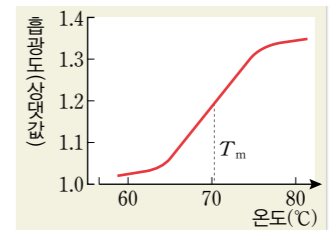
10 그림 (가)는 DNA 복제 방식에 대한 세 가지 가설을, (나)는 이 가설을 검증하기 위해 대장균을 배양하면서 세대별로 DNA를 추출하여 원심분리 한 결과를 나타낸 것이다.



- (1) C의 결과에 의해 채택되는 가설은 무엇인지 쓰고, 그렇게 판단한 까닭을 설명해 보자.
- (2) D에서 ¹⁴N-¹⁴N DNA와 ¹⁴N-¹⁵N DNA에 나타나는 DNA양의 비를 써 보자.

[11~12] 다음은 DNA 염기쌍의 상보결합과 DNA 이중나선의 분리 및 재결합에 대한 자료이다. 물음에 답해 보자.

- (가) 염기 중 아데닌(A)은 항상 타이민(T)과, 구아닌(G)은 항상 사이토신(C)과 상보결합 한다. 아데닌(A)과 타이민(T) 사이에는 2 개의 수소결합이 형성되고, 구아닌(G)과 사이토신(C) 사이에는 3 개의 수소결합이 형성된다.
- (나) DNA 이중나선구조는 매우 안정적이어서 세포 안에서는 복제될 때에만 두 가닥으로 분리되고, 세포 밖에서는 특정 조건에서만 분리될 수 있다. 세포 밖에서 DNA 이중나선에 열을 가하면 염기 사이의 수소결합이 끊어져 단일 가닥으로 분리되는데, 50% 정도 분리되었을 때의 온도를 T_m 이라고 한다. 온도가 낮아지면 분리된 두 가닥은 결합하여 다시 이중나선을 형성한다.



(출처: 『Biochemistry』 2015.)

11 DNA 이중나선에 따라 T_m 이 다를 수 있다. 그 까닭을 상보적 염기쌍과 관련지어 설명해 보자.

12 세포에서 DNA가 복제될 때에는 열을 가하지 않아도 DNA 이중나선이 풀어진다. 그 까닭을 추론해 보자.

이 단원의 활동 결과물을 모아 나만의 포트폴리오를 완성해 보자.

II

유전자의 발현

생물의 생명활동을 결정하는 유전자발현은 어떻게 일어나고 조절될까?
이 단원에서는 유전자가 발현되는 과정을 알아보고, 유전자발현이 조절되는 과정과 유전자발현 조절이 중요한 까닭을 알아보자.



이 단원의 핵심 아이디어

1 유전자발현 과정

생물에서는 DNA로부터 RNA를 합성하는 전사와 RNA로부터 단백질을 합성하는 번역으로 유전자가 발현된다.

2 유전자발현 조절

유전자발현 과정은 생물의 발생 과정에서 세포분화와 기관 분화에 중요한 역할을 하며, 유전자발현 조절 및 발생 연구는 인류 복지에 기여한다.

단원 연계

중학교 과학

- 생식과 유전

통합과학1

- 물질과 규칙성
- 시스템과 상호작용

생명과학

- 생명의 연속성과 다양성

생물의 유전

1. 유전자발현 과정
2. 유전자발현 조절

포트폴리오

- 이 단원을 학습하면서 나만의 포트폴리오를 만들어 보자.
- 74 쪽 원핵생물과 진핵생물의 유전자발현 조절 비교하기
 - 84 쪽 유전체 정보의 보호와 올바른 활용 홍보하기

1

유전자발현 과정

- 01 유전정보의 흐름
- 02 전사와 번역

우리가 먹는 음식물에는 단백질이 들어 있다.

들어다보기 우리가 먹은 단백질은 몸속에서 어떻게 이용될까?

생각해 보기 우리 몸에서 단백질을 합성하는 데 필요한 정보는 어디에 저장되고, 그 정보는 어떻게 활용될까?



학습할 내용을 알아보고, 스스로 학습 계획을 세워 봅시다.

이전 학습 내용

알고 있는 단어에 ✓ 표 해 보자.

- 유전자
- DNA
- RNA
- 단백질
- 3염기조합

지식·이해

- 전사 과정을 설명할 수 있다.
- 번역 과정을 설명할 수 있다.

과정·기능

- 유전부호 표를 이용하여 DNA의 염기서열로부터 단백질의 아미노산서열을 알아낼 수 있다.
- 모형을 이용하여 단백질 합성 과정을 표현할 수 있다.

가치·태도

- 유전자발현을 학습하면서 과학 이론의 놀라움을 경험할 수 있다.
- 단백질 합성 과정을 모형으로 표현하면서 과학적으로 사고할 수 있다.

나의 학습 계획

나는 이 단원에서 _____ 을/를 알고 싶다.

01 유전정보의 흐름

학습 목표

- 유전자와 단백질의 관계를 설명할 수 있다.
- 생물에서 유전형질이 발현되는 것을 중심원리로 설명할 수 있다.

과학자 돌턴(Dalton, J., 1766~1844)은 색깔을 잘 구분하지 못했고, 그 원인은 그가 죽은 뒤에 DNA를 분석하면서 밝혀졌다. DNA는 어떻게 사람의 시각을 결정할까?



유전자와 단백질

생물이 가지는 단백질의 종류와 양에 따라 색맹, 혈액형 등 다양한 유전형질이 결정된다. 단백질의 종류와 양을 결정하는 유전정보가 DNA에 암호화되어 있다는 사실은 여러 과학자의 연구로 밝혀졌다.

비들(Beadle, G. W., 1903~1989)과 테이텀(Tatum, E. L., 1909~1975)은 붉은빵곰팡이를 이용하여 유전자와 효소의 관계를 연구했다. 이들은 그림 II-1과 같이 야생형 붉은빵곰팡이와 돌연변이형 붉은빵곰팡이를 여러 가지 배지에서 배양하여 붉은빵곰팡이가 성장하는 데 필수적인 아미노산인 아르지닌이 합성되는 과정을 확인해 유전자가 효소 합성에 관여한다는 사실을 밝혔다.

유전정보의 흐름은 『통합과학1』의 '시스템과 상호작용' 단원과 연계된다.

완전배지와 최소배지
완전배지는 생물이 살아가는 데 필요한 영양 물질이 모두 포함된 배지이고, 최소배지는 최소한의 영양 물질(당, 무기염류, 바이타민 등)만 포함된 배지이다.

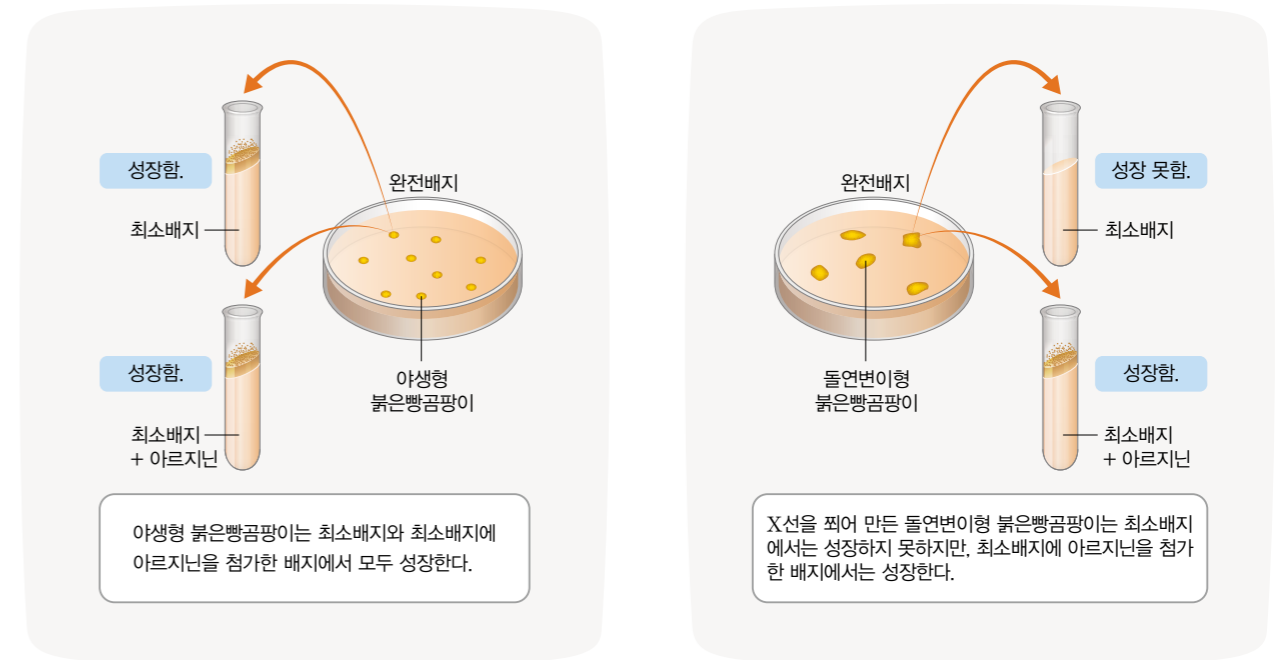


그림 II-1 비들과 테이텀의 붉은빵곰팡이 실험

다음 해 보기에서 비들과 테이텀의 실험을 분석하여 유전자와 효소의 관계를 알아보자.

해보기

유전자와 효소의 관계 알아보기

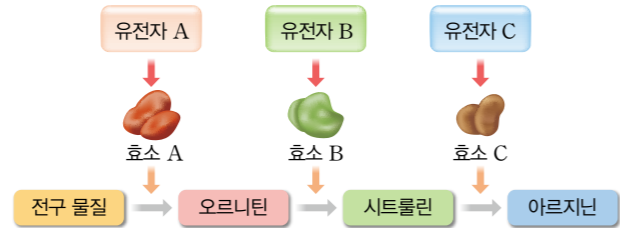
탐구 능력 | 문제 해결 능력

다음은 비들과 테이텀이 붉은빵곰팡이를 이용하여 수행한 실험이다.

- 야생형 붉은빵곰팡이에 X선을 쬐어 최소배지에서 성장하지 못하고 아미노산인 아르지닌을 첨가한 최소배지에서 성장하는 돌연변이형 붉은빵곰팡이 I ~ III을 얻었다.
- 최소배지에 아미노산인 오르니틴, 시트룰린, 아르지닌 중 한 가지를 첨가한 뒤 각 배지에서 붉은빵곰팡이의 성장을 관찰하여 표와 같은 결과를 얻었다.

구분	최소배지	최소배지 + 오르니틴	최소배지 + 시트룰린	최소배지 + 아르지닌
야생형	성장함.	성장함.	성장함.	성장함.
돌연 변이 형	I	성장 못함.	성장함.	성장함.
	II	성장 못함.	성장 못함.	성장함.
	III	성장 못함.	성장 못함.	성장 못함.

- 이 결과를 바탕으로 하여 아르지닌의 합성 과정에 관여하는 유전자와 효소의 관계는 그림과 같다는 결론을 내렸다.



- 돌연변이형 붉은빵곰팡이 I ~ III이 최소배지에서 성장하지 못하는 까닭을 각각 효소와 관련지어 설명해 보자.
- 돌연변이형 붉은빵곰팡이 I ~ III은 각각 유전자 A ~ C 중 하나에만 이상이 있다. 어느 유전자에 이상이 있는지 설명해 보자.
- 위 실험을 바탕으로 하여 유전자와 효소의 관계를 설명해 보자.

야생형 붉은빵곰팡이는 최소배지에서 성장에 필요한 아미노산을 모두 합성할 수 있어.

비들과 테이텀은 붉은빵곰팡이를 이용한 실험 결과를 통해 돌연변이형 I ~ III은 아르지닌의 합성 과정에서 어느 한 과정에 관여하는 효소에 이상이 있고, 효소의 이상은 효소를 합성하는 데 관여하는 유전자에 이상이 있어 나타난다고 생각했다. 이를 근거로 하여 비들과 테이텀은 하나의 유전자가 하나의 효소에 대한 정보를 저장한다는 1유전자 1효소설을 제안했다. 이후 유전자가 인슐린, 케라틴 같은 효소 외의 단백질을 합성하는 데에도 관여한다는 것이 밝혀져 1유전자 1효소설은 1유전자 1단백질설로 확장되었다.

헤모글로빈처럼 하나의 단백질이 두 종류 이상의 폴리펩타이드로 이루어진 경우 그림 II-2와 같이 각 폴리펩타이드에 대한 정보가 서로 다른 유전자에 저장되어 있다는 것이 밝혀져 1유전자 1단백질설은 1유전자 1폴리펩타이드설로 확장되었다. 이후 일부 유전자의 유전정보는 폴리펩타이드 합성을 지정하지 않는다는 것이 밝혀졌다.

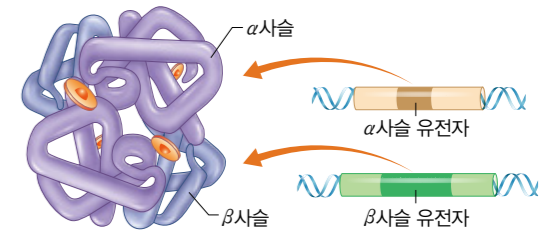


그림 II-2 헤모글로빈의 구조 헤모글로빈을 이루는 두 종류의 폴리펩타이드는 서로 다른 유전자로부터 합성된 것이다.

중심원리

유전자의 정보에 따라 단백질이 합성되어 유전형질이 나타나는 과정을 유전자발현이라고 한다. 유전자발현 과정에서는 그림 II-3과 같이 DNA의 유전정보가 RNA로 전달되는 전사와 RNA의 유전정보를 이용하여 단백질이 합성되는 번역이 일어난다. 이러한 유전정보의 흐름을 중심원리라고 하며, 이는 1956년 크릭이 제안했다.



그림 II-3 중심원리 DNA의 유전정보는 RNA로 전달되고, 이 유전정보를 이용하여 단백질이 합성된다.

중심원리의 확장

RNA의 유전정보를 이용하여 DNA를 합성하는 역전사 현상이 일어나기도 하고, 일부 바이러스에서는 RNA의 유전정보를 이용하여 RNA가 합성되기도 한다.

스스로 확인하기

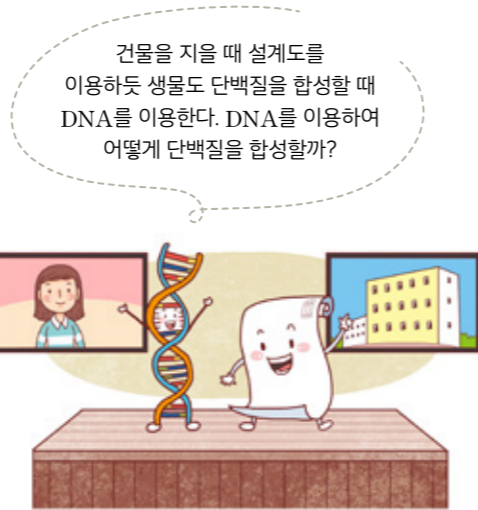
- 비들과 테이텀의 실험에서 돌연변이형 붉은빵곰팡이는 아르지닌 합성 과정에 관여하는 ()에 이상이 생겼다.
- 중심원리에 따르면 DNA → () → 단백질 순으로 유전정보가 전달되어 유전자가 발현된다.
- 과학 역량 기르기 | DNA 중합효소는 여러 종류의 폴리펩타이드가 복합체를 형성하여 작용한다. 1유전자 1효소설, 1유전자 1단백질설, 1유전자 1폴리펩타이드설 중 DNA 중합효소 합성을 가장 잘 설명할 수 있는 이론은 무엇인지 그 까닭과 함께 설명해 보자.

단원을 마치기 전에 학습 목표를 달성했는지 57 쪽 학습 목표에 ✓ 표 하여 스스로 점검해 보자.

02 전사와 번역

| 학습 목표 |

- 모형을 이용하여 유전자발현 과정을 설명할 수 있다.
- 유전부호 표를 이용하여 유전정보를 해독할 수 있다.



건물을 지을 때 설계도를
이용하듯 생물도 단백질을 합성할 때
DNA를 이용한다. DNA를 이용하여
어떻게 단백질을 합성할까?

전사와 번역은 『통합과학1』의 '물질과 규칙성', '시스템과 상호작용' 단원과 연계된다.

* 프로모터

RNA 중합효소가 결합하여 전사가 시작되는 DNA의 특정 염기서열 부위

RNA의 구성

RNA를 구성하는 뉴클레오타이드의 당은 라이보스이며, 염기는 아데닌(A), 구아닌(G), 사이토신(C), 유라실(U) 중 하나이다.

전사

전사 과정에서는 DNA의 특정 부위를 주형으로 RNA가 합성되어 DNA의 유전 정보가 RNA로 전달된다. 이 과정은 원핵세포에서는 세포질에서 일어나고 진핵세포에서는 핵 안에서 일어난다. 전사는 RNA 중합효소가 DNA의 *프로모터에 결합하면서 시작된다. DNA 이중나선이 풀어지면 두 가닥 중 하나를 주형으로 3' 말단 → 5' 말단 방향으로 RNA 중합효소가 이동하면서 상보적인 염기를 가지는 RNA의 뉴클레오타이드를 차례대로 연결하여 5' 말단 → 3' 말단 방향으로 RNA 가닥을 합성한다. 전사 과정에서 DNA 주형 가닥의 아데닌(A)에는 RNA의 유라실(U)이 상보결합 한다. RNA 중합효소가 종결 부위에 도달하면 전사 과정이 끝난다.

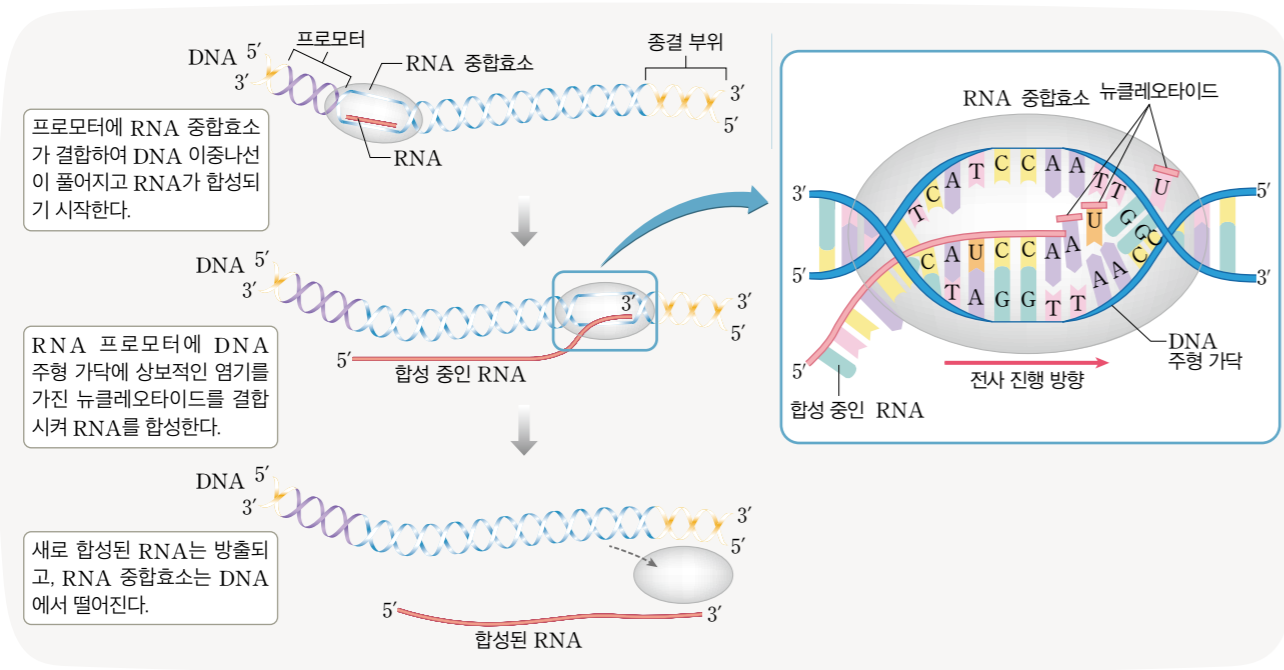


그림 II-4 전사 과정

전사 과정이 끝나면 합성된 RNA는 주형 가닥에서 떨어져 나오고, 합성이 완료된 부위의 DNA 가닥은 다시 이중나선을 형성한다. DNA에서 전사 결과 합성되는 RNA에는 전령 RNA(mRNA), 라이보솜 RNA(rRNA), 운반 RNA(tRNA) 등이 있다.

유전부호

DNA와 RNA의 유전부호는 연속된 3 개의 염기로 이루어지며, 하나의 아미노산을 암호화한다.

DNA의 3염기조합과 상보적인 mRNA의 유전부호를 코돈이라고 한다. DNA로부터 전사된 mRNA의 코돈에는 단백질의 아미노산서열에 대한 정보가 암호화되어 있다. 코돈은 4 개의 염기 아데닌(A), 구아닌(G), 사이토신(C), 유라실(U) 중 3 개가 조합된 것이며, 64 종류이다. 64 종류의 코돈에서 아미노산을 암호화하는 코돈은 61 종류이며, 나머지 3 종류의 코돈은 아미노산을 암호화하지 않는다. 단백질의 합성 과정은 항상 메싸이오닌을 암호화하는 코돈 AUG에서 시작하므로 AUG를 개시코돈이라고 한다. 코돈 UAA, UAG, UGA는 아미노산을 암호화하지 않으며, 이 코돈에서 단백질의 합성 과정이 끝나므로 이를 종결코돈이라고 한다.

		두 번째 염기						
		U	C	A	G			
U	UUU	페닐알라닌	UCU	세린	UAU	타이로신	UGU	시스테인
	UUC		UCC		UAC		UGC	
	UUA	류신	UCA		UAA	종결코돈	UGA	종결코돈
C	CUU	류신	CCU	프롤린	CAU	히스티딘	CGU	아르지닌
	CUC		CCC		CAC		CGC	
	CUA		CCA		CAA	글루타민	CGA	
A	AUU	아이소류신	ACU	트레오닌	AAU	아스파라진	AGU	세린
	AUC		ACC		AAC		AGC	
	AUA	메싸이오닌 (개시코돈)	ACA		AAA	라이신	AGA	아르지닌
G	GUU	발린	GCU	알라닌	GAU	아스파르트산	GGU	글라이신
	GUC		GCC		GAC		GGC	
	GUA		GCA		GAA	글루탐산	GGA	
	GUG		GCG		GAG		GGG	

그림 II-5 유전부호 표 유전부호 표에서는 첫 번째 염기, 두 번째 염기, 세 번째 염기를 조합하여 코돈이 암호화하는 아미노산을 확인할 수 있다.

유전부호는 대부분의 생물에서 동일하기 때문에 사람의 유전자를 세균 같은 다른 생물에서도 발현시킬 수 있다. 이처럼 유전부호가 대부분의 생물에서 동일한 것은 생물이 공통조상으로부터 진화했다는 증거이다.

RNA의 기능

- 전령 RNA(mRNA): DNA의 아미노산서열 유전정보를 전달한다.
- 라이보솜 RNA(rRNA): 단백질을 합성하는 라이보솜을 구성한다.
- 운반 RNA(tRNA): 아미노산을 라이보솜으로 운반한다.

디지털 탐색

유전부호, 유전부호 발견을 검색하여 과학자들이 유전정보의 흐름을 알아낸 과정에 대한 동영상 상을 시청해 보자.

참의 사고 헤모글로빈을 이루는 아미노산 중 글루탐산이 발린으로 바뀌면 비정상 헤모글로빈이 만들어져 낫모양적혈구빈혈증이 나타날 수 있다. 이러한 현상은 글루탐산을 암호화하는 유전부호 중 몇 번째 염기에서 돌연변이가 일어나 나타나는 것인지 추론해 보자.

번역 과정은 그림 II-8과 같이 개시, 신장, 종결의 3 단계로 구분할 수 있다.

개시 단계는 mRNA가 라이보솜의 소단위체에 결합하면서 시작된다. 이후 개시 코돈에 메싸이오닌을 운반하는 개시 tRNA가 결합하고, 라이보솜의 대단위체가 결합하면서 개시 단계가 완료된다. 이때 개시 tRNA는 대단위체의 P 자리에 위치한다.

신장 단계는 다음 코돈이 암호화하는 아미노산을 운반하는 tRNA가 코돈에 결합하여 A 자리에 위치하면서 시작된다. 이후 P 자리에 있는 메싸이오닌이 떨어져 A 자리에 있는 아미노산과 펩타이드결합으로 연결된다. 그 결과 P 자리에 있는 tRNA는 더 이상 아미노산을 가지지 않고, A 자리에 있는 tRNA는 펩타이드결합으로 연결된 2 개의 아미노산을 가지게 된다.

이후 라이보솜이 mRNA의 5' 말단 → 3' 말단 방향으로 하나의 코돈만큼 이동하면 P 자리에 있던 tRNA는 E 자리에, A 자리에 있던 tRNA는 P 자리에 위치하게 된다. E 자리의 tRNA는 라이보솜에서 방출되고, 비어 있는 A 자리에 다음 코돈이 암호화하는 아미노산을 운반하는 tRNA가 들어온다. P 자리의 tRNA에서 폴리펩타이드가 떨어져 A 자리의 아미노산과 펩타이드결합으로 연결되는 과정이 반복되면서 폴리펩타이드가 길어진다.

종결 단계는 폴리펩타이드가 길어지다가 A 자리에 종결코돈이 오면서 시작된다. A 자리에 종결코돈이 오면 종결코돈이 암호화하는 아미노산이 없어 합성된 폴리펩타이드가 라이보솜에서 방출되고, 라이보솜의 두 단위체와 tRNA가 모두 mRNA로부터 떨어지면서 번역 과정이 끝난다.

폴리솜
하나의 mRNA에 여러 개의 라이보솜이 결합하여 여러 개의 폴리펩타이드가 동시에 합성될 수 있는 구조이다.

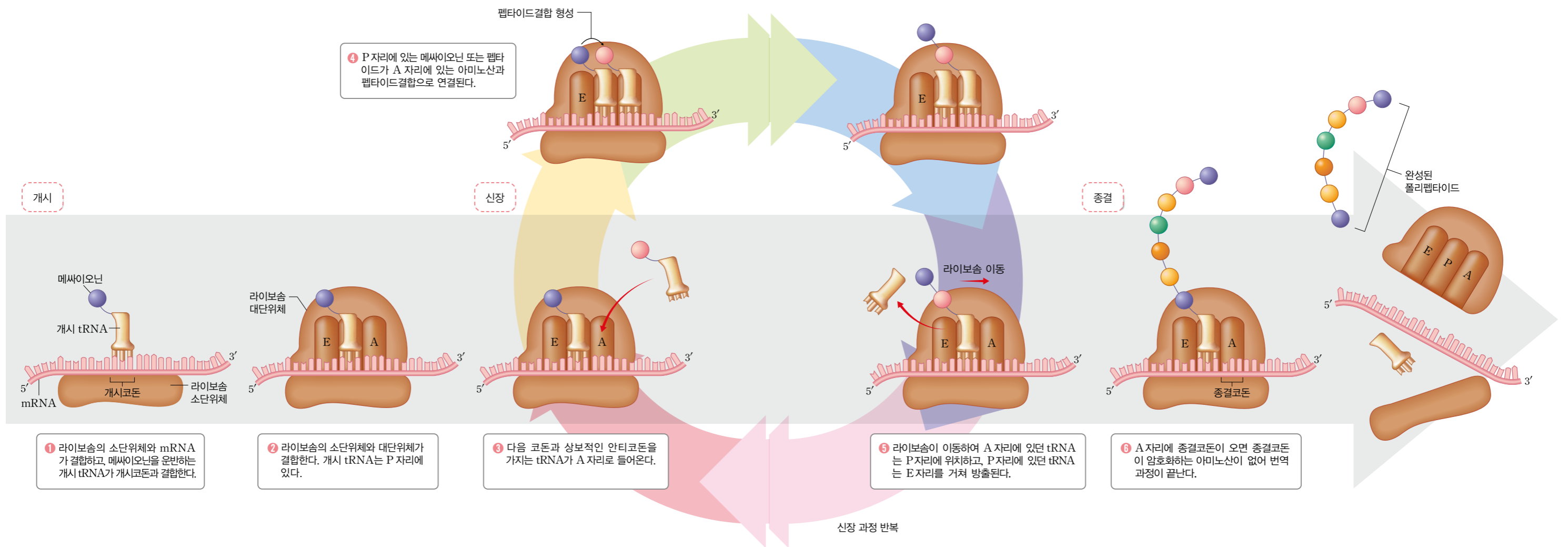
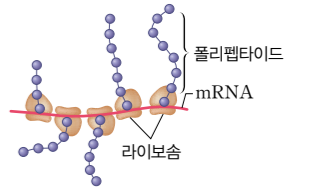


그림 II-8 번역 과정

단백질 합성 과정은 라이보솜, mRNA, tRNA 등 다양한 물질이 상호작용 하여 일어난다. 다음 탐구에서 모형을 이용하여 단백질 합성 과정을 표현해 보자.

탐구

모형 생성, 추론

탐구 능력 | 문제 해결 능력

단백질 합성 과정 모의실험 하기

실험 영상



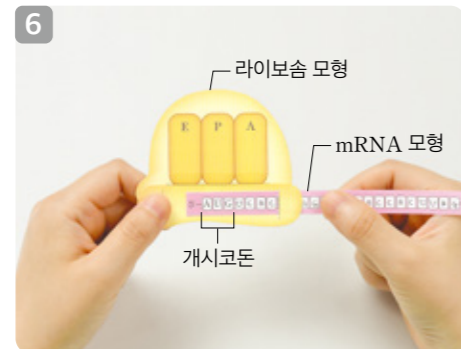
목표 DNA 염기서열을 이용하여 mRNA 염기서열을 파악하고, mRNA 염기서열과 유전부호 표를 이용하여 단백질 합성 과정을 모형으로 표현할 수 있다.

과정

1. 부록에 있는 단백질 합성 과정 모형을 잘라 준비한다.
2. 3 명이 모둠을 이루어 1 번 모듬원부터 3 번 모듬원까지 순서를 정한다.
3. 3 명이 사면체 주사위를 하나씩 동시에 던져 나오는 숫자를 부록의 DNA 주형 가닥 두 번째 3 염기조합에 순서대로 쓴다.
4. 3을 5 번 반복하여 DNA 주형 가닥에 3염기조합을 모두 쓰고, 나머지 가닥에 염기서열을 쓴다.
5. DNA 주형 가닥과 상보적인 mRNA의 염기서열을 부록의 mRNA에 쓴다.
6. 라이보솜의 대단위체에 소단위체를 끼우고, 개시코돈이 P 자리에 오도록 소단위체에 mRNA를 끼운다.
7. 메싸이오닌이 연결된 개시 tRNA를 P 자리에 올려놓는다.
8. 다른 tRNA의 아래쪽에 두 번째 코돈과 상보적인 안티코돈을 쓰고, 위쪽에 코돈이 암호화하는 아미노산을 쓴 뒤 A 자리에 올려놓는다.

3 이 부분의 숫자가 1이면 아데닌(A), 2이면 구아닌(G), 3이면 사이토신(C), 4이면 타이민(T)을 지정하기로 하자.

사면체 주사위



10. 라이보솜을 하나의 코돈만큼 mRNA의 5' 말단 → 3' 말단 방향으로 이동하여 P 자리에 있던 tRNA는 E 자리에, A 자리에 있던 tRNA는 P 자리에 위치하게 하고, A 자리를 비워 둔다. 이후 E 자리에 있는 tRNA를 라이보솜에서 방출한다.
11. 다른 tRNA에 세 번째 코돈과 상보적인 안티코돈과 코돈이 암호화하는 아미노산을 쓴 뒤 A 자리에 올려놓는다.
12. A 자리에 종결코돈이 올 때까지 단백질 합성 과정을 진행하고, A 자리에 종결 코돈이 오면 모든 모형을 분리하여 단백질 합성 과정을 완료한다.



결과 및 정리

1. 우리 모듬에서 만든 폴리펩타이드의 아미노산서열을 써 보자.
2. 각 모듬에서 만든 폴리펩타이드의 아미노산서열을 비교해 보고, 서로 다르다면 그 까닭을 토의해 보자.
3. **사고력** 테트라사이클린이라는 물질은 사람의 라이보솜에는 결합하지 않고, 세균의 라이보솜에만 결합하여 A 자리에 tRNA가 결합하는 것을 방해한다. 테트라사이클린을 어떻게 활용할 수 있을지 설명해 보자.

스스로 평가하기

- | 지식·이해 | 단백질 합성 과정을 설명했는가? ☆☆☆
- | 과정·기능 | 단백질 합성 과정을 모형으로 표현했는가? ☆☆☆
- | 가치·태도 | 단백질 합성 과정을 모형으로 표현하면서 과학적으로 사고했는가? ☆☆☆

스스로 확인하기

- 1 전사가 일어날 때 RNA를 합성하는 효소를 무엇이라고 하는지 써 보자.
- 2 번역이 일어날 때 라이보솜은 mRNA의 () → () 방향으로 이동한다.
- 3 | 과학 역량 기르기 | mRNA의 코돈은 64 종류이지만 tRNA의 안티코돈은 64 종류보다 적다. 그 까닭을 설명해 보자.

단원을 마치고 전에 학습 목표를 달성했는지 60 쪽 학습 목표에 ✓ 표하여 스스로 점검해 보자.

유전정보 흐름의 특성을 밝힌 역사

가모프(Gamow, G., 1904~1968)와 동료들은 연구 모임을 만들어 유전정보 흐름의 특성을 밝히기 위해 협력했다.

가모프와 동료들 ▶



DNA로부터 직접 단백질이 합성되는가?

브레너(Brenner, S., 1927~2019) 등은 실험을 통해 mRNA와 tRNA의 존재를 증명했다. 이를 통해 DNA로부터 직접 단백질이 합성된다는 가설이 틀렸다는 것이 밝혀졌다.

유전부호는 겹치는가?

AUGUUC라는 mRNA의 염기서열이 있을 때 유전부호가 겹치지 않는다면 코돈은 AUG, UUC이며, 1 개의 염기가 바뀌면 1 개의 아미노산만 바뀐다. 만약 유전부호가 겹친다면 코돈은 AUG, UGU, GUU, UUC이며, 1 개의 염기가 바뀌면 여러 아미노산이 바뀐다. 스기타(Tsugita, A., 1928~2007) 등은 담배모자이크바이러스(TMV)를 연구하면서 DNA에서 1 개의 상보적 염기쌍을 바꾸면 폴리펩타이드에서 1 개의 아미노산만 바뀌는 것을 확인하여 유전부호가 겹치지 않는다는 것을 밝혔다.

3 개의 염기가 아미노산을 암호화하는가?

크릭 등은 박테리오파지의 DNA에 1 개~2 개의 상보적 염기쌍을 삽입하거나 제거하면 기능이 상실된 단백질이 만들어지지만, 3 개의 상보적 염기쌍을 삽입하거나 제거하더라도 기능을 정상적으로 수행하는 단백질이 합성되는 것을 발견했다. 이를 통해 1 개의 아미노산을 암호화하는 염기의 수가 3 개라는 것을 밝혔다.

토의·토론

과학자들의 협력적인 연구 사례를 조사해 보고, 협력하여 연구하는 것이 과학자들에게 어떤 이점이 있는지 토의해 보자.

의사 결정 능력

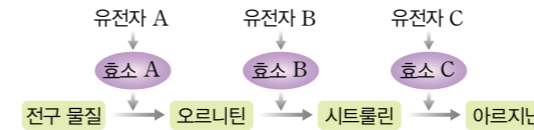
중단원 마무리

1. 유전자발현 과정

01 유전정보의 흐름

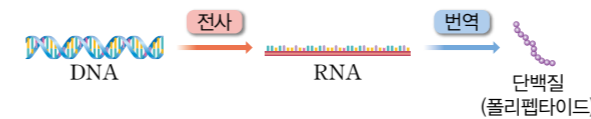
57 쪽~59 쪽

1. 유전자와 단백질의 관계: 비들과 테이텀은 유전자와 효소의 관계를 연구하고 ① 을/를 주장했다.



▲ 유전자와 효소의 관계

2. 중심원리: DNA의 유전정보가 RNA로 전달되고, RNA의 유전정보를 이용하여 단백질이 합성된다.



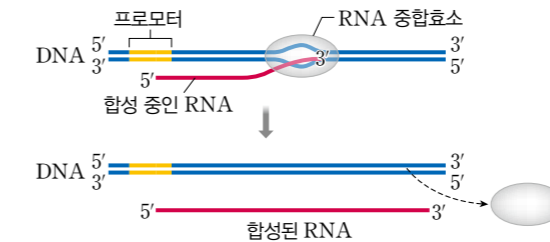
▲ 중심원리

02 전사와 번역

60 쪽~67 쪽

1. 전사

- DNA로부터 ② 이/가 만들어지는 과정이다.
- DNA의 프로모터에 결합한 ③ 이/가 DNA의 주형 가닥과 상보적인 RNA의 뉴클레오타이드를 연결하여 RNA가 합성된다.



▲ 전사 과정

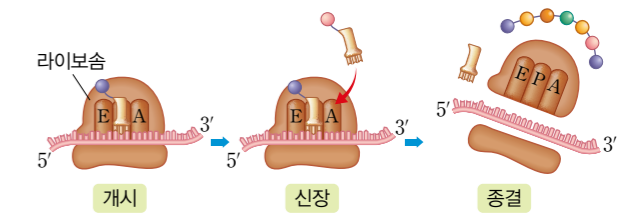
2. 유전부호

- ④ : DNA의 3염기조합과 상보적이며, 아미노산에 대한 정보를 암호화하는 연속된 3 개의 염기로 구성된 mRNA의 유전부호이다.
- 개시코돈은 ⑤ 이고, 종결코돈은 UAA, UAG, UGA이다.

3. 번역

- mRNA의 유전정보에 따라 단백질이 합성되는 과정이다.
- mRNA의 개시코돈에서 시작되어 코돈에 따라 연속적으로 아미노산을 연결하고 종결코돈에서 끝난다.
- 번역 과정은 개시, 신장, 종결 단계로 구분할 수 있다.

개시	라이보솜의 소단위체와 mRNA가 결합한 뒤 아미노산으로 ⑥ 을/를 가지는 tRNA가 개시코돈에 결합한다. 이후 라이보솜의 대단위체가 결합한다.
신장	대단위체의 A 자리에 있는 tRNA의 아미노산과 P 자리에 있는 tRNA의 폴리펩타이드가 펩타이드결합으로 연결되어 폴리펩타이드가 길어진다.
종결	대단위체의 A 자리에 종결코돈이 오면 라이보솜, mRNA, tRNA, 폴리펩타이드가 모두 분리되어 번역 과정이 끝난다.



▲ 번역 과정

스스로 평가하기

이 단원에서 학습한 내용을 확인하고 스스로 평가해 봅시다.

	우수	보통	미흡
지식·이해 전사 과정을 설명했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
번역 과정을 설명했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
과정·기능 유전부호 표를 이용하여 DNA의 염기서열로부터 단백질의 아미노산서열을 알아냈는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
모형을 이용하여 단백질 합성 과정을 표현했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
가치·태도 유전자발현을 학습하면서 과학 이론의 놀라움을 경험했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
단백질 합성 과정을 모형으로 표현하면서 과학적으로 사고했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

평가 결과가 아쉽다면 '1. 유전자발현 과정'을 다시 한번 학습해 봅시다.

2

유전자발현 조절

01 전사에서의 유전자발현 조절

02 발생에서의 유전자발현 조절

03 유전자발현 조절 및 발생 연구와 인류 복지

사람은 성장기에 성장을 촉진하는 유전자가 발현되어 키가 자란다.

들어다보기 성장기가 지나면 키가 거의 자라지 않는 까닭은 무엇일까?

생각해 보기 성장기와 성장기 이후에 성장에 관여하는 유전자발현에는 어떤 차이가 있을까?



학습할 내용을 알아보고, 스스로 학습 계획을 세워 봅시다.

이전 학습 내용

알고 있는 단어에 ✓ 표 해 보자.

- 유전자 전사 번역

지식·이해

- 원핵생물과 진핵생물의 전사 단계에서의 유전자발현 조절 과정을 설명할 수 있다.
- 생물의 발생 과정에서 일어나는 세포분화를 유전자발현 조절 과정으로 설명할 수 있다.

과정·기능

- 원핵생물과 진핵생물의 유전자발현 조절 과정을 비교하기 위한 설명 자료를 만들 수 있다.
- 생물의 발생 초기 단계의 유전자발현 조절 과정을 추론할 수 있다.

가치·태도

- 유전자발현 조절이 생물의 발생 및 생명활동에 중요함을 느낄 수 있다.
- 생물의 유전자발현 조절 및 발생에 대한 연구가 인류 복지에 유용함을 인식할 수 있다.

나의 학습 계획

나는 이 단원에서 _____ 을/를 알고 싶다.

01

전사에서의 유전자발현 조절

학습 목표

- 원핵생물의 전사 조절 과정을 설명할 수 있다.
- 진핵생물의 전사 조절 과정을 원핵생물과 비교하여 설명할 수 있다.

밥을 먹으면 이자에서 인슐린 유전자가 많이 발현된다. 인슐린 유전자의 발현 정도가 어떻게 달라진 것일까?



한 개체를 이루는 세포는 모두 같은 유전자를 갖지만, 특정 유전자의 발현 여부와 발현 정도에 따라 세포의 구조와 기능이 달라진다. 따라서 다양한 종류의 세포로 이루어진 개체는 환경의 변화에 알맞게 반응할 수 있다. 유전자발현 조절은 여러 단계에서 일어날 수 있으며, 그중 전사 단계에서의 조절이 가장 중요하다.

전사에서의 유전자발현 조절은 『통합과학』의 '시스템과 상호작용' 단원과 연계된다.

원핵생물의 전사 조절

원핵생물에서는 기능적으로 연관된 여러 유전자의 전사가 하나의 프로모터와 작동부위에 의해 한꺼번에 조절된다. 이때 전사되는 여러 유전자를 구조유전자라고 한다. 프로모터, 작동부위, 구조유전자로 구성된 집단을 오페론이라고 한다.

대장균에는 다양한 오페론이 있으며, 그중 젓당의 유무에 따라 전사가 조절되는 젓당오페론이 있다. 젓당오페론은 그림 II-9와 같이 프로모터, 억제단백질이 결합하는 작동부위, 젓당을 이용하는 데 필요한 효소들을 암호화하는 구조유전자로 구성된다. 젓당오페론의 앞부분에 억제단백질을 암호화하는 조절유전자가 있으며, 이 조절유전자가 발현되어 합성된 억제단백질에 의해 젓당오페론이 조절된다.

자코브
(Jacob, F., 1920~2013),
모노
(Monod, J. L., 1910~1976)
프랑스의 과학자. 대장균을 연구하면서 젓당오페론에서 억제단백질에 의해 구조유전자의 발현이 조절된다는 사실을 알아냈다.

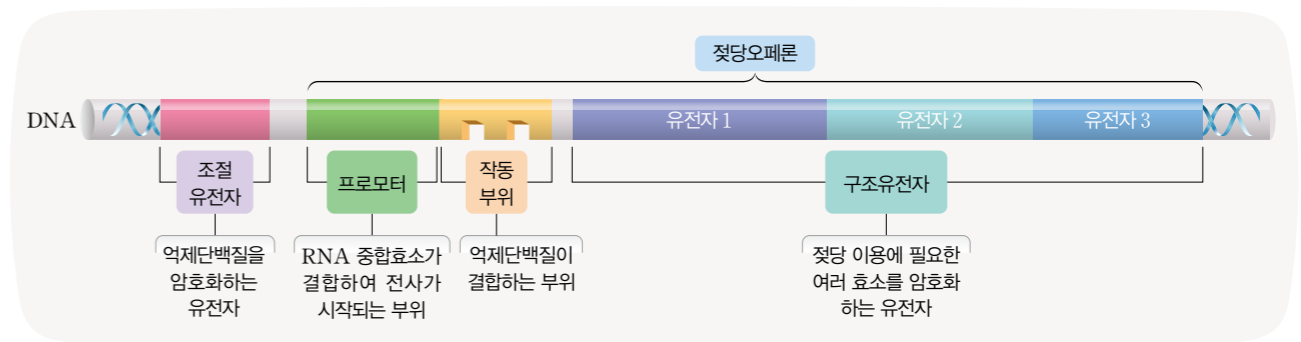


그림 II-9 젓당오페론의 구조와 조절유전자

오개념 바로잡기

오페론은 모두 억제단백질에 의해 조절될까?

젓당오페론에서와 같이 전사를 억제하는 단백질이 구조유전자의 발현을 조절하기도 하고, 전사를 촉진하는 단백질이 구조유전자의 발현을 조절하기도 한다.

젓당 유도체의 특징

젓당은 특정 효소에 의해 젓당 유도체로 전환된다. 억제단백질은 젓당 유도체와 결합한다.

대장균은 젓당을 이용하는 데 필요한 효소를 젓당이 없으면 합성하지 않고, 젓당이 있으면 합성해 불필요한 물질이 생산되고 에너지가 낭비되는 것을 막는다.

대장균에서 젓당이 없을 때에는 억제단백질이 작동부위에 결합하여 RNA 중합효소가 프로모터에 결합하지 못하므로 구조유전자의 전사가 일어나지 않는다. 반면 젓당이 있을 때에는 억제단백질이 젓당 유도체와 결합하여 억제단백질의 구조가 변형되므로 작동부위에 결합하지 못한다. 이로 인해 RNA 중합효소가 프로모터에 결합해 구조유전자의 전사가 일어난다. 전사로 합성된 mRNA가 번역되면 젓당분해 효소처럼 젓당을 이용하는 데 필요한 효소가 합성된다.

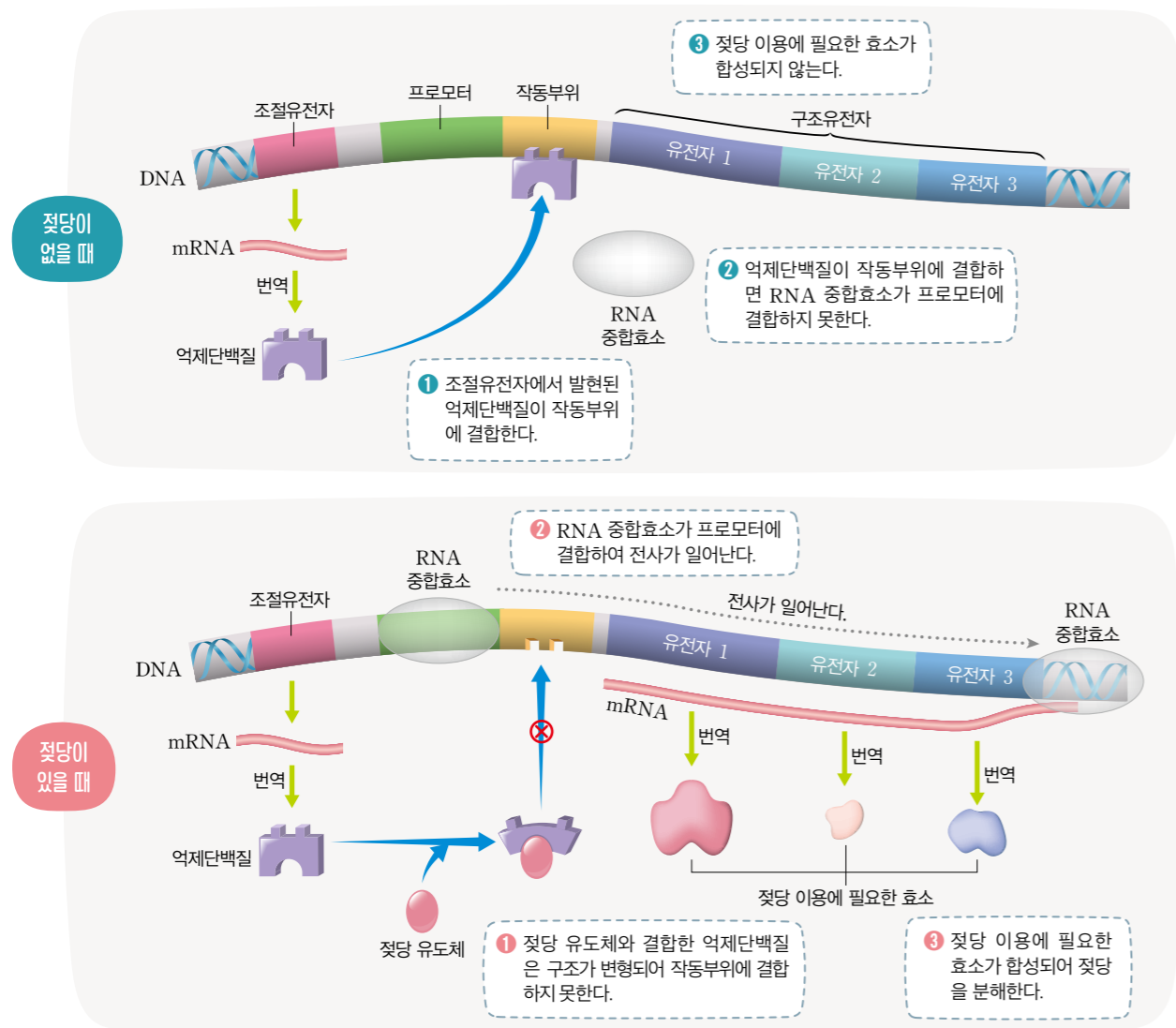


그림 II-10 젓당오페론의 조절

참의사고 젓당오페론은 하나의 프로모터와 작동부위로 여러 유전자의 전사를 조절한다. 이와 같이 일상생활에서 하나의 도구로 여러 장치를 조절하는 예를 찾아보자.



진핵생물의 전사 조절

진핵생물의 핵 속에서 DNA는 여러 개의 히스톤 단백질을 감아 뉴클레오솜을 형성하고, 수많은 뉴클레오솜이 염색질을 이루고 있다. 염색질이 응축되어 있으면 RNA 중합효소 및 전사에 관여하는 인자가 DNA에 결합하지 못해 전사가 일어나기 어렵다. 그러므로 전사가 일어나려면 응축된 염색질이 풀어야 한다.

진핵생물에서는 유전자 하나의 전사가 하나의 프로모터에 의해 정교하게 조절된다. 진핵생물에서 RNA 중합효소가 프로모터에 결합하여 전사가 일어나려면 전사를 조절하는 단백질인 여러 전사인자가 필요하다. 전사인자가 결합하는 DNA 부위를 **조절부위**라고 하며, 조절부위에는 프로모터 가까이 있는 근거리 조절부위와 프로모터에서 멀리 떨어져 있는 원거리 조절부위가 있다. 전사인자 중 일부 전사인자가 조절부위에 결합한 뒤 나머지 전사인자가 RNA 중합효소와 결합하여 전사개시복합체를 형성하면 전사가 시작된다.

염색질의 특징

DNA가 히스톤 단백질 등과 결합한 구조이다. 염색질은 세포주기 중 간기에는 풀어진 형태이고, 분열기에는 응축된 형태이다.

? 진핵생물과 원핵생물에서 RNA 중합효소가 프로모터와 결합하는 방식은 어떻게 다를까?

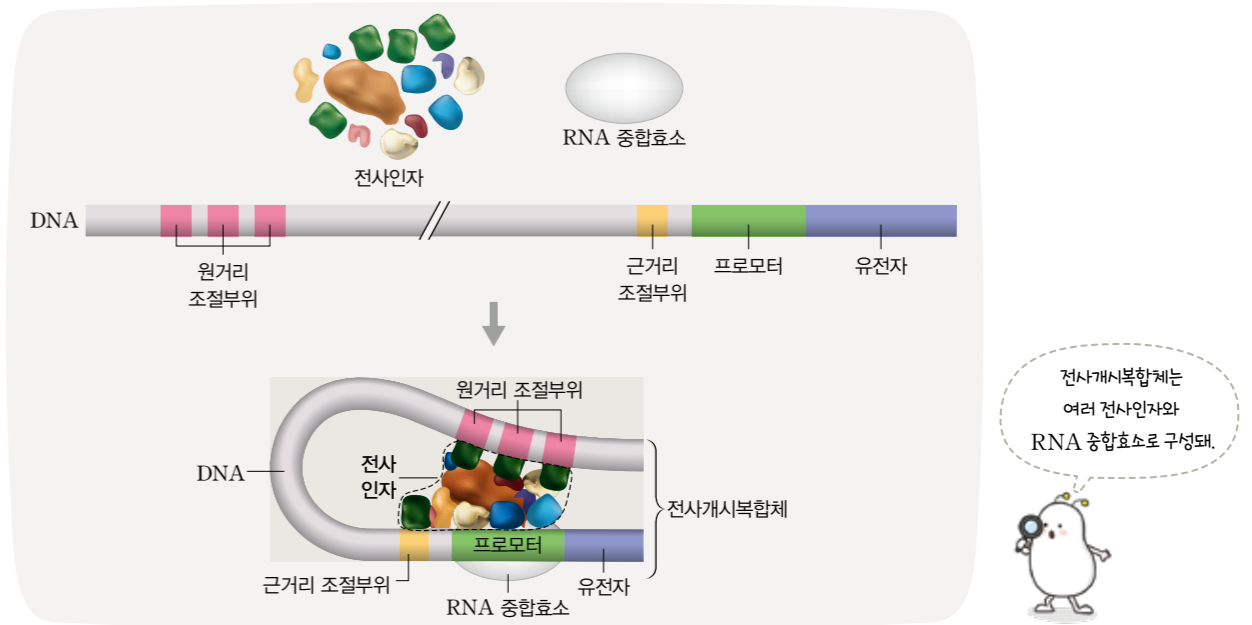
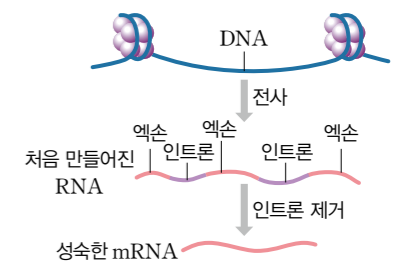


그림 II-11 진핵생물에서 전사개시복합체 형성

자료실 진핵생물의 전사 조절 과정에서의 인트론 제거

진핵생물의 유전자에는 엑손과 인트론이 있으므로 처음 만들어진 RNA에도 엑손과 인트론이 있다. 따라서 단백질을 암호화하는 성숙한 mRNA를 만들려면 처음 만들어진 RNA에서 인트론이 제거되고 엑손이 조합되는 과정이 필요하다. 엑손이 조합될 때 모든 엑손이 조합되는 것이 아니라 일부 엑손만 조합되기도 하는데, 이런 경우에는 하나의 유전자에서 여러 종류의 단백질이 합성될 수 있다.

전사 조절 과정에서 인트론 제거 ▶



다음 탐구에서 원핵생물과 진핵생물의 전사 단계에서 일어나는 유전자발현 조절 과정을 비교하는 설명 자료를 만들어 보자.

탐구

자료 분석, 결론 도출

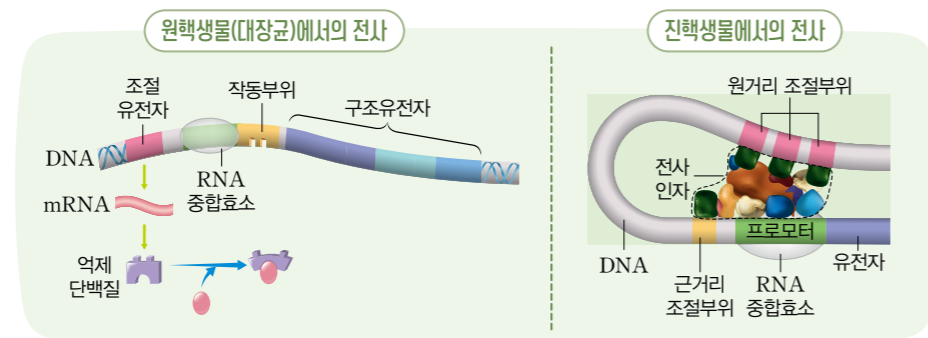
문제 해결 능력 | 의사 결정 능력

원핵생물과 진핵생물의 유전자발현 조절 비교하기

목표 원핵생물과 진핵생물의 유전자발현 조절 차이를 설명하는 자료를 만들어 발표할 수 있다.

과정 및 결과

그림은 원핵생물과 진핵생물의 세포에서 전사가 시작되는 모습을 나타낸 것이다.



1. 다음을 참고하여 원핵생물과 진핵생물의 전사 단계에서 일어나는 유전자발현 조절 과정을 토의해 보자.

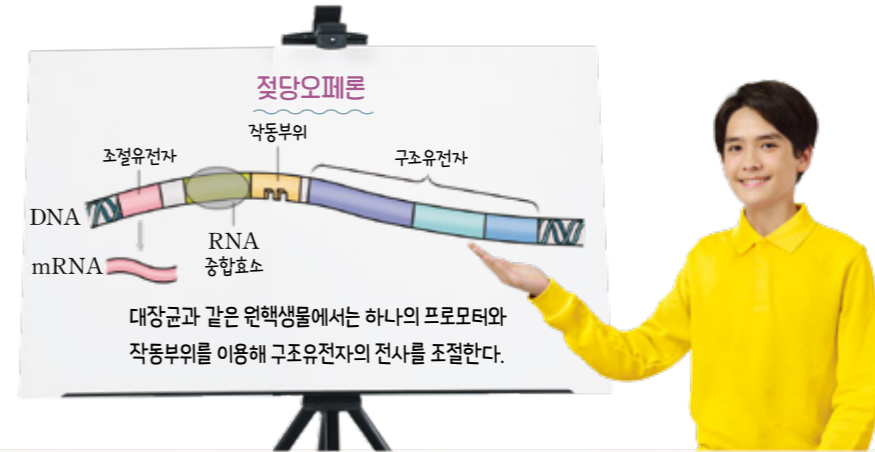
- 하나의 프로모터가 전사를 조절할 수 있는 유전자는 몇 개일까?
- 전사를 조절하는 데 여러 가지 단백질이 관여할까?
- 전사를 조절하는 단백질은 DNA의 어느 부위에 결합할까?

대장균은 적당을 이용하는 데 필요한 여러 유전자를 한꺼번에 조절한다.

사람은 적당을 이용하는 데 필요한 여러 유전자를 개별적으로 조절한다.



2. 토의한 내용을 바탕으로 하여 원핵생물과 진핵생물의 전사 단계에서 일어나는 유전자발현 조절 과정을 비교하기 위한 설명 자료를 만들어 보자.
3. 설명 자료를 발표해 보자.



설명 자료는 온라인 카드뉴스, 정보 그림, 과학 포스터, 슬라이드 자료 등 다양한 방법으로 만들 수 있어.

스스로 평가하기

- | 지식·이해 | 원핵생물과 진핵생물의 전사 단계에서의 유전자 발현 조절 과정을 비교했는가? ☆☆☆
- | 과정·기능 | 전사 조절을 비교하기 위한 설명 자료를 적절한 매체를 활용하여 만들었는가? ☆☆☆
- | 가치·태도 | 토의할 때 다른 사람의 의견을 주의 깊게 들었는가? ☆☆☆

정리

- 원핵생물과 진핵생물의 전사 단계에서의 유전자발현 조절 과정의 공통점과 차이점을 비교하여 정리해 보자.

일반적으로 원핵생물에서는 기능적으로 연관된 여러 유전자가 하나의 프로모터에 연결되어 있다. 그리고 전사 조절에 관여하는 조절 단백질의 종류가 적으며, 억제단백질과 같은 조절 단백질이 작동부위에 결합한다.

반면 진핵생물에서는 유전자마다 프로모터가 따로 있다. 그리고 전사 조절에 관여하는 조절 단백질의 종류가 많으며, 전사 조절 단백질인 전사인자가 조절부위에 결합하고, 전사개시복합체를 형성한다.

스스로 확인하기

- 1 젓당오페론에서 억제단백질이 결합하는 부위를 무엇이라고 하는지 써 보자.
- 2 진핵생물에서 조절부위에 결합해 전사 조절에 관여하는 단백질을 ()이라고 한다.
- 3 | 과학 역량 기르기 | 조절유전자가 결실된 돌연변이형 대장균과 야생형 대장균을 젓당이 없는 배지에서 배양했다. 그 결과 두 대장균에서 나타나는 차이를 구조유전자의 발현과 관련지어 설명해 보자.

단원을 마치기 전에 학습 목표를 달성했는지 71 쪽 학습 목표에 ✓ 표하여 스스로 점검해 보자.

02

발생에서의 유전자발현 조절

| 학습 목표 |

- 생물의 발생 과정에서 세포분화가 유전자발현 조절 과정을 통해 일어남을 설명할 수 있다.
- 생물의 발생 초기 단계의 유전자발현 조절 과정을 설명할 수 있다.

어미 바다거북이 낳은 알은 2 개월 정도 지나면 부화한다. 2 개월 동안 바다거북의 알 속에서 어떤 일이 일어나는 것일까?



세포분화와 유전자발현 조절

사람과 같은 다세포생물은 하나의 수정란이 체세포분열을 거듭하여 조직과 기관을 형성하면서 개체가 되는 발생을 하며, 이 과정에서 특정한 형태와 기능을 갖게 되는 **세포분화**가 일어난다. 그 결과 개체는 여러 종류의 세포로 이루어져 다양한 생명활동을 할 수 있다.

하나의 수정란에서 체세포분열 결과 형성된 세포는 모두 같은 DNA를 가지지만, **그림 II-12**와 같이 모든 세포에서 *피루브산 탈수소효소 유전자처럼 공통으로 발현되는 것도 있고, 모근세포에서 케라틴 유전자가 발현되는 것이나 근육세포에서 마이오신 유전자가 발현되는 것처럼 세포마다 특이적으로 발현되는 것도 있다. 이와 같이 세포에 따라 발현되는 유전자의 차이로 세포가 갖는 단백질의 종류와 양이 달라져 세포의 형태와 기능이 구별된다.

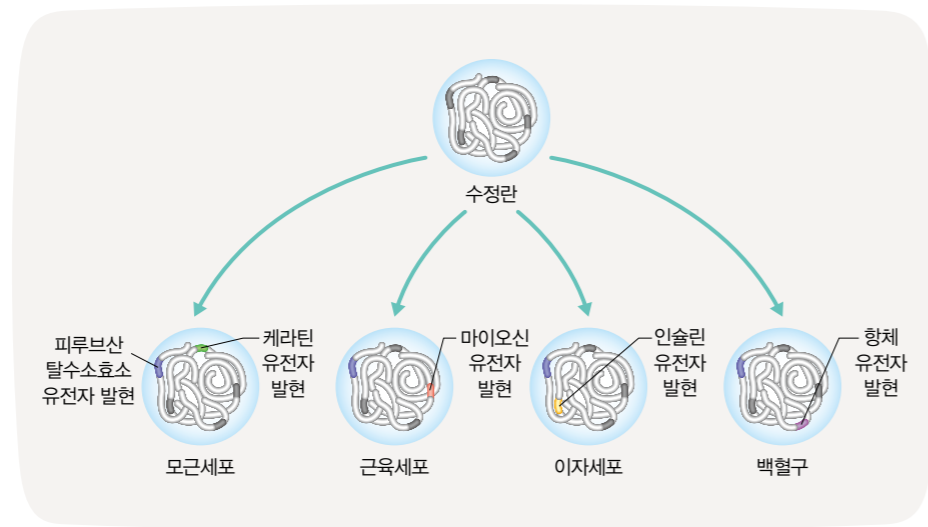


그림 II-12 수정란에서 세포분화로 만들어진 다양한 세포

발생에서의 유전자발현 조절은 중학교 『과학』의 ‘생식과 유전’ 단원과 연계된다.

디지털 탐색

세포분화, 생물의 발생, 발생 연구를 검색하여 세포분화와 발생 과정을 설명하는 동영상 시청해 보자.

* 피루브산 탈수소효소

세포호흡에서 피루브산을 아세틸 조효소 A로 전환하는 데 관여하는 효소

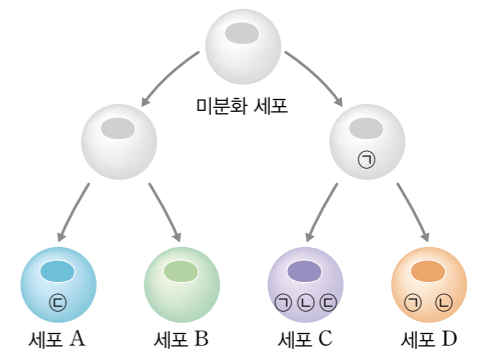
다음 해 보기에서 생물의 발생 과정에서 세포가 분화되는 과정을 알아보자.

해보기

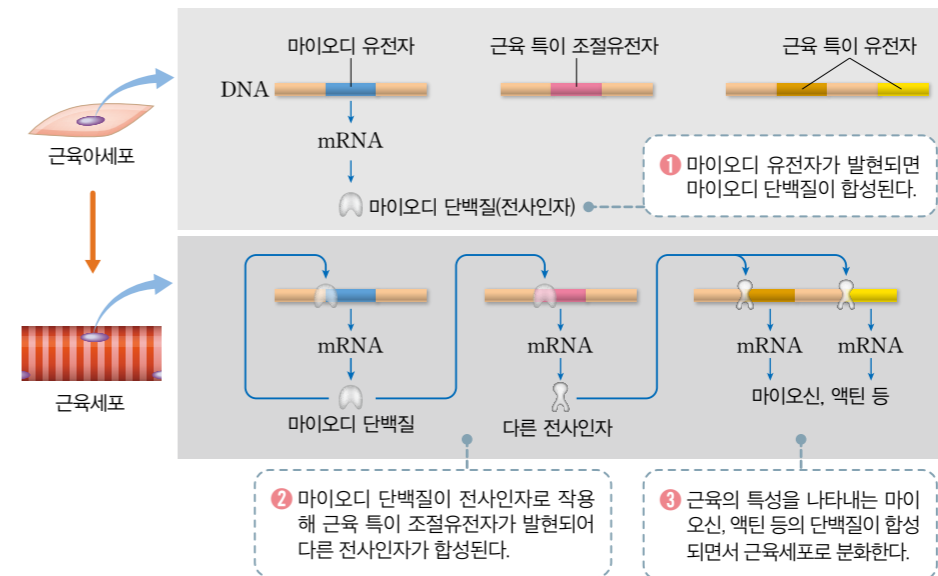
세포분화와 유전자발현의 관계 알아보기

그림은 어떤 동물의 발생에서 세포 A~D가 분화되는 과정과 각 세포에서 세포분화에 중요한 역할을 하는 전사인자 ①~④의 유무를 나타낸 것이다.

1. ④을 암호화하는 유전자와 ③을 암호화하는 유전자 중 ①이 있어야만 발현되는 유전자를 쓰고, 그렇게 판단한 까닭을 설명해 보자.
2. ③을 암호화하는 유전자가 결실되면 A~D 중 형성되지 못할 세포가 무엇인지 있는 대로 쓰고, 그렇게 판단한 까닭을 전사인자와 관련지어 설명해 보자.



DNA에는 여러 가지 전사인자를 암호화하는 유전자가 있으며, 이 중 특정 전사인자 유전자가 발현되어 특정 세포는 고유한 전사인자 조합을 가진다. 전사인자의 조합에 따라 유전자발현이 조절되면서 미분화 세포는 여러 종류의 세포로 분화할 수 있다. 전사인자를 암호화하는 유전자를 조절유전자라고 하며, 조절유전자가 발현되어 전사인자가 합성되면 이 전사인자가 또 다른 조절유전자의 발현을 조절할 수 있다. 이러한 조절유전자 중 세포의 운명을 결정하는 가장 상위의 조절유전자를 **핵심조절유전자**라고 한다. 대표적인 핵심조절유전자에는 **그림 II-13**과 같이 근육세포의 분화를 최초로 결정하는 마이오디 유전자가 있다.



핵심조절유전자인 마이오디 유전자가 발현되면 마이오신, 액틴 등 근육세포에 필요한 단백질이 합성돼.

그림 II-13 근육세포의 분화 과정

호미오유전자를 검색하여 호미오유전자의 특징을 찾아보자.

발생 과정에서의 기관 형성과 유전자발현 조절

사람의 발생 과정에서 귀는 머리의 특정 위치에서, 다리는 몸통 아랫부분에서만 형성된다. 초파리의 발생 과정에서 더듬이는 머리의 특정 위치에서, 다리는 가슴에서만 형성된다. 이처럼 동물의 발생 과정에서 몸의 각 기관이 정확한 위치에서 형성되어야 하는데, 이 과정에 관여하는 핵심조절유전자를 호미오유전자라고 한다.

초파리에는 그림 II-14와 같이 하나의 염색체에 호미오유전자가 배열되어 있다. 호미오유전자로부터 합성된 전사인자에 의해 특정 유전자의 발현이 조절되고, 그 결과 몸의 정확한 위치에 적절한 기관이 형성된다.

체절의 특징

동물의 머리에서 꼬리 방향으로 반복해서 형성되는 마디를 체절이라고 한다. 초파리의 경우는 눈은 머리 체절에서, 날개와 다리는 가슴 체절에서 형성된다.

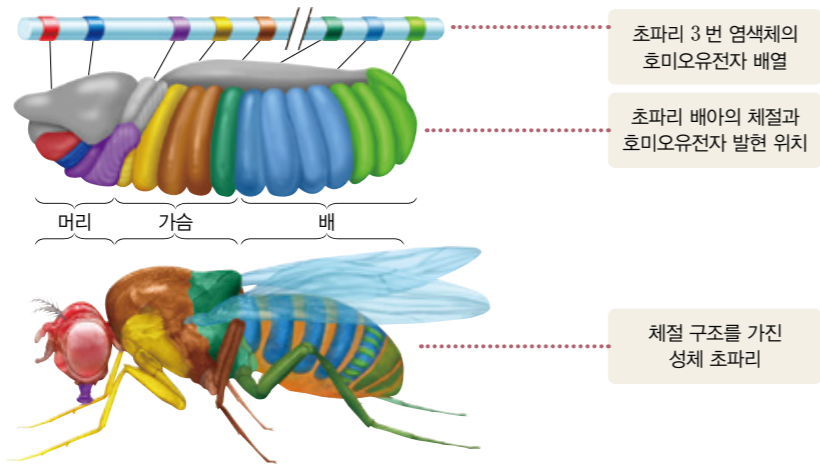


그림 II-14 초파리 호미오유전자의 발현 초파리의 몸 구조는 발현되는 호미오유전자의 종류에 따라 결정된다.

호미오유전자가 동물의 발생 과정에서 어떤 조절을 하는지는 호미오유전자의 돌연변이를 통해 밝혀졌다. 초파리의 경우 가슴에서 발현되는 특정 호미오유전자는 다리가 형성되는 것에 관여한다. 이 호미오유전자에 돌연변이가 일어나면 머리에서 그림 II-15와 같이 더듬이가 형성되어야 할 부분에 다리가 형성된다.



그림 II-15 초파리의 비정상적인 다리 형성 야생형 초파리는 머리에서 더듬이가 형성되지만, 돌연변이형 초파리는 머리에서 더듬이 대신 다리가 형성된다.

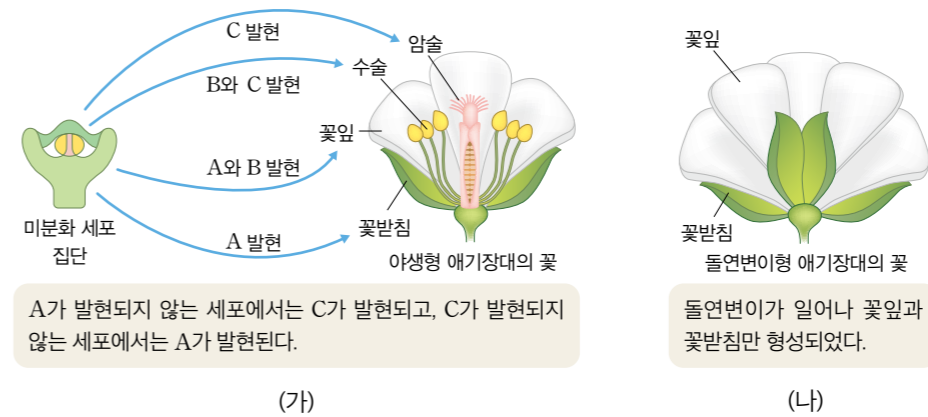
식물에도 기관의 형성에 관여하는 핵심조절유전자가 있다. 다음 해 보기에서 식물에서의 유전자발현 조절을 통해 꽃이 형성되는 과정을 알아보자.

해보기

탐구 능력 | 문제 해결 능력

식물의 기관 형성과 유전자발현 조절 알아보기

애기장대의 꽃 구조 형성에 관여하는 핵심조절유전자 A~C 중 어느 유전자가 발현되는지에 따라 암술, 수술, 꽃잎, 꽃받침이 형성된다. 그림 (가)는 A~C의 발현 여부와 야생형 애기장대의 꽃을, (나)는 돌연변이형 애기장대의 꽃을 나타낸 것이다.



1. 꽃받침으로 분화될 예정인 세포에서 발현되는 유전자가 무엇인지 써 보자.
2. (나)는 A~C 중 유전자 하나가 결실되어 수술 자리에 꽃잎이, 암술 자리에 꽃받침이 형성되었다. 그 까닭을 결실된 유전자와 관련지어 설명해 보자.

동물, 식물 같은 다세포생물에서 기관의 형성에 관여하는 핵심조절유전자가 정확한 시기에 정확한 위치에서 발현되면 각 기관은 정해진 위치에서만 형성된다. 다세포생물의 발생 과정에서 유전자발현의 조절에 의해 기관이 형성되므로 유전자 발현 조절은 발생을 포함한 여러 생명활동에 중요한 역할을 한다.

스스로 확인하기

- 1 하나의 수정란으로부터 만들어진 세포가 특정한 형태와 기능을 갖게 되는 것을 () (이)라고 한다.
- 2 세포의 운명을 결정하는 가장 상위의 조절유전자를 무엇이라고 하는지 써 보자.
- 3 | 과학 역량 기르기 | 1 쌍의 날개를 갖는 야생형 초파리에서 어떤 호미오유전자의 발현을 억제했더니 2 쌍의 날개가 형성되었다. 이 호미오유전자의 역할을 설명해 보자.

단원을 마치기 전에 학습 목표를 달성했는지 76 쪽 학습 목표에 ✓ 표 하여 스스로 점검해 보자.

03 유전자발현 조절 및 발생 연구와 인류 복지

| 학습 목표 |

- 유전자발현 조절 및 발생에 대한 연구가 인류 복지에 기여했음을 사례를 들어 설명할 수 있다.

심한 화상을 입어 피부 이식이 필요한 경우 자신의 미분화 세포를 배양하여 얻은 피부조직을 이식하기도 한다. 어떻게 미분화 세포로부터 피부조직을 얻을 수 있을까?



유전자발현 조절 및 발생에 대한 연구의 성과는 의료 등 여러 분야에 활용되면서 인류가 건강하게 살아가는 데 기여했다. 대표적인 사례에는 암의 진단과 치료,

* 줄기세포와 유전자편집기술을 활용하는 재생 의학 등이 있다.

유전자발현 조절에 대한 연구 과정에서 발견된 TP53 유전자는 암의 발생과 관련이 있을 것이라고 예상했다. TP53 유전자가 발현되지 못한 세포는 TP53 유전자가 발현된 세포보다 암세포가 될 가능성이 높다는 것을 알아냈고, 이를 통해 TP53 유전자가 암의 발생을 억제하는 유전자라는 것이 밝혀졌다. 이 연구의 성과를 활용해 TP53 유전자의 기능을 회복하는 항암제를 개발하고 있다.

* 줄기세포

세포분열을 통해 증식하고 뉴런, 근육세포 등 여러 종류의 세포로 분화할 수 있는 미분화 세포

TP53

암(tumor) 영문의 t, 단백질(protein) 영문의 p를 따서 TP라고 이름을 붙였다. 53은 이 유전자의 산물인 TP53 단백질의 분자량이 53000이어서 붙여진 것이다.

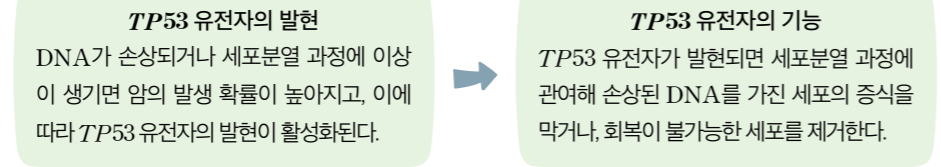


그림 II-16 암의 발생을 억제하는 TP53 유전자

발생에 대한 연구를 통해 세포분화, 기관의 형성 등에 관여하는 유전자 및 줄기세포가 발견되었으며, 다양한 유전자를 교정할 수 있는 유전자편집기술이 개발되었다. 이 성과는 줄기세포를 이용해 인공 각막을 만들어 각막이 손상된 환자에게 이식하거나, 인공 이자를 만들어 인슐린이 잘 분비되지 않는 환자에게 이식하는 재생 의학 분야에 활용하고 있다.

그림 II-17 줄기세포를 이용해 만든 인공 각막

다음 탐구에서 유전자발현 조절 및 발생에 대한 연구가 우리 생활에 어떻게 기여했는지 알아보자.

탐구

유전자발현 조절 및 발생에 대한 연구가 인류 복지에 기여한 사례 조사하기

조사, 협력적 소통

목표 유전자발현 조절 및 발생에 대한 연구가 인류 복지에 기여한 사례를 조사하여 토의할 수 있다.

과정 및 결과

1. 모둠별로 유전자발현 조절 및 발생에 대한 연구가 인류 복지에 기여한 여러 가지 사례를 조사해 보자.
2. 조사한 사례 중 하나를 골라 보자.
3. 고른 사례와 관련된 최신 연구, 인공지능(AI)의 활용에 대해 조사해 보자.
4. 조사한 내용을 바탕으로 하여 어떤 발표 자료를 만들지 토의해 보자.
5. 발표 자료를 만들어 발표해 보자.

정리

- 유전자발현 조절 및 발생에 대한 연구에서 새롭게 알게 된 사실을 정리해 보자.

브라카 유전자를 이용한 암 발생 가능성 진단

- 유전자발현 조절에 대한 연구로 암의 발생을 억제하는 브라카 유전자가 발견되었다.
- 브라카 유전자에 이상이 있는 사람은 정상인보다 유방암, 난소암, 전립선암 등의 발병률이 높다.
- 인공지능(AI)을 활용한 브라카 유전자 검사를 통해 유전자의 이상 여부를 발견하여 암의 발생 가능성을 진단한다.

준비물

- 스마트 기기
- 유전자발현 조절 및 발생과 관련된 책

스스로 평가하기

| 지식·이해 | 유전자발현 조절 및 발생에 대한 연구가 인류 복지에 어떻게 기여했는지 설명했는가? ☆☆☆

| 과정·기능 | 유전자발현 조절 및 발생에 대한 연구가 인류 복지에 기여한 사례를 조사하는 과정에서 협력적으로 소통했는가? ☆☆☆

| 가치·태도 | 인류의 건강하고 풍요로운 삶에 과학이 유용함을 인식했는가? ☆☆☆

최근 인공지능(AI)을 활용하면서 유전자발현 조절 및 발생에 대한 연구의 효율성이 높아져 더 많은 성과를 내고 있다. 따라서 앞으로 많은 유전자가 발견되고 이 유전자를 교정할 수 있는 기술이 발달한다면 유전자발현 조절 및 발생에 대한 연구는 인류의 건강하고 풍요로운 삶에 크게 기여할 것이다.

스스로 확인하기

- 1 유전자발현 조절 및 발생에 대한 연구가 인류 복지에 기여한 사례를 한 가지만 써 보자.
- 2 **| 과학 역량 기르기 |** 유전자발현 조절 및 발생에 대한 연구가 더 많이 이루어진다면 인류의 건강과 복지에 어떻게 기여할 수 있을지 설명해 보자.

단원을 마치기 전에 학습 목표를 달성했는지 80 쪽 학습 목표에 표하여 스스로 점검해 보자.

유전공학연구원

유전자의 구조 및 유전자발현 조절에 대한 연구가 활발해지면서 세포에서 유전자가 발현 되는 과정 등을 연구하는 유전공학연구원이 주목 받고 있다. 유전공학을 연구하고 활용하는 유전공학연구원 덕분에 의약품, 농작물 등을 쉽게 이용할 수 있게 되었다.

유전공학연구원은 어떤 일을 하나요?

유전공학연구원은 다양한 생물에게서 우리가 활용할 수 있는 유전자를 찾고, 여러 유전자를 재조합하여 유익한 물질을 대량 생산할 수 있는 방법 및 이와 관련된 생물을 개발합니다. 또 암, 치매, 유전병 같은 질병을 일으키는 원인을 연구합니다. 유전공학연구원은 정부 기관, 생명공학 관련 기업, 의약품 제조 회사 등에서 일할 수 있습니다.



토의·토론

의사 결정 능력

내가 유전공학연구원이라면 인류의 건강과 복지를 위해 어떤 연구를 하고 싶은지 이야기해 보자.

유전공학연구원이 되려면 어떻게 준비하나요?

유전공학연구원이 되려면 생명과학, 유전공학, 의학, 약학 등을 전공해야 합니다. 생물의 생명 활동이 일어나는 원리를 알고, 생물의 유전 방식을 연구해야 하므로 논리적으로 문제를 해결할 수 있는 분석력과 판단력을 길러야 합니다. 전자 현미경과 같은 최첨단 실험 도구와 다양한 컴퓨터 프로그램을 활용할 수 있는 능력도 필요합니다.



디지털 탐색

워크넷(www.work.go.kr)

유전공학연구원과 관련된 정보를 찾아보자.



중단원 마무리

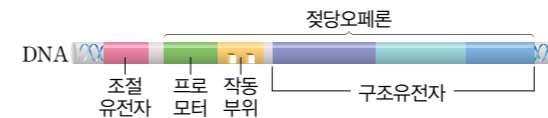
2. 유전자발현 조절

01 전사에서의 유전자발현 조절

71 쪽~75 쪽

1. 원핵생물의 전사 조절

- ① : 프로모터, 작동부위, 구조유전자로 구성된 집단이다.
- 젓당오페론: 프로모터, 억제단백질이 결합하는 작동부위, 젓당을 이용하는 데 필요한 효소들을 암호화하는 구조 유전자로 구성된다. 젓당오페론의 앞부분에 억제단백질을 암호화하는 조절유전자가 있다.



▲ 젓당오페론의 구조와 조절유전자

젓당오페론의 조절

젓당이 없을 때	억제단백질이 작동부위에 결합하여 RNA 중합효소가 프로모터에 결합하지 못하므로 구조유전자의 전사가 일어나지 않는다.
젓당이 있을 때	억제단백질이 젓당 유도체와 결합하여 억제단백질의 구조가 변형되므로 작동부위에 결합하지 못한다. 이로 인해 RNA 중합효소가 프로모터에 결합해 구조유전자의 전사가 일어난다.

2. 진핵생물의 전사 조절

- ② : RNA 중합효소가 프로모터에 결합하고 전사가 일어나는 것을 조절하는 데 관여하는 여러 가지 단백질이다.
- 전사인자 중 일부 전사인자가 조절부위에 결합한 뒤 나머지 전사인자가 RNA 중합효소와 결합하여 전사개시 복합체를 형성하면 전사가 시작된다.

스스로 평가하기

이 단원에서 학습한 내용을 확인하고 스스로 평가해 봅시다.

	우수	보통	미흡
지식·이해 원핵생물과 진핵생물의 전사 단계에서의 유전자발현 조절 과정을 설명했는가? 생물의 발생 과정에서 일어나는 세포분화를 유전자발현 조절 과정으로 설명했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
과정·기능 원핵생물과 진핵생물의 유전자발현 조절 과정을 비교하기 위한 설명 자료를 만들었는가? 생물의 발생 초기 단계의 유전자발현 조절 과정을 추론했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
가치·태도 유전자발현 조절이 생물의 발생 및 생명활동에 중요함을 느꼈는가? 생물의 유전자발현 조절 및 발생에 대한 연구가 인류 복지에 유용함을 인식했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

평가 결과가 아쉽다면 '2. 유전자발현 조절'을 다시 한번 학습해 봅시다.

3. 원핵생물과 진핵생물의 유전자발현 조절 비교

원핵 생물	<ul style="list-style-type: none"> 기능적으로 연관된 여러 유전자가 하나의 프로모터에 연결되어 있다. 억제단백질 같은 조절 단백질이 작동부위에 결합한다.
진핵 생물	<ul style="list-style-type: none"> 유전자마다 프로모터가 따로 있다. 전사 조절 단백질인 전사인자가 조절부위에 결합한다.

02 발생에서의 유전자발현 조절

76 쪽~79 쪽

1. 세포분화와 유전자발현 조절

- ③ : 하나의 수정란으로부터 만들어진 세포가 특정한 형태와 기능을 갖게 되는 것이다.
- 분화된 세포는 모두 같은 DNA를 가지지만, 세포에 따라 발현되는 유전자의 차이로 세포가 갖는 단백질의 종류와 양이 달라져 세포의 형태와 기능이 구별된다.
- ④ : 유전자발현 조절 과정에서 세포의 운명을 결정하는 가장 상위의 조절유전자이다.

2. 발생 과정에서의 기관 형성과 유전자발현 조절

- ⑤ : 동물의 발생 과정에서 몸의 각 기관이 정확한 위치에 형성되게 결정하는 핵심조절유전자이다.
- 다세포생물의 발생 과정에서 핵심조절유전자의 조절을 받아 기관이 형성된다.

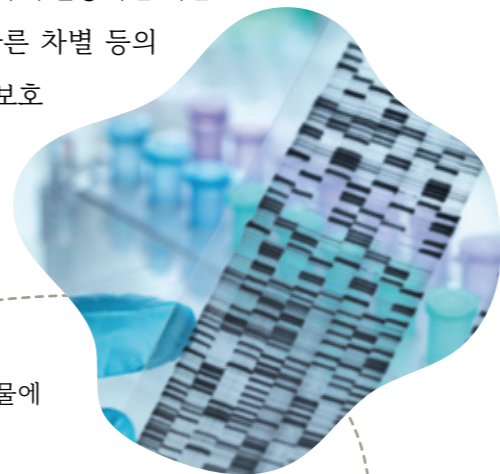
03 유전자발현 조절 및 발생 연구와 인류 복지

80 쪽~81 쪽

- 유전자발현 조절 및 발생 연구로 인류 복지에 기여한 사례에는 암의 진단과 치료, 재생 의학 등이 있다.

유전체 정보의 보호와 올바른 활용 홍보하기

유전체 정보는 생명과학뿐 아니라 다른 학문 분야에서도 유용한 자료로 쓰일 수 있다. 유전체 정보가 무분별하게 활용되면 개인 정보가 노출되거나 유전체 정보에 따른 차별 등의 문제가 발생할 수 있다. 유전체 정보를 보호하고 올바르게 활용하기 위한 홍보물을 만들어 홍보 활동을 해 보자.



1 고안하기

- 1. 모둠별로 유전체 정보의 보호와 올바른 활용을 알리는 홍보물에 들어갈 내용과 홍보물의 형태를 정해 보자.
- 2. 홍보물을 이용하여 홍보 활동을 할 대상, 장소, 시간 등을 정해 보자.
- 3. 홍보물 제작을 위해 모둠원의 역할을 나누어 보자.

2 수행하기

1. 다음을 참고하여 유전체 정보의 활용 사례 및 이와 관련된 정책과 법을 조사해 보자.

- 유전체 정보가 사회적으로 유용하게 활용된 사례
- 유전체 정보가 노출되어 개인이 피해를 본 사례
- 유전체 정보의 보호 및 활용과 관련된 정책과 법

2. 조사한 내용을 바탕으로 하여 유전체 정보의 보호와 올바른 활용을 알리는 홍보물을 만들어 보자.

3 실행하기

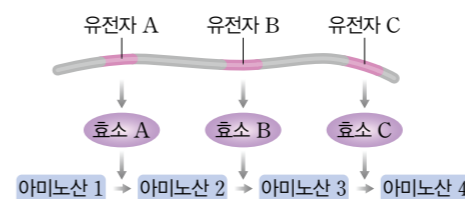
- 1. 홍보물을 이용하여 홍보 활동을 해 보자.
- 2. 다음 표를 활용하여 우리 모둠과 다른 모둠의 활동을 평가해 보자.

평가 내용	우수	보통	미흡
지식·이해 유전체 정보의 보호와 올바른 활용에 대해 설명했는가?			
과정·기능 유전체 정보의 보호와 올바른 활용에 대한 홍보물을 만들고, 홍보 활동을 했는가?			
가치·태도 유전체 정보를 보호하고 올바르게 활용할 수 있다는 마음가짐으로 홍보 활동에 참여했는가?			

대단원 마무리

1. 유전자발현 과정 56 쪽

01 그림은 야생형 생물 (가)에서 아미노산 1로부터 아미노산 4를 만드는 데 관여하는 효소와 유전자를 나타낸 것이다. 돌연변이형 생물 (나)는 유전자 A에 돌연변이가 일어나 효소 A가 합성되지 않는다. 아미노산 4는 생물 (가)와 (나)의 성장에 필수적인 아미노산이다.

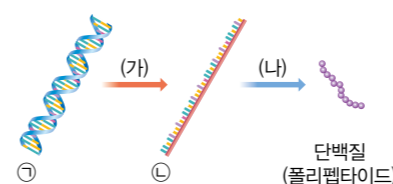


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 골라 보자.

- 가. 유전자 A에는 효소 A에 대한 유전정보가 저장되어 있다.
 나. (가)는 최소배지에 아미노산 1을 첨가한 배지에서 성장할 수 있다.
 다. (나)는 아미노산 1이 있는 배지에 아미노산 3을 첨가하면 성장할 수 있다.

1. 유전자발현 과정 56 쪽

02 그림은 유전자발현 과정을 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡은 mRNA와 DNA를 순서 없이 나타낸 것이며, (가)와 (나)는 번역과 전사를 순서 없이 나타낸 것이다.



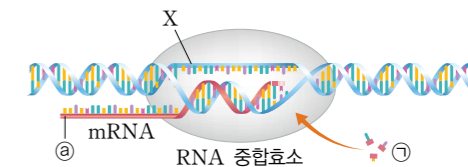
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 가. ㉠은 DNA이다.
 나. (가)는 전사이다.
 다. ㉡은 라이보솜을 구성한다.

- ① 가
- ② 다
- ③ 가, 나
- ④ 나, 다
- ⑤ 가, 나, 다

1. 유전자발현 과정 56 쪽

03 그림은 효모에서 일어나는 전사 과정을 나타낸 것이다. X는 이중 가닥 DNA를 구성하는 단일 가닥 DNA이며, ㉠은 mRNA의 5' 말단과 3' 말단 중 하나이고, ㉡은 뉴클레오타이드이다.



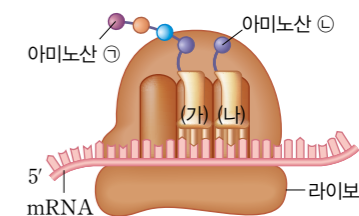
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 가. X는 mRNA와 상보적인 염기서열을 가진다.
 나. ㉠은 5' 말단이다.
 다. ㉡에 디옥시라이보스가 있다.

- ① 가
- ② 나
- ③ 다
- ④ 가, 나
- ⑤ 나, 다

1. 유전자발현 과정 56 쪽

04 그림은 번역이 일어나는 과정의 일부를 나타낸 것이다. (가)와 (나)는 tRNA이며, ㉠과 ㉡ 중 하나는 개시 코돈이 암호화하는 아미노산이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

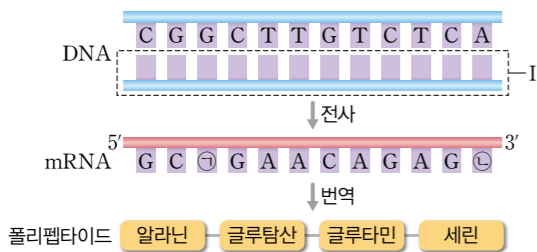
- 가. ㉠은 개시코돈이 암호화하는 아미노산이다.
 나. (가)는 라이보솜 대단위체의 P 자리에, (나)는 A 자리에 위치한다.
 다. (가)는 (나)보다 먼저 라이보솜에서 방출된다.

- ① 가
- ② 나
- ③ 가, 다
- ④ 나, 다
- ⑤ 가, 나, 다

과학 글쓰기

1. 유전자발현 과정 56 쪽

05 그림은 어느 생물에서 전사와 번역을 통해 4 개의 아미노산으로 이루어진 폴리펩타이드가 합성되는 과정을 나타낸 것이다. I은 이중 가닥 DNA를 구성하는 단일 가닥 DNA이며, ㉠과 ㉡은 mRNA의 염기이다.

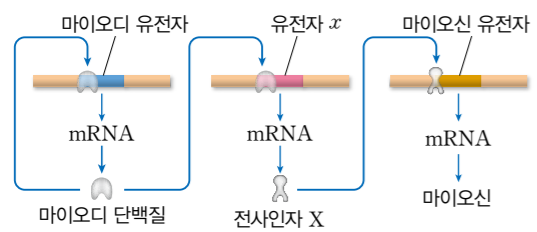


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. I은 전사에서 주형 가닥으로 사용된다.
 - ㄴ. ㉠과 ㉡은 염기의 종류가 서로 다르다.
 - ㄷ. 세린을 암호화하는 코돈에는 AGU가 있다.
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

2. 유전자발현 조절 70 쪽

06 그림은 생쥐에서 근육세포의 분화에 관여하는 유전자 발현 과정과 유전자발현으로 합성된 단백질의 작용을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㄱ. 마이오디 단백질은 전사인자이다.
 - ㄴ. 이 과정에서 핵심조절유전자는 마이오신 유전자이다.
 - ㄷ. 세포 내 X의 농도가 증가하면 마이오신의 농도도 증가한다.
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

과학 역량 기르기

1. 유전자발현 과정 56 쪽

07 그림은 붉은빵곰팡이에서 아르지닌이 합성되는 과정을, 표는 붉은빵곰팡이의 야생형, 돌연변이 I, 돌연변이 II를 오르니틴을 첨가한 최소배지와 시트룰린을 첨가한 최소배지에서 배양했을 때 성장 여부를 나타낸 것이다. I과 II는 각각 유전자 A~C 중 하나에 돌연변이가 일어났으며, ㉠과 ㉡은 시트룰린과 오르니틴을 순서 없이 나타낸 것이다.

유전자	전구 물질	구분	최소배지 + 오르니틴	최소배지 + 시트룰린
유전자 A	효소 A	야생형	성장함.	성장함.
유전자 B	효소 B	I	성장함.	성장함.
유전자 C	효소 C	II	성장 못함.	성장함.

- (1) ㉠과 ㉡이 무엇인지 각각 써 보자.
- (2) I과 II는 각각 A~C 중 어느 유전자에 돌연변이가 일어났는지 그렇게 판단한 까닭과 함께 설명해 보자.

1. 유전자발현 과정 56 쪽

08 표 (가)는 유전자 I과 II의 주형 가닥 염기서열과 합성되는 폴리펩타이드를, (나)는 유전부호 표의 일부를 나타낸 것이다.

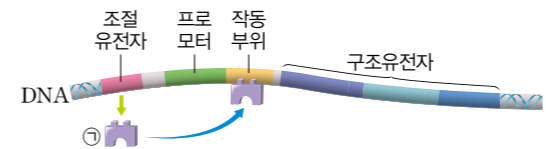
유전자	주형 가닥 염기서열	폴리펩타이드
I	3'-TACATGCGGACCATT-5'	X
II	3'-TACATGCGGACTATT-5'	Y

코돈	아미노산	코돈	아미노산	코돈	아미노산
AUG	메싸이오닌	UAC	타이로신	UAA, UGA	종결코돈
UGG	트립토판	GCC	알라닌		

- (1) X와 Y에 공통으로 있는 아미노산은 무엇인지 써 보자.
- (2) X와 Y 중 아미노산의 개수가 더 많은 폴리펩타이드는 무엇인지 쓰고, 그렇게 판단한 까닭을 설명해 보자.

2. 유전자발현 조절 70 쪽

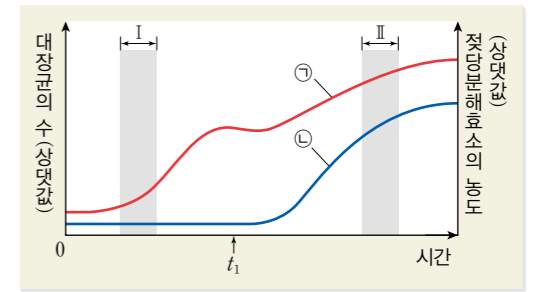
09 그림은 젓당오페론의 조절 과정 중 일부를 나타낸 것이다.



- (1) ㉠이 무엇인지 써 보자.
- (2) ㉠이 작동부위에 결합했을 때 구조유전자의 발현에 어떤 영향을 미치는지 설명해 보자.

[11~12] 다음은 대장균을 이용하여 실험한 자료이다. 물음에 답해 보자.

- 대장균이 증식하려면 포도당이나 젓당 같은 양분이 필요하다.
- 포도당만 포함된 배지에 대장균을 넣고 배양하다가 t_1 일 때 젓당을 첨가했다.
- 시간에 따른 대장균의 수와 대장균에서 합성되는 젓당분해효소의 농도는 그림과 같았다. ㉠과 ㉡은 대장균의 수와 젓당분해효소의 농도를 순서 없이 나타낸 것이다.



11 ㉠과 ㉡이 무엇인지 각각 쓰고, 그렇게 판단한 까닭을 설명해 보자.

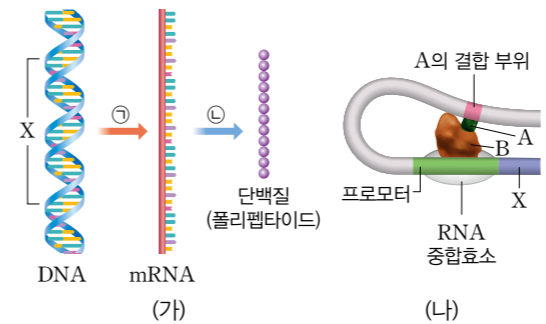
.....

.....

.....

2. 유전자발현 조절 70 쪽

10 그림 (가)는 생물 P의 세포에서 유전자 X가 발현되는 과정을, (나)는 이 세포에서 형성되는 전사개시복합체를 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡은 번역과 전사를 순서 없이 나타낸 것이며, A와 B는 전사인자이다.



- (1) (나)의 전사개시복합체는 ㉠과 ㉡ 중 어느 과정에서 형성되는지 써 보자.
- (2) A와 B가 없으면 X의 발현이 어떻게 될지 설명해 보자.

12 구간 I과 II 중 대장균에서 억제단백질이 작동부위에 결합하고 있는 비율이 높은 구간을 쓰고, 그렇게 판단한 까닭을 설명해 보자.

.....

.....

.....

이 단원의 활동 결과물을 모아 나만의 포트폴리오를 완성해 보자.

III

생명공학기술

생명공학기술은 우리 생활에 어떤 영향을 미칠까?
이 단원에서는 생명공학기술의 발달과 활용된 사례를 알아보자.
또 생명공학기술을 개발하고 활용하는 과정에서
고려해야 할 사회적 책임과 생명윤리를 알아보자.



이 단원의 핵심 아이디어

1 생명공학기술의 발달과 활용

생명공학기술의 발달로 생명과학 분야가 확장되며, 생명공학 기술은 인류 복지와 질병 치료에 기여한다.

2 생명공학기술의 영향과 생명윤리

생명공학기술이 발달하면서 발생할 수 있는 여러 가지 문제를 사회적 책임과 생명윤리에 대한 인식을 통해 대처한다.

단원 연계

중학교 과학

- 생식과 유전

통합과학2

- 과학과 미래 사회

생명과학

- 생명 시스템의 구성
- 생명의 연속성과 다양성

생물의 유전

1. 생명공학기술의 발달과 활용
2. 생명공학기술의 영향과 생명윤리

포트폴리오

- 이 단원을 학습하면서 나만의 포트폴리오를 만들어 보자.
- 98 쪽 생명공학기술을 활용한 난치병 치료 사례 조사하기
 - 118 쪽 유전자변형식품을 소비하고 유통할 때의 원칙 토의하기

1

생명공학기술의 발달과 활용

- 01 생명공학기술의 발달
- 02 난치병 치료에 활용하는 생명공학기술
- 03 생명공학기술 관련 학문 분야와 활용 사례

홍합은 식품으로도 이용되지만 돌에 달라 붙는 특성을 이용해 접착제를 개발하는데 이용되기도 한다.

들어다보기 우리 주변에서 홍합 접착제처럼 생물의 특성을 활용한 예에는 어떤 것이 있을까?

생각해 보기 생물의 기능과 특성을 이용해 주변에서 개선하고 싶은 제품이 있는가?



학습할 내용을 알아보고, 스스로 학습 계획을 세워 봅시다.

이전 학습 내용

알고 있는 단어에 ✓ 표 해 보자.

- 생명공학 유전체 유전자발현

이 단원의 학습 내용

지식·이해

- 생명공학기술 발달 과정에서의 주요 사건을 설명할 수 있다.
- 단클론항체, 줄기세포, 유전자편집기술이 난치병 치료에 활용됨을 설명할 수 있다.

과정·기능

- 생명공학기술이 난치병 치료에 활용된 사례를 조사하고, 난치병 치료법의 전망을 토의할 수 있다.
- 생명공학기술 관련 학문 분야가 우리 생활과 산업에 활용된 사례를 조사할 수 있다.

가치·태도

- 난치병 치료에 생명공학기술이 유용하게 이용되고 있음을 인식할 수 있다.
- 생명공학기술이 우리 생활과 산업에 활용되어 인류 발전에 기여함을 경험할 수 있다.

나의 학습 계획

나는 이 단원에서 _____ 을/를 알고 싶다.

01 생명공학기술의 발달

학습 목표

- 생명공학기술 발달 과정에서의 주요 사건을 설명할 수 있다.



생물의 기능과 특성을 이용해 사람에게 필요한 물질을 생산하거나 질병을 치료하는 데 활용하는 기술을 생명공학기술이라고 한다. 생명공학기술은 오래전부터 발전해 왔으며, DNA 분자 구조를 밝힌 뒤 DNA 재조합기술, DNA 복제를 기반으로 한 중합효소연쇄반응(PCR) 등 DNA를 이용하는 기술이 개발되면서 사람을 포함한 다양한 생물의 유전체 염기서열을 알아냈다. 이후 유전체 염기서열을 이용하는 많은 기술이 개발되는 등 생명공학기술은 계속 발달하고 있다.

생명공학기술의 발달

1970년대

DNA 재조합기술은 특정 생물에서 추출한 DNA를 인위적으로 자르고 연결하여 새로운 유전자조합을 가진 DNA를 만드는 기술이야.

▲ DNA 재조합기술 개발

▲ 단클론항체 생산 기술 개발

1980년대

인슐린

▲ DNA 재조합기술을 활용한 인슐린 제조

중합효소연쇄반응(PCR) 개발

DNA 지문 검사 개발

1990년대

최초의 유전자변형농산물 생산

최초의 복제 포유류 탄생

사람의 질병 치료에 배아 줄기세포 활용

2000년대

차세대염기서열분석(NGS) 개발

사람의 유전체 염기서열 규명

크리스퍼유전자가위를 이용한 유전자편집기술 개발

RNA 백신 상용화

다음 탐구에서 생명공학기술 발달 과정에서의 주요 사건으로 생명공학기술이 어떻게 발달했는지 알아보자.

탐구

조사, 자료 분석

탐구 능력 | 문제 해결 능력

생명공학기술 발달 과정에서의 주요 사건 조사하기

목표 생명공학기술 발달 과정에서의 주요 사건을 조사하고 발표할 수 있다.

과정 및 결과

1. 모둠별로 생명공학기술 발달 과정에서의 주요 사건을 하나씩 골라 보자.

① 91 쪽 생명공학기술의 발달을 참고할 수 있다.

2. 다음을 참고하여 고른 주요 사건을 조사해 보자.

- 생명공학기술 발달 과정에서의 사건에 의한 성과
- 생명공학기술 발달 과정에서의 사건이 가져온 기술 발달

3. 조사한 내용을 발표할 매체를 토의하여 정한 뒤 설명 자료를 만들어 발표해 보자.

① 설명 자료는 영상, 정보 그림 같은 시청각 설명 자료 제작 등 다양한 방법으로 만들 수 있다.

준비물

- ☑ 스마트 기기
- ☑ 생명공학기술과 관련된 책

탐구 유의 사항

- 조사할 때에는 주제와 관련된 책이나 전문 기관에서 운영하는 누리집의 정보를 이용한다.
- 발표할 때에는 내용을 이해하기 쉽게 설명한다.

스스로 평가하기

| 지식·이해 | 생명공학기술 발달 과정에서의 주요 사건을 설명했는가? ☆☆☆

| 과정·기능 | 생명공학기술 발달 과정에서의 주요 사건을 조사했는가? ☆☆☆

| 가치·태도 | 생명공학기술 발달 과정에서의 주요 사건이 우리 생활에 많은 영향을 미친다는 것을 인식했는가? ☆☆☆

정리

- 생명공학기술 발달 과정에서의 주요 사건을 정리해 보자.

우리 생활과 밀접한 관련이 있는 생명공학기술에는 DNA 재조합기술, 중합효소 연쇄반응(PCR), 차세대염기서열분석(NGS) 등이 있다.

생명공학기술을 활용한 인슐린 제조

- 사건에 의한 성과: 사람의 인슐린 유전자를 DNA 재조합기술을 이용해 대장균에서 발현할 수 있게 되어 당뇨병을 치료하는 데 도움이 되었다.
- 사건이 가져온 기술 발달: 인슐린 외에도 성장호르몬 같은 치료용 단백질을 인공적으로 합성하는 생명공학기술이 발달하게 되었다.



▲ 인슐린 주사

대장균에서 사람의 인슐린을 생산하는 과정에 DNA 재조합기술이 활용되었다. 이후 DNA 재조합기술은 인슐린, *혈전용해제 등의 의약품을 대량으로 생산하고, 새로운 품종의 농작물이나 가축을 개발하는 데 활용되고 있다.

중합효소연쇄반응(PCR)은 DNA의 특정 부분을 선택적으로 빠르게 증폭하는 기술이다. 이 기술은 아주 적은 양의 DNA로부터 필요한 만큼의 DNA를 얻을 수 있어 생명공학기술 전반에 걸쳐 널리 활용하고 있다. 중합효소연쇄반응(PCR)을 이용하여 돌연변이 유전자, 세균이나 바이러스의 특정 염기서열을 증폭해 유전병, 감염병 등을 진단할 수 있다. 또 개인마다 변이를 나타내는 부위를 증폭해 비교함으로써 개인을 식별하는 데에도 활용한다.

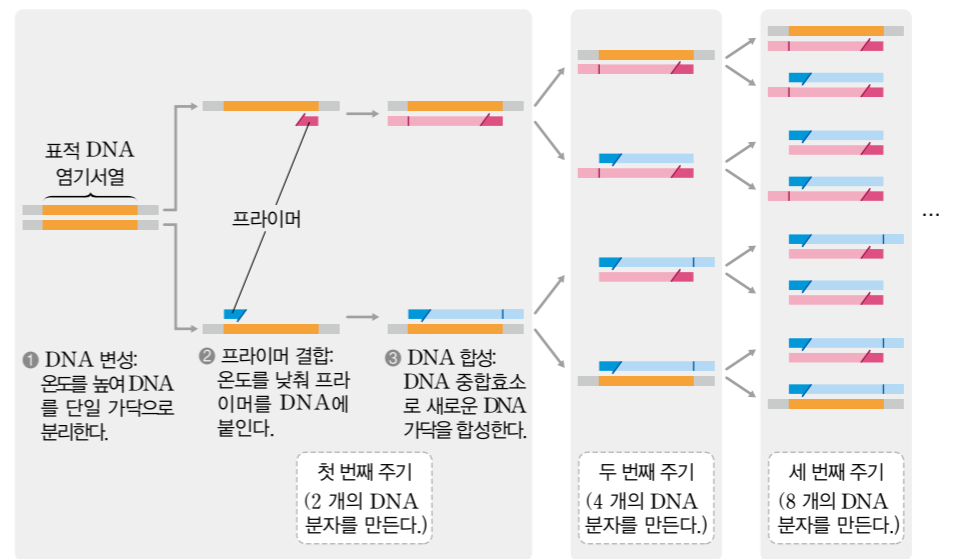


그림 Ⅲ-1 중합효소연쇄반응(PCR) 과정

*차세대염기서열분석(NGS)은 수많은 DNA 조각의 염기서열을 동시에 읽은 뒤 하나로 합쳐 매우 긴 염기서열을 분석하는 기술이다. 이 기술로 사람을 포함한 다양한 생물의 유전체 염기서열을 기존보다 빠르게 분석할 수 있게 되었다. 최근에는 사람의 유전체 염기서열을 분석하여 많은 질병 관련 유전자를 알아냈고, 이를 이용해 질병을 진단하고 치료할 수 있는 생명공학기술이 개발되고 있다.

스스로 확인하기

- 1 생물의 기능과 특성을 이용해 사람에게 필요한 물질을 생산하거나 질병을 치료하는 데 활용하는 기술을 () (이)라고 한다.
- 2 | 과학 역량 기르기 | 범 죄 현장에서 발견된 혈액 한 방울이나 머리카락 속에 들어 있는 적은 양의 DNA를 이용해 범인을 찾을 수 있는 까닭을 설명해 보자.

생명공학기술의 발달은 중학교『과학』의 '생식과 발생', 『생명과학』의 '생명 시스템의 구성' 단원과 연계된다.

* **혈전용해제**
혈관을 막는 응고된 혈액인 혈전을 녹이는 약물

멀리스
(Mullis, K. B., 1944~2019)
미국의 과학자. DNA의 특정 염기서열을 증폭하는 중합효소연쇄반응(PCR, polymerase chain reaction)을 개발하여 1993년에 노벨상을 받았다.

* **차세대염기서열분석**
(NGS, next-generation sequencing)
유전체 염기서열을 고속으로 분석하는 기술

단원을 마치고 전에 학습 목표를 달성했는지 91 쪽 학습 목표에 ✓ 표시하여 스스로 점검해 보자.

02 난치병 치료에 활용하는 생명공학기술

| 학습 목표 |

- 단클론항체, 줄기세포, 유전자편집기술이 난치병 치료에 활용된 사례를 설명할 수 있다.
- 생명공학기술을 이용한 난치병 치료법의 전망을 설명할 수 있다.



최근에는 단클론항체, 줄기세포, 유전자편집기술 같은 생명공학기술을 활용해 난치병을 치료하고 있다.

단클론항체

우리 몸은 병원체 같은 항원이 침입하면 항체를 만들어 항원을 제거한다. 항체는 항원에 특이적으로 결합하므로 항체를 대량 생산하면 특정 질병의 진단과 치료에 이용할 수 있다.

우리 몸 밖에서 항체를 얻으려면 쥐나 토끼 같은 동물에게 항원을 주입하고 일정 시간이 지난 뒤 *혈청을 채취해야 한다. 그런데 이 혈청에서 얻을 수 있는 항체의 양이 매우 적으므로 세포융합기술을 활용해 해결할 수 있다. 항체를 생산하는 B림프구와 반영구적으로 분열하는 암세포를 융합하면 특정 항체를 생산하면서 반영구적으로 분열하는 잡종세포를 만들 수 있다. 유전적으로 동일한 잡종세포들은 한 종류의 항체를 생산하며, 이 항체를 단클론항체라고 한다.

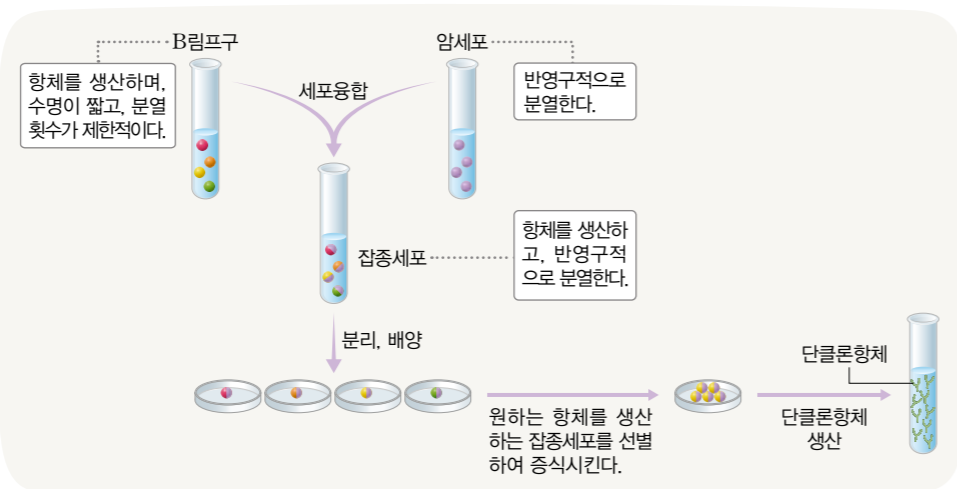


그림 III-2 단클론항체의 생산 과정

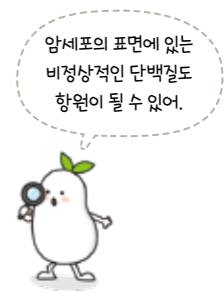
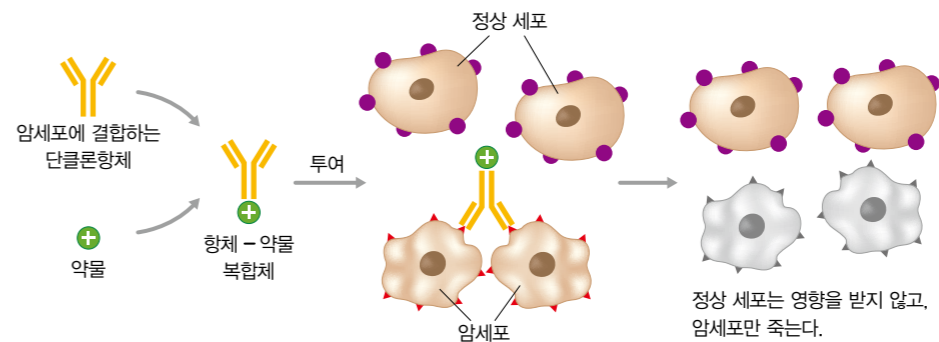
다음 해 보기에서 단클론항체를 활용하여 암 같은 난치병을 치료하는 방법을 알아보자.

해보기

Q 탐구 능력 | 문제 해결 능력

단클론항체를 활용하여 암을 치료하는 방법 알아보기

그림은 단클론항체를 활용하여 암을 치료하는 방법을 나타낸 것이다.



1. 단클론항체가 암세포와만 특이적으로 반응하는 까닭을 설명해 보자.
2. 암 치료에 단클론항체를 활용할 때의 장점을 설명해 보자.

암을 치료하기 위해 항암제를 투여하면 암세포뿐만 아니라 정상 세포도 치명적인 영향을 받는다. 하지만 암세포에만 있는 항원과 특이적으로 반응하는 단클론항체에 항암제를 부착한 뒤 암 환자에게 투여하면 항암제가 암세포에 집중적으로 작용하여 치료 효과를 높이고 항암제의 부작용을 줄일 수 있다.

단클론항체는 감염병, 자가면역질환 등의 치료에도 활용한다. 또 임신 진단 도구, 간염 등의 감염병을 신속하고 정확하게 진단할 수 있는 신속 항원 검사 도구 등의 진단 시약에도 활용한다.



▲ 임신 진단 도구

임신한 여성의 오줌 속에 들어 있는 호르몬과 결합하는 단클론항체를 활용해 임신 여부를 판별한다.

▼ 신속 항원 검사 도구

그림 III-3 단클론항체를 활용한 진단 시약

줄기세포

몸을 구성하는 여러 종류의 세포로 분화할 수 있는 능력을 갖춘 세포를 줄기세포라고 한다. 줄기세포는 얻는 방식에 따라 그림 Ⅲ-4와 같이 배아줄기세포, 성체 줄기세포, 역분화줄기세포로 구분한다.

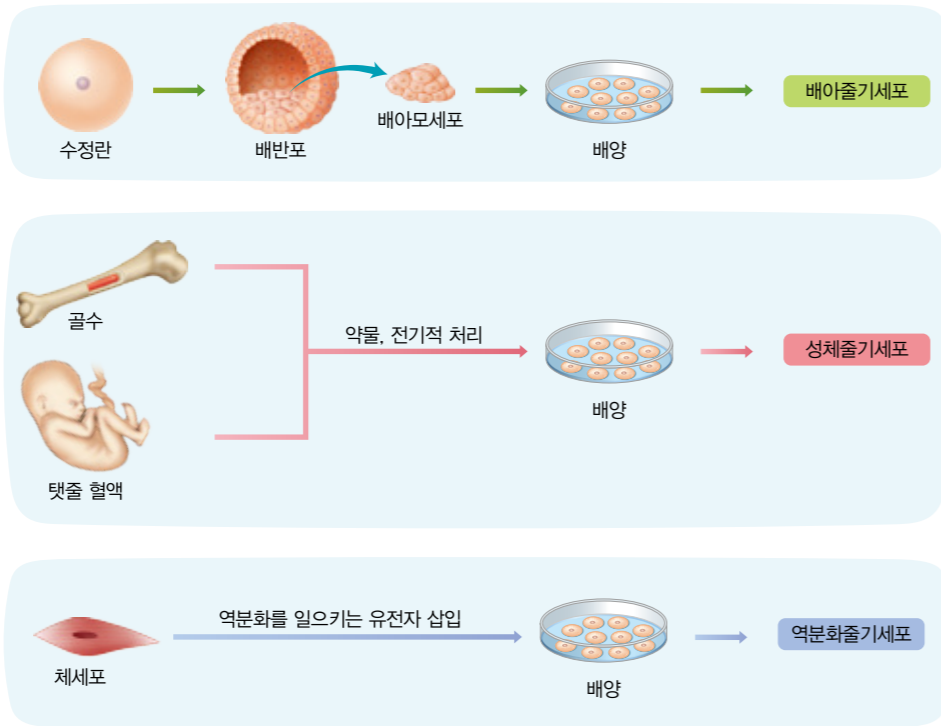


그림 Ⅲ-4 줄기세포의 종류

배아줄기세포는 기관이 형성되기 전 발생 초기 배아에서 얻는 줄기세포이며, 우리 몸을 구성하는 모든 세포와 조직으로 분화할 수 있다. 배아줄기세포를 얻으려면 난자를 많이 확보해야 하고, 생명체가 될 수 있는 배아를 사용한다는 점에서 생명 윤리 문제가 발생할 수 있다.

성체줄기세포는 성체가 된 뒤에도 미분화 상태로 남아 있는 줄기세포이며, 사람의 경우 성체의 골수, 탯줄의 혈액 등에서 적은 양을 얻을 수 있다. 성체줄기세포는 환자 자신의 신체 조직에서 추출하므로 생명윤리 문제나 면역 거부 반응이 없지만, 증식이 어렵고 일부 세포로만 분화할 수 있다는 한계가 있다.

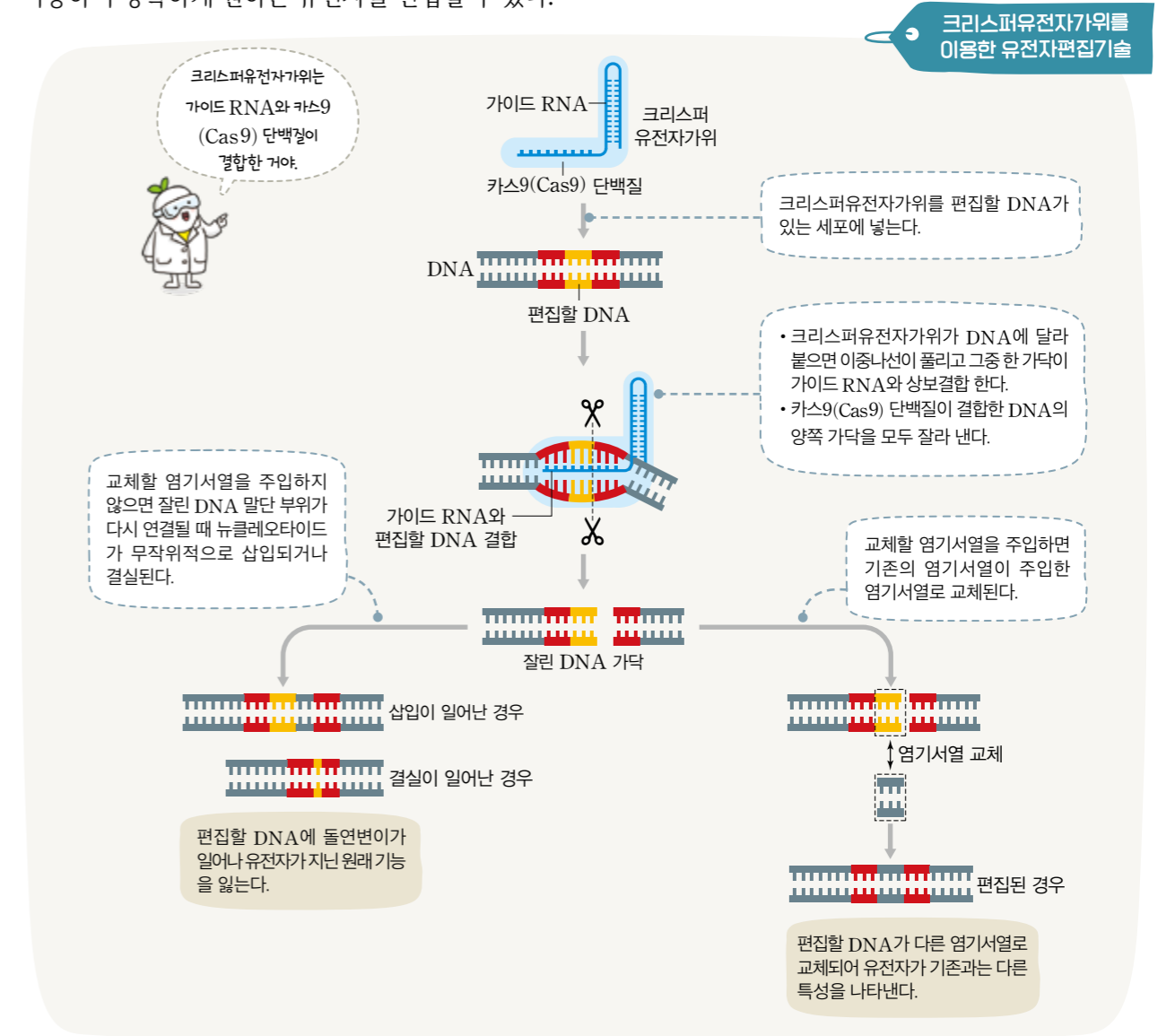
역분화줄기세포는 성체의 피부세포처럼 이미 분화가 끝난 체세포를 역분화시켜 얻을 수 있다. 역분화줄기세포는 배아줄기세포처럼 다양한 세포로 분화할 수 있으며, 환자 자신의 세포를 사용하므로 생명윤리 문제나 면역 거부 반응이 없다.

줄기세포를 특정한 세포로 분화시켜 손상된 조직이나 기관을 대체함으로써 관절염, 신경계 퇴행에 따른 치매와 파킨슨병, 심장 질환 같은 난치병을 치료할 수 있다.

유전자편집기술

원하는 유전자의 특정 부위를 제거하거나 변형하기도 하고, 이 부위를 다른 염기서열로 교체하는 등의 기술을 유전자편집기술이라고 한다. 유전자편집기술 중 만들기 쉽고 정교하며 효율이 높은 것은 크리스퍼유전자가위를 이용한 것이다. 크리스퍼유전자가위는 DNA의 특정 염기서열과 상보결합 하는 가이드 RNA를 이용하여 정확하게 원하는 유전자를 편집할 수 있다.

크리스퍼(CRISPR, clustered regularly interspaced short palindromic repeats)
세균에서 발견되는 규칙적으로 반복되는 염기서열이다.



크리스퍼유전자가위를 이용한 유전자편집기술을 활용하면 질병이나 돌연변이를 일으키는 유전자를 교체하여 암, 유전병 같은 난치병을 치료할 수 있다. 예를 들어 암세포에서 면역세포의 공격을 피하려고 발현되는 유전자의 기능을 없애 암을 치료할 수 있다. 또 태아 시기에 발현되는 정상 헤모글로빈 유전자를 낫모양적혈구 빈혈증 환자에게서 발현되게 하여 낫모양적혈구 빈혈증을 치료한다.

참고 세 종류의 줄기세포 중 하나를 골라 어떤 질병을 치료하는 데 활용하고 싶은지 이야기해 보자.



다음 탐구에서 단클론항체, 줄기세포, 유전자편집기술이 난치병 치료에 활용된 사례를 알아보고, 난치병 치료법의 전망을 토의해 보자.

탐구

조사, 협력적 소통

문제 해결 능력 | 의사 결정 능력

생명공학기술을 활용한 난치병 치료 사례 조사하기

목표 생명공학기술이 난치병 치료에 활용된 사례를 조사하고, 난치병 치료법의 전망을 토의할 수 있다.

과정 및 결과

다음은 난치병을 치료하는 데 활용되는 생명공학기술이다.

단클론항체

줄기세포

유전자편집기술

1. 모둠별로 생명공학기술을 하나씩 골라 보자.
2. 다음을 참고하여 고른 생명공학기술을 조사해 보자.

- 생명공학기술이 난치병 치료에 활용된 사례
- 생명공학기술을 활용한 치료법의 장단점
- 생명공학기술의 발전 가능성

3. 조사 내용을 보고서로 작성하여 발표해 보자.

준비물

- 스마트 기기
- 생명공학기술과 관련된 책

탐구 유의 사항

- 조사할 때에는 주제와 관련된 책이나 전문 기관에서 운영하는 누리집의 정보를 이용한다.
- 발표할 때에는 내용을 이해하기 쉽게 설명한다.
- 토의할 때에는 다른 사람의 의견을 주의 깊게 듣고, 자신의 생각을 조리 있게 이야기한다.

줄기세포를 이용한 난치병 치료 사례 보고서

()모둠

사례	역분화줄기세포를 이용하여 환자 맞춤형 줄기세포를 만들었다. 이 줄기세포를 활용하여 파킨슨병을 치료하는 임상 시험에 처음으로 성공했다. ∴
치료법의 장단점	역분화줄기세포를 이용하면 생명윤리 문제나 면역 거부 반응 없이 난치병을 치료할 수 있지만, 역분화줄기세포를 특정 세포로 분화시키기 어렵다. ∴
발전 가능성	앞으로 줄기세포를 이용한 난치병의 치료법이 더 발전한다면 치매 등 다양한 신경계 퇴행에 따른 질병을 치료할 수 있을 것이다. ∴
참고 문헌	○○일보 20○○년 ○월 ○일 기사

4. 생명공학기술을 활용한 난치병 치료법의 전망에 대해 토의해 보자.



정리

- 생명공학기술을 활용한 난치병 치료법의 전망에 대해 토의한 결과를 정리해 보자.



최근 생명공학기술을 활용해 세포나 조직을 재생하거나 유전자를 직접 편집하는 치료법이 제시되고 있다. 이 방법으로 더 많은 난치병을 치료할 수 있게 된다면 점차 기존의 치료법을 대체할 것이다. 그러나 세포와 유전자를 다루는 기술은 매우 어려우며, 치료 과정에서 암세포나 돌연변이가 생길 수도 있다. 생명공학기술을 활용해 난치병을 치료할 때에는 면역 거부 반응, 생명윤리 문제 등 여러 가지 문제가 생길 수 있으므로 치료 효과가 확실하고 안전성이 확보될 수 있도록 주의해야 한다.

스스로 확인하기

- 1 B림프구와 암세포를 융합하여 만든 잡종세포에서 얻은 한 종류의 항체를 () (이)라고 한다.
- 2 특정한 세포로 분화해 손상된 조직이나 기관을 대체할 수 있는 ()을/를 이용하면 치매, 관절염, 심장 질환 같은 난치병을 치료할 수 있다.
- 3 | 과학 역량 기르기 | 단클론항체, 줄기세포, 유전자편집기술 중 암을 일으키는 유전자의 발현을 억제하기 위해 활용할 수 있는 생명공학기술을 고르고, 그 생명공학기술을 고른 까닭을 설명해 보자.

스스로 평가하기

[지식·이해] 생명공학기술이 난치병 치료에 활용된 사례를 설명했는가? ☆☆☆

[과정·기능] 생명공학기술을 이용한 난치병 치료 사례를 조사하고, 난치병 치료법의 전망에 대해 협력적으로 소통했는가? ☆☆☆

[가치·태도] 생명공학기술이 난치병 치료에 활용되는 사례를 조사하면서 과학의 유용성을 인식했는가? ☆☆☆

디지털 탐색

바이오킴
(www.bioin.or.kr)
생명공학기술을 검색하여 난치병 치료에 활용되는 최신 생명공학기술을 찾아보자.



단원을 마치고 전에 학습 목표를 달성했는지 94 쪽 학습 목표에 ✓표 하여 스스로 점검해 보자.

03 생명공학기술 관련 학문 분야와 활용 사례

| 학습 목표 |

- 생명공학기술 관련 학문 분야가 우리 생활과 산업에 활용된 사례를 설명할 수 있다.



☞ 생명공학기술 관련 학문 분야와 활용 사례는 『통합과학2』의 '과학과 미래 사회' 단원과 연계된다.

생명공학기술은 의학, 농축산학, 법과학 등 다양한 학문 분야에 영향을 미치고 있으며, 인류가 직면한 질병, 식량, 환경 등의 문제를 해결하는 데 도움을 줄 것으로 기대하고 있다.

의학 분야에서는 세포와 유전자를 연구하여 합성신약, 바이오의약품, 바이오장기, 진단 시약 등을 생산하는 데 생명공학기술을 활용한다. 이를 활용한 예로 인공 합성 혈전용해제, 3D 바이오프린팅으로 만든 인공 장기 등이 있다.

농축산학 분야에서는 생태계를 보호하면서 안정적으로 식량 자원을 공급하기 위해 새로운 품종의 농작물이나 가축을 개발하는 데 생명공학기술을 활용한다. 이를 활용한 예로 갈변하지 않는 사과, 알러지 원인 물질을 줄인 우유 등이 있다.

☞ 생명공학기술이 의학, 농축산학, 법과학, 산업, 환경 분야에서 활용된 사례

의학 분야



▲ DNA 재조합기술을 활용해 인공 합성 혈전용해제 개발



▲ 3D 바이오프린팅을 활용해 인공 심장 제작

농축산학 분야

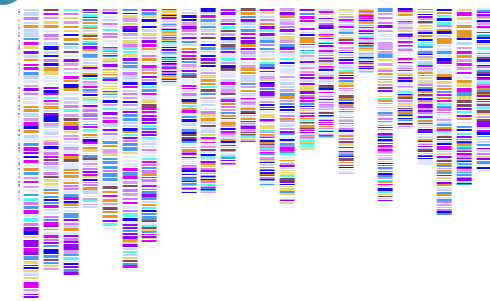


▲ DNA 재조합기술을 활용해 만든 갈변하지 않는 사과(위)와 일반 사과(아래)



▲ 유전자편집기술을 활용해 태어난 젖소에서 알러지 원인 물질을 줄인 우유 생산

법과학 분야



▲ 중합효소연쇄반응(PCR)을 활용한 DNA 지문 검사로 신원 확인

DNA 지문을 이용해 범인을 찾을 수 있어.

산업 분야



▲ 효소와 미생물을 활용한 생명공학기술로 옥수수가루를 이용해 포장용 완충재 생산



포장용 완충재

환경 분야



▲ 효소와 항체를 활용한 생명공학기술로 환경오염을 감지하는 바이오센서 개발



▲ DNA 재조합기술을 활용해 만든 세균으로 플라스틱 분해

법과학 분야에서는 신원 및 혈연관계 확인 등에 생명공학기술을 활용한다. 이를 활용한 예로 중합효소연쇄반응(PCR)을 이용한 *DNA 지문 검사를 과학 수사에 도입하면서 범죄 현장을 분석하고 범인을 식별하는 데 큰 성과를 올리고 있다.

생명공학기술은 의학, 농축산학, 법과학 등의 학문 분야뿐 아니라 일생생활과 산업, 환경 분야에서도 활용되고 있다.

산업 분야에서는 자원 고갈, 지구 온난화 등 환경의 변화에 대응하여 산업 소재와 친환경 에너지를 생산하는 데 생명공학기술을 활용한다. 이를 활용한 예로 곡류에서 추출한 물질로 만든 포장용 완충재, 과일과 채소 폐기물에서 추출한 바이오연료 등이 있다.

환경 분야에서는 환경오염을 예방하거나, 오염된 환경을 감지하고 정화하는 과정에 생명공학기술을 활용한다. 이를 활용한 예로 환경오염을 감지하는 바이오센서, 플라스틱을 분해하는 세균 등이 있다.

* DNA 지문
개인마다 서로 다른 특정 DNA 염기서열을 중합효소연쇄반응(PCR)으로 증폭한 뒤 분석한 형태

생명공학기술은 생물을 이용하는 거의 모든 학문 분야에서 활용되고 있다. 다음 탐구에서 생명공학기술이 활용된 사례를 알아보고, 그 사례에서 활용된 생명공학기술과 관련된 최신 학문 분야 및 새롭게 생긴 직업을 알아보자.

탐구

조사, 자료 분석

문제 해결 능력 | 의사 결정 능력

생명공학기술의 활용 사례 및 직업 조사하기

목표 생명공학기술의 활용 사례 및 이와 관련된 최신 학문 분야와 직업을 조사하여 창의적으로 설명 자료를 만들 수 있다.

과정 및 결과

1. 다음은 생명공학기술이 활용된 사례이다. 모둠별로 사례를 하나씩 고르고, 그 사례에서 생명공학기술이 어떻게 활용되었는지 조사해 보자.

준비물

- 스마트 기기
- 생명공학기술과 관련된 책

탐구 유의 사항

- 조사할 때에는 주제와 관련된 책이나 전문 기관에서 운영하는 누리집의 정보를 이용한다.
- 발표할 때에는 내용을 이해하기 쉽게 설명한다.



- 1에서 조사한 생명공학기술과 관련된 최신 학문 분야 및 직업을 조사해 보자.
3. 조사한 내용을 바탕으로 하여 설명 자료를 만들어 발표해 보자.
 - ① 설명 자료는 영상, 정보 그림 같은 시청각 설명 자료 제작 등 다양한 방법으로 만들 수 있다.



스스로 평가하기

| 지식·이해 | 생명공학기술의 활용 사례 및 이와 관련된 최신 학문 분야와 직업을 설명했는가? ☆☆☆

| 과정·기능 | 생명공학기술의 활용 사례에 따라 관련된 최신 학문 분야와 직업을 조사했는가? ☆☆☆

| 가치·태도 | 생명공학기술이 우리 생활과 산업에 활용된다는 점을 인식했는가? ☆☆☆

정리

1. 생명공학기술의 활용 사례 및 이와 관련된 최신 학문 분야와 직업을 정리해 보자.
2. **▶ 창의력** 생명공학기술과 관련된 직업 중 관심이 있는 직업을 고르고, 그 직업을 고른 까닭을 설명해 보자.

생명공학기술을 활용하여 개인의 유전적 특성을 분석해 개인에게 효과적인 치료제를 개발하게 되었고, 파란색 카네이션처럼 새로운 품종의 식물을 생산하게 되었다. 또 화석연료에 의존하지 않고 생물로부터 바이오연료 등의 유용한 물질을 대량 생산하게 되었으며, 개인 사이의 유전정보 차이를 이용하여 유해의 신원을 확인할 수 있게 되었다.

생명공학기술은 점차 더 많은 학문 분야에 활용되면서 이와 관련된 새로운 직업이 생기고 있다. 예를 들어 생명공학기술이 의학, 생물정보학과 결합해 각 질병을 일으키는 유전자를 알아내고 개인의 질병을 예측하는 맞춤의료학과 등이 생겼으며, 이에 따라 개인 맞춤형 의료 분야의 직업이 늘어날 것이다. 앞으로 생명공학기술이 발달하면서 이를 활용한 새로운 학문 분야와 직업이 다양해져 지금까지 해결하지 못했던 많은 문제들을 해결할 것으로 기대하고 있다.

*** 합성생물학**

현재까지 알려진 생명과학 지식을 바탕으로 하여 생물을 모방해 변형하거나 기존에는 없었던 생명체를 인공적으로 설계한 뒤 만들어 연구하는 학문

생명공학기술은 *합성생물학, 빅데이터, 인공지능(AI) 같은 최신 학문 분야와 융합해 매우 빠르게 발달하고 있다.

생명공학기술 덕분에 생물의 유전체 염기서열, 단백질의 구조 등 수많은 생명과학 빅데이터가 축적되었다. 이 빅데이터를 활용하여 연구하는 학문이 생물정보학이다. 생물정보학은 질병을 진단하고 치료하는 과정, 농산물을 생산하는 과정, 산업에서 제품을 완성하는 과정 등이 효율적으로 일어나게 한다.

의약학 분야에서는 생명공학기술과 정보 통신 기술이 융합해 신약을 빠르고 효과적으로 개발할 수 있게 되었다. 인공지능(AI)을 활용해 약물을 연구하면 과거에 비해 짧은 시간 내에 효과가 좋은 신약을 개발할 수 있을 것으로 기대한다.

다음 탐구에서 생명공학기술이 활용된 단백질 화합물 상호작용의 가상 실험을 통해 신약의 개발 과정을 알아보자.

탐구

실험, 자료 분석

준비물

- ☑ 스마트 기기

*** 분자 도킹**

단백질에 상호작용 하는 후보 화합물을 예측하려고 실행하는 컴퓨터를 이용한 가상 실험

단백질 화합물 상호작용 가상 실험하기

탐구 능력 | 문제 해결 능력

목표 생명공학기술이 활용된 단백질 화합물 상호작용의 가상 실험을 통해 최신 신약의 개발 과정을 체험할 수 있다.

과정 및 결과

1. **디지털** 브리랩은 누리집(www.vlabon.re.kr)에 접속한 뒤 생물 실험실에서 단백질 화합물 상호작용 실험을 실행해 보자.

스마트 기기로 QR 코드를 찍으면 누리집에 접속할 수 있어.



단백질 화합물 상호작용 실험에서는 10 종의 단백질 중 1 종을 고르고, 고른 단백질의 구조에 맞는 화합물 하나를 골라 *분자 도킹을 실행한다. 이를 통해 신약을 개발할 때 후보 물질을 선별하는 과정을 경험할 수 있다.



2. **단백질 선택** 실험을 시작하고 타깃 단백질 리스트에서 단백질을 골라 보자.
3. **화합물 선택** 화합물 리스트에서 신약 후보 물질로 적절한 화합물을 골라 보자.
4. **시뮬레이션** 분자 도킹 시뮬레이션을 실행해 보자.
 - ! 타깃 단백질의 활성부위에 화합물이 결합하는 시뮬레이션을 볼 수 있다.
5. **결과 확인** 3~4를 반복하여 에너지값이 일치하는 화합물을 찾아보자.



현재 에너지값이 목표 에너지값과 비슷할수록 타깃 단백질에 잘 결합하는 화합물이야.

스스로 평가하기

[지식·이해] 단백질 화합물 상호작용 실험을 신약 개발에 활용하면 좋은 점을 설명했는가? ☆☆☆

[과정·기능] 분자 도킹 가상 실험을 실행하여 고른 단백질과 가장 안정한 결합을 하는 화합물을 찾았는가? ☆☆☆

[가치·태도] 단백질 화합물 상호작용 실험을 통해 과학의 유용성을 체험했는가? ☆☆☆

6. 고른 단백질과, 이 단백질과 가장 안정한 결합을 하는 화합물을 써 보자.

정리

- 단백질 화합물 상호작용 실험을 신약 개발에 활용하면 좋은 점을 설명해 보자.

생명공학기술이 최신 학문 분야와 융합하면 효율적으로 신약을 개발할 수 있으며, 질병을 빠르게 진단하고 치료할 수 있어 인류의 건강과 복지 향상에 기여할 것이다.

스스로 확인하기

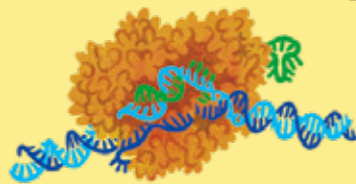
1. 같변하지 않는 사과를 생산하는 과정에 활용된 생명공학기술은 어느 학문 분야에 영향을 미친 것인지 써 보자.
2. 의약학 분야에서는 생명공학기술과 ()이 융합해 신약을 빠르고 효과적으로 개발할 수 있게 되었다.
3. **과학 역량 기르기** 지구 온난화를 막으려면 대기 중의 이산화 탄소 농도를 낮춰야 한다. 이 과정에서 생명공학기술을 어떻게 활용할 수 있을지 설명해 보자.

단원을 마치기 전에 학습 목표를 달성했는지 100 쪽 학습 목표에 ✓ 표 하여 스스로 점검해 보자.

크리스퍼 유전자가위의 작동 원리를 밝힌 과학자

크리스퍼는 세균의 DNA에 일반적으로 있는 규칙적이고 반복적인 염기 서열이다. 여러 연구를 통해 크리스퍼가 세균을 공격하는 바이러스에 내성을 갖게 한다는 사실이 밝혀졌다. 세균이 바이러스에 감염되면 대부분의 세균은 죽지만 일부는 살아남아 바이러스의 DNA 일부를 잘라 자신의 유전체에 삽입하는데, 이 부분이 크리스퍼이다. 크리스퍼는 RNA로 전사되고, 잘게 조각난 뒤 카스9(Cas9) 단백질과 결합해 크리스퍼 RNA-카스9 복합체를 형성한다. 바이러스가 세균에 재침입하면 크리스퍼 RNA-카스9 복합체가 바이러스의 염기서열을 인식하여 결합한 뒤 잘라 세균 자신을 보호한다.

샤르팡티에(Charpentier, E. M., 1968~)는 세균이 자신에게 침입한 바이러스의 염기서열을 인식해 자르는 과정에서 표적 염기서열을 인식하는 크리스퍼 RNA 외에도 카스9(Cas9) 단백질을 불러오는 RNA가 있다는 사실을 처음으로 알아냈다. 샤르팡티에는 다우드나(Doudna, J. A., 1964~)와 공동 연구를 시작해 두 RNA 분자를 하나로 통합한 가이드 RNA와 가위 역할을 하는 효소인 카스9(Cas9) 단백질을 이용하는 크리스퍼 유전자가위를 재설계했다. 이들은 크리스퍼유전자가위의 작동 원리를 밝히고 새로운 유전체의 교정 기법을 개발한 성과를 인정받아 2020년에 노벨상을 받았다.



◀ 샤르팡티에와 다우드나

생각 펼치기

유전자가위로 어떤 난치병을 치료하는 데 활용하고 싶은지 설명해 보자.



탐구 능력

중단원 마무리

1. 생명공학기술의 발달과 활용

01 생명공학기술의 발달

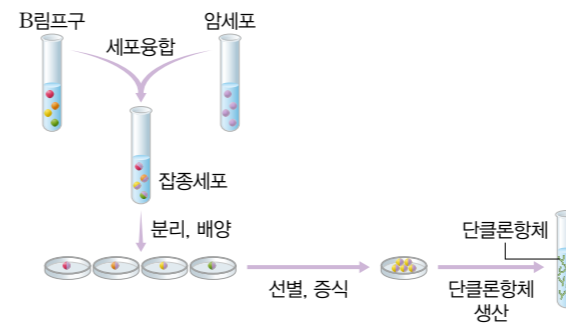
91 쪽~93 쪽

1. ① : 생물의 기능과 특성을 이용해 사람에게 필요한 물질을 생산하거나 질병을 치료하는 데 활용하는 기술이다.
2. 생명공학기술의 발달: 생명공학기술은 오래전부터 발전해 왔으며, ② 분자 구조를 밝힌 뒤 DNA를 이용하는 기술이 개발되면서 다양한 생물의 유전체 염기서열을 알아냈다. 이후 유전체 염기서열을 이용하는 기술이 개발되는 등 생명공학기술은 계속 발달하고 있다.

02 난치병 치료에 활용하는 생명공학기술

94 쪽~99 쪽

1. ③ : B림프구와 암세포를 융합하여 만든 잡종 세포에서 얻은 한 종류의 항체이다.



▲ 단클론항체의 생산 과정

- 암 치료, 질병 진단, 진단 시약 등에 활용한다.
2. 줄기세포: 몸을 구성하는 여러 종류의 세포로 분화할 수 있는 능력을 갖춘 세포이다.

스스로 평가하기

이 단원에서 학습한 내용을 확인하고 스스로 평가해 봅시다.

우수 보통 미흡

지식-이해	생명공학기술 발달 과정에서의 주요 사건을 설명했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	단클론항체, 줄기세포, 유전자편집기술이 난치병 치료에 활용됨을 설명했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
과정-기능	생명공학기술이 난치병 치료에 활용된 사례를 조사하고, 난치병 치료법의 전망을 토의했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	생명공학기술 관련 학문 분야가 우리 생활과 산업에 활용된 사례를 조사했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
가치-태도	난치병 치료에 생명공학기술이 유용하게 이용되고 있음을 인식했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	생명공학기술이 우리 생활과 산업에 활용되어 인류 발전에 기여함을 경험했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

평가 결과가 아쉽다면 '1. 생명공학기술의 발달과 활용'을 다시 한번 학습해 봅시다.

④	기관이 형성되기 전 발생 초기 배아에서 얻으며, 우리 몸을 구성하는 모든 세포와 조직으로 분화할 수 있다.
성체줄기세포	성체의 골수, 땀줄의 혈액 등에서 얻으며, 일부 세포로만 분화할 수 있다.
역분화줄기세포	성체의 체세포를 역분화시켜 얻으며, 다양한 세포로 분화할 수 있다.

3. 유전자편집기술: 원하는 유전자의 특정 부위를 제거하거나 변형하기도 하고, 이 부위를 다른 염기서열로 교체하는 등의 기술이다.
 - ⑤ 은/는 DNA의 특정 염기서열과 상보결합하는 가이드 RNA를 이용하여 정확하게 원하는 유전자를 편집할 수 있다.

03 생명공학기술 관련 학문 분야와 활용 사례

100 쪽~105 쪽

의약학 분야	합성신약, 바이오장기, 진단 시약 등을 생산하는 데 생명공학기술을 활용한다.
농축산학 분야	새로운 품종의 농작물이나 가축을 개발하는 데 생명공학기술을 활용한다.
⑥ 분야	신원 및 혈연관계 확인 등에 생명공학기술을 활용한다.
산업 분야	자원 고갈, 지구 온난화 등 환경의 변화에 대응하여 산업 소재, 친환경 에너지를 생산하는 데 생명공학기술을 활용한다.
환경 분야	환경오염을 예방하거나, 오염된 환경을 감지하고 정화하는 과정에 생명공학기술을 활용한다.

2

생명공학기술의 영향과 생명윤리

- 01 유전자변형생물체(LMO)의 특징과 영향
- 02 생명공학기술과 생명윤리

동물 실험을 통해 제품의 안전성을 확인하기도 하지만, 최근에는 동물 실험을 하지 않는 기업이 늘어나고 있다.

들어다보기 제품의 안전성을 확인할 때 동물 실험을 하지 않는 기업이 늘고 있는 까닭은 무엇일까?

생각해 보기 생물을 대상으로 생명공학기술을 활용할 때 고려해야 할 점은 무엇일까?



학습할 내용을 알아보고, 스스로 학습 계획을 세워 봅시다.

이전 학습 내용

알고 있는 단어에 ✓ 표 해 보자.

- 생명공학기술
- 줄기세포
- 유전자편집기술

지식·이해

- 유전자변형생물체(LMO)가 사람과 생태계에 미치는 영향을 설명할 수 있다.
- 생명공학기술의 활용 과정에서 나타나는 문제점과 이에 대한 사회적 책임을 인식하고 생명윤리 쟁점을 설명할 수 있다.

이 단원의 학습 내용

과정·기능

- 유전자변형생물체(LMO)가 사람과 생태계에 미치는 영향을 추론할 수 있다.
- 생명공학기술의 활용이 미래 사회에 미칠 영향을 알고, 생명윤리 쟁점에 대해 의사 결정할 수 있다.

가치·태도

- 유전자변형생물체(LMO)가 사람과 생태계에 영향을 미치는 다양한 측면을 인식할 수 있다.
- 생명공학기술의 활용 과정에서 나타나는 생명윤리 문제로부터 생명의 소중함을 깨달을 수 있다.

나의 학습 계획

나는 이 단원에서 _____ 을/를 알고 싶다.

01

유전자변형생물체(LMO)의 특징과 영향

| 학습 목표 |

- 유전자변형생물체(LMO)의 특징을 설명할 수 있다.
- 유전자변형생물체(LMO)가 사람과 생태계에 미치는 영향을 설명할 수 있다.



DNA 재조합기술 같은 생명공학기술을 이용하여 새롭게 조합된 유전자를 가진 생물을 유전자변형생물체(LMO)라고 한다. 기존의 농작물이나 가축보다 생산량, 품질 등을 높인 유전자변형생물체(LMO)는 식량, 의약, 환경, 에너지 등 다양한 분야에 활용되고 있다.

유전자변형생물체(LMO)의 예로는 해충 저항성 목화, 제초제 내성 콩 같은 유전자 변형작물이 있으며, 사람의 성장호르몬을 생산하는 대장균, 형광 물질을 가지고 있어 형광을 띠는 물고기, 카드뮴이나 납 등 토양 속의 중금속을 흡수하는 식물인 포플러, 성장호르몬을 과다하게 발현하여 빠르게 성장하는 연어 등이 있다.

오개념 바로잡기

유전자변형생물체(LMO)와 유전자변형생물(GMO)은 어떻게 다를까?

유전자변형생물체(LMO)는 성장과 번식을 하는 생물 그 자체이다. 유전자변형생물(GMO)은 유전자변형생물체(LMO)뿐 아니라 유전자변형생물체(LMO)를 원료로 이용한 식품이나 가공물까지 모두 포함한다.



▲ 해충 저항성 목화



▲ 사람의 성장호르몬을 생산하는 대장균



▲ 형광을 띠는 물고기



▲ 토양 속의 중금속을 흡수하는 포플러



▲ 빠르게 성장하는 연어

그림 Ⅲ-5 여러 가지 유전자변형생물체(LMO)

▼ 제초제 내성 콩

유전자변형생물체(LMO)는 화석연료를 대체할 수 있는 수소나 바이오연료 같은 에너지를 생산하는 데에도 활용되고 있다. 다음 탐구에서 유전자변형생물체(LMO)가 사람과 생태계에 어떤 영향을 미치는지 알아보자.

탐구

● 조사, 추론

문제 해결 능력 | 의사 결정 능력

유전자변형생물체(LMO)가 사람과 생태계에 미치는 영향 추론하기

목표 유전자변형생물체(LMO)가 사람과 생태계에 미치는 영향을 추론할 수 있다.

과정 및 결과

다음은 유전자변형생물체(LMO)의 예이다.



해충 저항성 옥수수(위)와 일반 옥수수(아래)가 해충 피해를 입은 모습이다.



유기물 분해 세균(왼쪽)과 일반 세균(오른쪽)을 독성 유기물이 들어 있는 물질에 넣었을 때의 모습이다.

준비물

- ☑ 스마트 기기
- ☑ 유전자변형생물체(LMO)와 관련된 책

탐구 유의 사항

토의할 때에는 다른 사람의 의견을 주의 깊게 듣고, 자신의 생각을 조리 있게 이야기한다.

해충 저항성 옥수수를 재배했다면 옥수수의 수확량은 늘고 제초제나 살충제의 사용량은 줄었다.

1. 위 유전자변형생물체(LMO)에 대해 조사해 보자.
2. 조사한 내용을 바탕으로 하여 유전자변형생물체(LMO)가 사람과 생태계에 미치는 영향을 토의하여 추론해 보자.

해충 저항성 옥수수에서 배출된 살충제 성분이 토양으로 흘러나와 해충이 아닌 다른 곤충에게 피해를 줄 수 있다.



정리

1. 유전자변형생물체(LMO)가 사람과 생태계에 미치는 영향을 정리해 보자.
2. **사고력** 유전자변형생물체(LMO)를 원료로 이용했다는 표시가 있는 식품을 살 것인지 여부를 쓰고, 그렇게 판단한 까닭을 설명해 보자.

유전자변형생물체(LMO)를 이용하여 생산성이 높은 농작물을 개발해 식량 문제를 해결할 수도 있고, 오염 물질을 분해하는 세균을 개발해 환경오염을 줄일 수도 있다. 하지만 해충 저항성 농작물의 경우 해충이 아닌 다른 곤충에게 피해를 입힐 수도 있고, 오염 물질을 분해하는 세균의 경우 도입된 유전자가 다른 생물로 이동해 생태계에 부정적인 영향을 미칠 수도 있다. 유전자변형생물체(LMO)를 개발하고 활용하는 과정에서 우리 생활과 생태계에 어떤 영향을 미칠지 여러 가지 우려가 제기되고 있으므로 안전성 여부를 철저히 관리해야 한다.

스스로 평가하기

- | 지식·이해 | 유전자변형생물체(LMO)가 사람과 생태계에 미치는 영향을 설명했는가? ☆☆☆
- | 과정·기능 | 유전자변형생물체(LMO)가 사람과 생태계에 미치는 영향을 토의하여 추론했는가? ☆☆☆
- | 가치·태도 | 유전자변형생물체(LMO)가 사람과 생태계에 미치는 영향을 추론할 때 과학적으로 사고했는가? ☆☆☆

참의 사고 유전자변형생물체(LMO)를 안전하게 개발하고 활용하기 위한 표어를 만들어 보자.

과학·기술·사회

자료실 유전자변형생물체(LMO)의 안전성 확보를 위한 노력

유전자변형생물체(LMO)가 국가 사이에서 이동할 때 안전성을 확보하려고 제안된 국제 협약에는 「바이오 안전성에 대한 카르타헤나 의정서」가 있다. 이 의정서에는 유전자변형농산물을 안전하게 거래하고 이용해야 한다는 내용이 있다.

우리나라에서도 유전자조작을 거친 생물, 식품, 의약품 등의 개발·생산·수입·수출·유통 등에 대한 안전성을 지키려고 「유전자변형생물체(LMO)의 국가 간 이동 등에 관한 법률」을 제정했다. 이 법률에 따라 수입하는 품목은 반드시 용도에 따른 위해성 평가를 받아야 한다. 또 유전자변형생물체(LMO)를 원료로 이용한 식품은 반드시 표시해야 한다.



▲ 유전자변형생물체(LMO) 표시

스스로 확인하기

- 1 DNA 재조합기술 같은 생명공학기술을 이용하여 새롭게 조합된 유전자를 가진 생물을 ()이라고 한다.
- 2 | 과학 역량 기르기 | 종 내에서 선택적 교배를 통해 만들어진 생물과 유전자변형생물체(LMO)의 차이점을 설명해 보자.

단원을 마치기 전에 학습 목표를 달성했는지 109 쪽 학습 목표에 ✓ 표시하여 스스로 점검해 보자.

02

생명공학기술과 생명윤리

| 학습 목표 |

- 생명공학기술의 활용 과정에서 나타나는 문제점과 이에 대한 사회적 책임을 설명할 수 있다.
- 생명공학기술과 관련된 생명윤리 쟁점을 설명할 수 있다.



생명공학기술과 생명윤리는 '생명과학'의 '생명의 연속성과 다양성' 단원과 연계된다.

생명공학기술의 발달로 암, 유전병 같은 난치병 치료, 유전자변형생물체(LMO)를 이용한 의약품의 대량 생산과 식량 자원의 개발, 환경 및 에너지와 관련된 문제 해결 등 인류의 다양한 문제를 해결할 수 있게 되었다. 하지만 생명공학기술을 활용하는 과정에서 그림 Ⅲ-6과 같이 생태적, 윤리적, 제도적, 사회적으로 여러 가지 문제점이 발생하기도 한다.



제조제를 뿌린 곳에서는 제조제 내성 유전자를 가진 슈퍼 잡초가 옥수수와의 경쟁에서 이겨 개체수가 늘어날 수 있다.



사람의 배아로부터 줄기세포를 얻어 이식용 장기를 생산하는 것은 생명을 경시하고 존엄성을 훼손한다는 비판을 받는다.



특정 생물이나 유전자를 사용할 권리를 소수 기업이 독점하게 되면 개발된 품종이나 유전자의 사용에 대한 법적 분쟁이 발생할 수 있다.



유전자변형생물체(LMO)를 개발하고 활용하는데 찬성하는 사람들과 반대하는 사람들의 갈등이 심화될 수 있다.

그림 Ⅲ-6 생명공학기술의 활용 과정에서 나타나는 문제점

다음 탐구에서 생명공학기술을 활용하는 과정에서 나타나는 문제점과 생명공학기술이 미래 사회에 미칠 영향을 알아보고, 생명윤리 쟁점에 대해 토론해 보자.

탐구

생명공학기술 활용 과정에서의 문제점 인식 및 생명윤리 쟁점에 대해 의사 결정 하기

조사, 협력적 소통 **목표** 생명공학기술의 활용이 미래 사회에 미칠 영향을 알고, 생명윤리 쟁점에 대해 자신의 의사를 합리적으로 결정할 수 있다.

과정 및 결과

다음은 장기 이식 및 동물의 유전자편집기술과 관련된 자료이다.

자료 1

우리나라의 경우 국립장기조직혈액관리원에서 2022년 12월에 발표한 장기 이식과 관련된 통계 자료를 보면 장기 이식을 기다리는 국내 환자는 4만 명이 넘고, 장기 이식을 기다리는 사람의 평균 대기 기간은 약 3년 5개월이라고 한다. 매년 이식받을 장기를 기다리는 환자는 증가하고 있지만, 이식할 수 있는 장기는 많이 부족한 상황이다.

(출처: 국립장기조직혈액관리원, 2022.)

자료 2

미국의 한 연구진이 면역 거부 반응 없이 돼지의 콩팥을 사람에게 이식하는 실험에 처음으로 성공했다. 사람에게 장기를 공여한 돼지의 이식과 관련된 유전자는 유전자편집기술로 교정했으며, 이 과정에서 면역 거부 반응 물질이 제거되었다고 한다. 이 연구를 통해 사람에게 이식할 수 있는 장기가 부족한 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대하고 있다.



▲ 면역 거부 반응 물질이 제거된 장기이식용 돼지

(출처: 『한겨레』, 2021. 10. 21.)

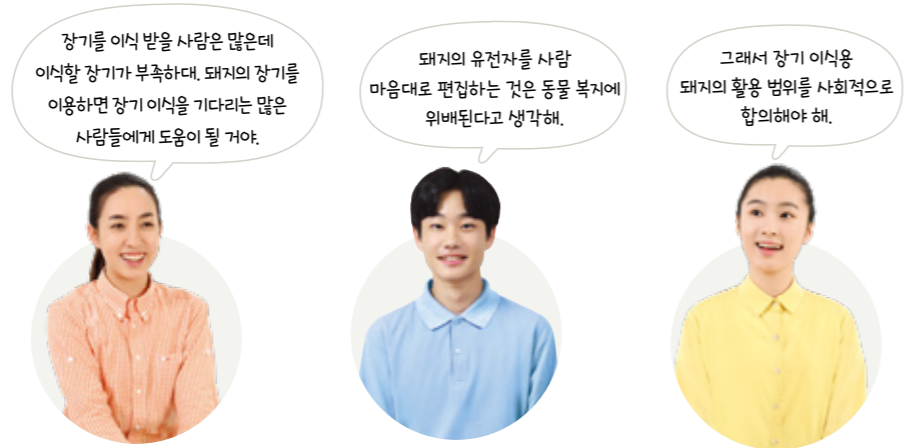
1. 모둠별로 장기 이식용 돼지 같은 유전자변형생물체(LMO)를 생명공학기술을 활용하여 만드는 과정에서 나타나는 생태적, 윤리적, 제도적, 사회적 문제점을 조사해 보자.
2. 조사한 내용을 바탕으로 하여 생명공학기술이 미래 사회에 미칠 영향을 예측하여 발표해 보자.
3. 생명공학기술을 활용하는 과정에서 가져야 할 *과학기술의 사회적 책임에 대해 토의해 보자.
4. 생명공학기술을 활용하여 장기 이식용 돼지를 만드는 것을 찬성하는지 반대하는지 나의 입장을 정리해 보자.

- 준비물**
- ☑ 스마트 기기
 - ☑ 생명공학기술의 활용과 관련된 책

- 탐구 유의 사항**
- 조사할 때에는 주제와 관련된 책이나 전문 기관에서 운영하는 누리집의 정보를 이용한다.
 - 토의할 때에는 다른 사람의 의견을 주의 깊게 듣고, 자신의 생각을 조리 있게 이야기한다.

*** 과학기술의 사회적 책임**
과학기술의 사회적 영향 및 부작용을 고려하여 과학기술이 사회에 바람직한 영향을 미칠 수 있도록 노력할 책임

5. 4에서 정한 입장을 바탕으로 하여 생명윤리 쟁점에 대해 토론해 보자.



스스로 평가하기

| 지식·이해 | 생명공학기술의 활용 과정에서 나타나는 문제점 및 사회적 책임, 생명윤리 쟁점을 설명했는가? ☆☆☆

| 과정·기능 | 토론 과정에서 생명윤리 쟁점에 대한 자신의 입장을 합리적으로 결정했는가? ☆☆☆

| 가치·태도 | 생명윤리 쟁점에 대해 적극적으로 해결하려는 태도를 지녔는가? ☆☆☆

정리

1. 생명공학기술을 활용하는 과정에서 가져야 할 과학기술의 사회적 책임을 이야기해 보자.
2. 생명윤리 측면에서 장기 이식용 돼지를 만드는 것에 대한 나의 생각을 정리해 보자.

생명공학기술이 발달하면서 우리에게 미치는 긍정적인 영향과 더불어 생명공학기술을 활용하는 과정에서 나타나는 생태적, 윤리적, 제도적, 사회적 문제점을 인식하며, 생명공학기술이 올바르게 활용되는지 관심을 가지고 지켜봐야 한다. 또 국가와 사회는 연구 범위와 생명윤리를 규정하는 제도적 장치를 마련하여 생명공학기술의 활용 범위를 계속 관리해야 할 책임이 있다.

우리는 생명공학기술이 가져다줄 경제적 이익, 생명공학기술을 연구하고 개발하는 과정에서 생길 수 있는 여러 가지 문제에 대한 생명윤리 쟁점을 고려하여 합리적으로 판단할 수 있는 능력을 갖추어야 한다.

스스로 확인하기

- 1 제초제 내성 유전자를 가진 슈퍼 잡초가 생태계평형을 깨뜨리는 것은 생명공학기술을 활용하는 과정에서 나타나는 () 문제점과 관련이 있다.
- 2 | 과학 역량 기르기 | 생명공학기술을 활용하는 과정에서 생명윤리를 지키려면 어떤 노력을 해야 할지 설명해 보자.

단원을 마치기 전에
학습 목표를 달성했는지 112 쪽 학습 목표에 ✓ 표하여 스스로 점검해 보자.

한국생명공학연구원
연구원
찾아가기

1985년에 설립된 한국생명공학연구원은 생명과학 분야의 연구 기관이다. 한국생명공학연구원에서는 여러 분야의 연구원이 첨단 장비와 시설을 이용하여 생명과학 분야를 연구해 생명공학기술과 바이오산업의 발전을 이끌고 있다.

한국생명공학연구원에서는 여러 연구실에서 진행되는 다양한 연구를 살펴보고 체험할 수 있다. 리틀 생명공학자와 바이오 두드림 교실 등 과학 체험 프로그램에도 참여할 수 있다. 리틀 생명공학자는 바이오 과학 체험 및 실습, 연구소를 견학하는 과정으로, 바이오 두드림 교실은 만들기와 실험 등의 과정으로 구성되어 있다. 또 노화, 감염병, 줄기세포 등을 주제로 강연을 하거나, 생명과학이나 청소년의 진로 등 다양한 주제로 강연을 하는 프로그램도 있다.

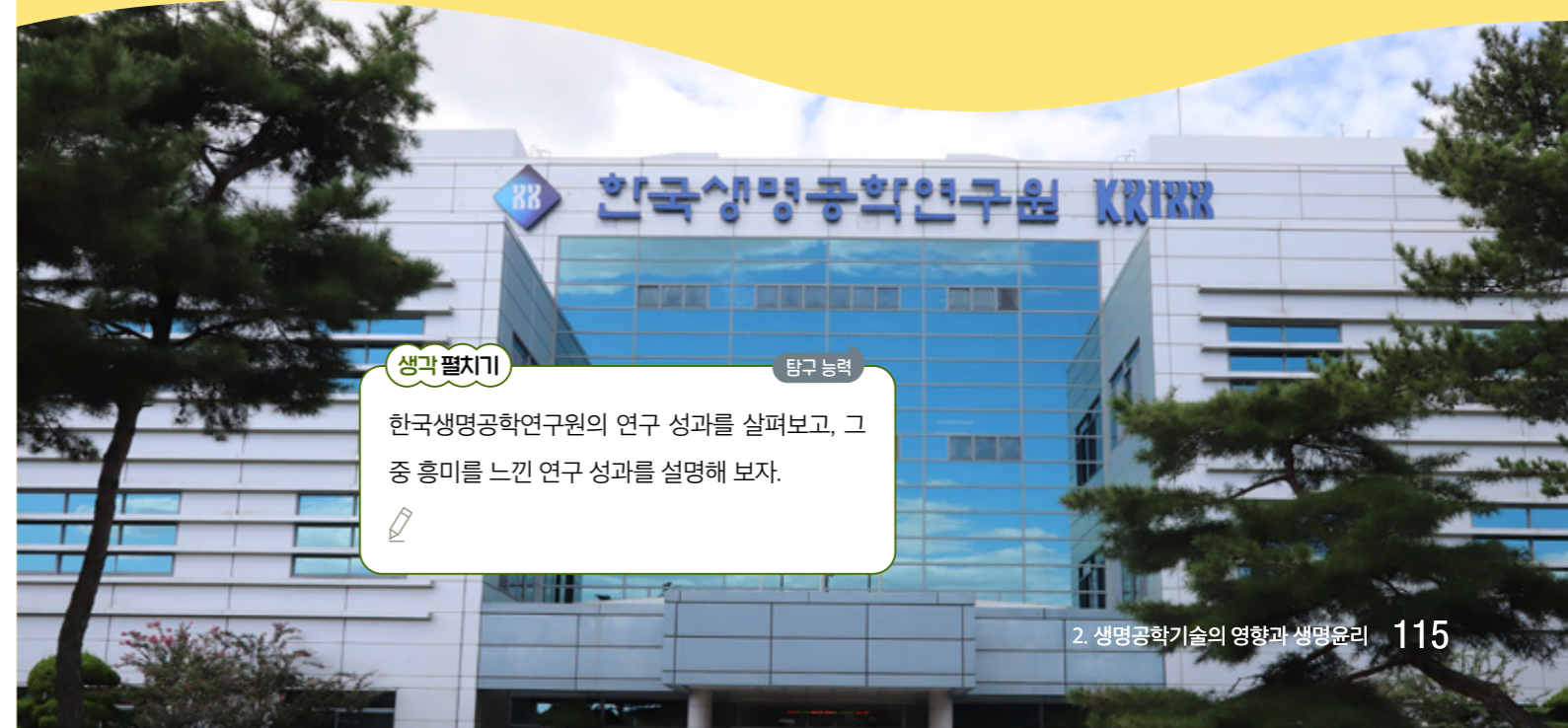


▲ 과학 체험 및 실습



▲ 과학 강연 모습

생각 펼치기 탐구 능력
한국생명공학연구원의 연구 성과를 살펴보고, 그 중 흥미를 느낀 연구 성과를 설명해 보자.



식품융합엔지니어

기후 변화와 생태계 파괴로 환경이 빠르게 변화하면서 미래에는 식량이 부족할 것이라고 한다. 여러 국가에서는 미래의 식량 부족 문제를 대비하여 생명공학기술을 활용해 식재료를 개발하고 있다. 식품융합엔지니어는 인체에 해롭지 않고 새로운 형태와 기능을 지닌 식재료를 개발하는 데 중요한 역할을 한다.

식품융합엔지니어는 어떤 일을 하나요?

식품융합엔지니어는 생명공학기술을 활용하여 새로운 식재료를 개발합니다. 또 병충해에 강하고 변화하는 기후에 잘 적응하며 생산성이 높은 농작물을 만드는 방법을 연구합니다. 식재료에 포함된 위험 물질을 제거하거나 농작물의 재배 시간과 과정을 단축하기 위한 기술을 개발하기도 합니다. 식품융합엔지니어는 주로 식품 제조 회사, 연구소 등에서 일할 수 있습니다.

식품융합엔지니어가 되려면 어떻게 준비하나요?

식품융합엔지니어가 되려면 생명과학, 유전학, 식품영양학 등을 전공해야 합니다. 식품융합엔지니어는 새로운 식재료를 개발하는 과정에서 발생하는 여러 문제들을 논리적으로 해결할 수 있어야 합니다. 또 농작물을 재배하면서 일어나는 변화를 세심히 관찰해야 하며, 개발 과정에 참여하는 다양한 분야의 사람들과 협력할 수 있도록 의사소통 능력을 길러야 합니다.



생각 펼치기

내가 식품융합엔지니어가 되어 개발하고 싶은 식재료를 고안해 보자.

탐구 능력



커리어넷(www.career.go.kr)
식품융합엔지니어와 관련된 정보를 찾아보자.



중단원 마무리

2. 생명공학기술의 영향과 생명윤리

01 유전자변형생물체(LMO)의 특징과 영향

109 쪽~111 쪽

1. ① : DNA 재조합기술 같은 생명공학기술을 이용하여 새롭게 조합된 유전자를 가진 생물이다.

2. 유전자변형생물체(LMO)의 개발과 활용

식량 자원 개발	생산성이 높고 품질이 좋은 농수산물을 만들어 식량 자원을 개발하는 데 유전자변형생물체(LMO)가 활용된다. 예) 제초제 내성 콩, 빠르게 성장하는 연어
② 생산	의학적으로 유용한 물질을 대량으로 생산하는 생물을 개발하는 데 유전자변형생물체(LMO)가 활용된다. 예) 사람의 성장호르몬을 생산하는 대장균
환경 정화	오염 물질을 분해하는 생물을 개발하는 데 유전자변형생물체(LMO)가 활용된다. 예) 토양 속의 중금속을 흡수하는 포플러
에너지 생산	화석연료를 대체할 수 있는 수소나 친환경 에너지를 생산하는 데 유전자변형생물체(LMO)가 활용된다. 예) 바이오연료

3. 유전자변형생물체(LMO)가 사람과 생태계에 미치는 영향

- 해충 저항성 옥수수는 병충해에 강하고 수확량이 많다. 오염 물질을 분해하는 세균은 환경오염을 줄인다.
- 해충 저항성 옥수수의 살충제 성분이 토양으로 흘러들어 해충이 아닌 다른 곤충에게 피해를 입힐 수 있다. 오염 물질을 분해하는 세균에 도입된 유전자가 다른 생물로 이동하여 생태계에 부정적인 영향을 미칠 수 있다.

스스로 평가하기

이 단원에서 학습한 내용을 확인하고 스스로 평가해 봅시다.

	우수	보통	미흡
지식·이해 유전자변형생물체(LMO)가 사람과 생태계에 미치는 영향을 설명했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
생명공학기술의 활용 과정에서 나타나는 문제점과 이에 대한 사회적 책임을 인식하고 생명윤리 쟁점을 설명했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
과정·기능 유전자변형생물체(LMO)가 사람과 생태계에 미치는 영향을 추론했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
생명공학기술의 활용이 미래 사회에 미칠 영향을 알고, 생명윤리 쟁점에 대해 의사 결정을 했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
가치·태도 유전자변형생물체(LMO)가 사람과 생태계에 영향을 미치는 다양한 측면을 인식했는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
생명공학기술의 활용 과정에서 나타나는 생명윤리 문제로부터 생명의 소중함을 깨달았는가?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

평가 결과가 어렵다면 '2. 생명공학기술의 영향과 생명윤리'를 다시 한번 학습해 봅시다.

02 생명공학기술과 생명윤리

112 쪽~114 쪽

1. 생명공학기술의 활용 과정에서 나타나는 문제점

③ 문제점	④ 문제점
제초제를 뿌린 곳에서는 제초제 내성 유전자를 가진 슈퍼 잡초가 옥수수와의 경쟁에서 이겨 개체수가 늘어날 수 있다.	사람의 배아로부터 줄기세포를 얻어 이식용 장기를 생산하는 것은 생명을 경시하고 존엄성을 훼손한다는 비판을 받는다.
제도적 문제점	사회적 문제점
생명공학기술로 개발된 품종이나 유전자의 사용에 대한 법적 분쟁이 발생한다.	유전자변형생물체(LMO)를 개발하고 활용하는 데 갈등이 심화될 수 있다.

2. 생명공학기술 관련 사회적 책임과 생명윤리

- 국가와 사회는 생명공학기술의 활용 범위를 계속 관리해야 할 책임이 있다.
- 생명공학기술이 가져다줄 경제적 이익, 생명공학기술을 연구하고 개발하는 과정에서 생길 수 있는 여러 가지 문제에 대한 ⑤ 쟁점을 고려하여 합리적으로 판단할 수 있는 능력을 갖추어야 한다.

유전자 변형식품을 소비하고 유통할 때의 원칙 토의하기

농작물의 유전자를 변형하는 것은 병충해에 강하고 영양소가 풍부한 식품을 개발하기 위해 시작되었다. 하지만 많은 문제가 발생하면서 황금쌀 같은 유전자변형식품을 먹을 것인지에 대한 논쟁이 계속되고 있다.



황금쌀을 포함한 유전자변형식품의 사용에 대한 나의 생각을 정리하고, 유전자변형식품을 소비하고 유통할 때의 원칙을 토의해 보자.

1 생각열기

• 다음을 참고하여 황금쌀의 사용에 대한 나의 생각을 정리해 보자.

황금쌀의 사용 찬성 측 의견

여러 저개발국의 어린이와 임산부가 바이타민 A의 심각한 결핍으로 시각을 잃기도 한다. 이런 문제는 체내에서 바이타민 A로 전환되는 물질이 들어 있는 황금쌀을 보급하여 해결할 수 있을 것이다.

황금쌀의 사용 반대 측 의견

유전자변형생물체(LMO)가 사람과 생태계에 미치는 부작용이 과학적으로 명확하게 드러나지 않았으며, 황금쌀을 개발한 기업에 의해 저개발국의 농가가 황폐화될 가능성이 있다.

2 토의하기

• 황금쌀을 포함한 유전자변형식품이 우리 생활과 생태계에 미치는 영향을 고려하여 유전자변형식품을 올바르게 소비하고 유통하기 위한 원칙을 토의해 보자.

3 평가하기

• 다음 표를 활용하여 우리 모둠의 토의 과정을 평가해 보자.

평가 내용	우수	보통	미흡
지식·이해 황금쌀의 긍정적인 측면과 부정적인 측면을 설명했는가?			
과정·기능 토의 과정에서 자신의 의사를 합리적으로 결정했는가?			
가치·태도 유전자변형식품이 우리 생활과 생태계에 많은 영향을 미친다는 것을 인식했는가?			

대단원 마무리

1. 생명공학기술의 발달과 활용 90 쪽

01 표는 생명공학기술 (가)와 (나)의 특징을 나타낸 것이다. (가)와 (나)는 DNA 재조합기술과 중합효소연쇄반응(PCR)을 순서 없이 나타낸 것이다.

구분	특징
(가)	DNA의 ㉠ 특정 부분을 선택적으로 빠르게 증폭하는 기술이다.
(나)	최초로 사람의 인슐린을 대장균에서 생산하는 과정에 활용된 기술이다.

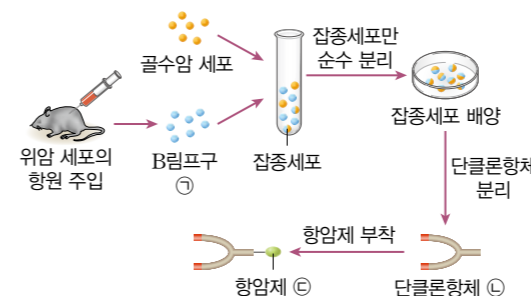
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㉠. ㉠을 증폭하기 위해 프라이머가 필요하다.
 - ㉡. (가)는 DNA 재조합기술이다.
 - ㉢. (나)를 활용해 성장호르몬 같은 치료용 단백질을 합성할 수 있다.

- ① ㉠
- ② ㉡
- ③ ㉠, ㉢
- ④ ㉡, ㉢
- ⑤ ㉠, ㉡, ㉢

1. 생명공학기술의 발달과 활용 90 쪽

02 그림은 암 치료를 위한 단클론항체를 만드는 과정을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㉠. B림프구 ㉠은 모두 같은 항체를 생산한다.
 - ㉡. 단클론항체 ㉡은 정상 세포에는 결합하지 않아야 한다.
 - ㉢. 항암제 ㉢이 골수암을 치료한다.

- ① ㉠
- ② ㉡
- ③ ㉢
- ④ ㉠, ㉡
- ⑤ ㉡, ㉢

1. 생명공학기술의 발달과 활용 90 쪽

03 생명공학기술의 다양한 활용 분야에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- 보기
- ㉠. 생명공학기술은 생명과학뿐만 아니라 다른 학문 분야에서도 활용되고 있다.
 - ㉡. DNA 재조합기술로 플라스틱을 분해하는 세균을 만들어 환경오염을 줄일 수 있다.
 - ㉢. 법과학 분야에서는 중합효소연쇄반응(PCR)을 활용한 DNA 지문 검사로 범죄 현장을 분석하고 범인을 식별할 수 있다.

- ① ㉠
- ② ㉡
- ③ ㉠, ㉡
- ④ ㉠, ㉢
- ⑤ ㉠, ㉡, ㉢

2. 생명공학기술의 영향과 생명윤리 108 쪽

04 유전자변형생물체(LMO)에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

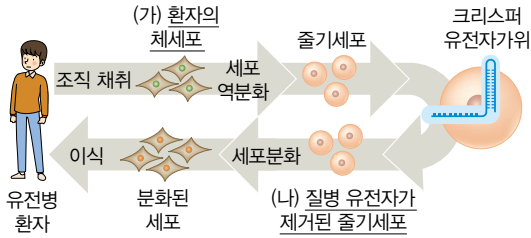
- 보기
- ㉠. 생명공학기술을 이용하여 새롭게 조합된 유전자를 가진 생물이 있다.
 - ㉡. 유전자변형생물체(LMO)의 예로는 형광을 띠는 물고기, 제초제 내성 콩 등이 있다.
 - ㉢. DNA 재조합기술은 유전자변형생물체(LMO)의 생산에 활용되는 생명공학기술이다.

- ① ㉠
- ② ㉡
- ③ ㉠, ㉡
- ④ ㉡, ㉢
- ⑤ ㉠, ㉡, ㉢

과학 역량 기르기

1. 생명공학기술의 발달과 활용 90 쪽

05 그림은 줄기세포와 크리스퍼유전자가위를 활용하여 질병 유전자를 제거해 난치병을 치료하는 과정을 나타낸 것이다.



(가)와 (나)의 유전체 염기서열이 같은지 다른지를 쓰고, 그렇게 판단한 까닭을 설명해 보자.

2. 생명공학기술의 영향과 생명윤리 108 쪽

06 다음은 생명공학기술을 활용한 사례를 나타낸 것이다.

어떤 세균에서 살충제 성분을 만드는 유전자가 발견되었다. 한 기업이 이 유전자를 이용해 형질 전환 옥수수를 만들었고, 이 유전자를 사용할 권리를 독점하게 되었다. 환경 운동가들은 형질전환 옥수수에서 배출된 살충제 성분이 토양으로 흘러 나와 해충이 아닌 다른 곤충에게 피해를 줄 수 있다고 주장하며 형질전환 옥수수의 사용을 반대하고 있다.

위 사례에서 나타나는 여러 가지 문제점을 <보기>에서 있는 대로 골라 쓰고, 그렇게 판단한 까닭을 설명해 보자.

- 보기
- ㄱ. 생태적 문제점 ㄴ. 윤리적 문제점
 - ㄷ. 제도적 문제점 ㄹ. 사회적 문제점

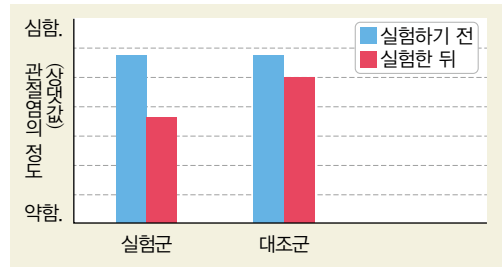
과학 글쓰기

[07~08] 다음은 줄기세포 X를 이용한 개의 관절염을 치료하기 위한 치료법 자료이다. 물음에 답해 보자.

- 관절염은 주로 뼈 사이에 있는 연골이 파괴되어 발생하며, 관절염은 나이 든 개에게서 심각한 장애를 일으킨다.
- 개의 지방조직에 있는 X가 개의 관절염에 효과가 있는지 알아보기 위해 표와 같은 실험을 했다.

(가)	관절염을 앓고 있는 개들을 실험군과 대조군으로 나눈다.
(나)	실험군에는 자신의 지방조직에서 추출한 X를 주사했고, 대조군에는 생리 식염수를 주사했다.

- 60 일 뒤 개들에게서 관절염의 정도를 관찰하여 그림과 같은 결과를 얻었다.



(출처: 『The Science of Biology』, 2016.)

07 X는 어떤 종류의 줄기세포인지 쓰고, 그렇게 판단한 까닭을 설명해 보자.

✎

.....

.....

.....

08 X를 이용한 치료법이 개의 관절염에 효과가 있는지 실험 결과와 관련지어 설명해 보자.

✎

.....

.....

.....

이 단원의 활동 결과물을 모아 나만의 포트폴리오를 완성해 보자.

부록



실험실 안전 수칙	122
생명윤리	124
탐구 활동지	125
정답 및 해설	131
디지털 리터러시 점검표	136
찾아보기	137
자료 출처	138





실험하기 전에

소화기와 비상구 위치를 숙지하고, 소화기 사용법을 알아 둔다.

실험복, 실험용 장갑과 같은 안전 장비를 착용하고, 긴 머리는 단정하게 묶는다.

실험 기구의 사용 방법을 미리 알아 둔다.

실험하는 동안에

실험실에서는 음식을 먹거나 음료를 마시지 않는다.

날카로운 도구를 사용할 때에는 손을 다치지 않게 주의한다.

실험 재료를 함부로 맛보거나 냄새를 직접 맡지 않는다.

뜨거운 것을 만질 때에는 내열 장갑을 착용하고 화상에 주의한다.



실험한 뒤에

실험한 뒤 남은 약품은 선생님의 지도에 따라 정해진 곳에 버린다.

실험에 사용한 기구는 깨끗이 씻어서 제자리에 가져다 둔다.

실험이 모두 끝나면 비누로 손을 씻는다.

응급 처치 방법

- 불이 나면 큰 소리로 알리고 대피한다. 큰불이 나면 화재경보기를 울리고 119에 신고한다.
- 눈에 약품이 닿으면 즉시 눈을 뜬 채로 얼굴을 흐르는 물에 담고 충분히 씻는다.
- 유리 기구가 깨지면 유리 조각을 만지지 않고, 선생님께 알려 지시에 따라 처리한다.
- 손을 베이면 깨끗한 천으로 지혈하고, 피가 멎으면 상처 부위를 씻고 소독한다.
- 화상을 입으면 흐르는 찬물로 화상 부위의 열기를 식힌 뒤 적절한 치료를 받는다.
- 감전 사고가 나면 전원을 차단하고, 감전당한 사람을 전기 기구와 떨어뜨린 뒤 119에 신고한다.

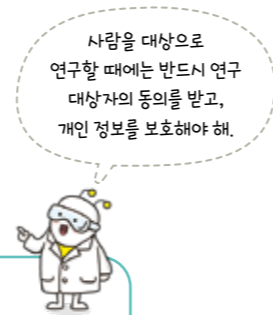
생명체를 다루는 연구에서 지켜야 할 생명윤리

생명체를 다루는 연구에서는 생명윤리에 따라 생명의 존엄성을 인지하고 생명을 보호하려고 노력해야 한다. 사람을 비롯한 동물뿐 아니라 식물을 대상으로 연구할 때에도 함부로 훼손하거나 불필요하게 사용하지 말아야 한다.

사람을 대상으로 연구할 때에는

사람을 대상으로 하거나 인체 유래물을 이용하여 연구할 때에는 반드시 기관생명윤리위원회(IRB, Institutional Review Board)의 심의를 받아 윤리적, 과학적으로 타당성이 있다는 승인을 받고, 생명윤리 교육을 받은 뒤에 연구를 진행해야 한다.

기관생명윤리위원회: 사람을 대상으로 하는 각종 임상 연구와 인체 유래물을 사용하는 연구에서 연구 대상자의 권리를 보호하고 안전을 보장하기 위하여 운영되는 위원회



기관생명윤리위원회(IRB)의 심의 대상

• 사람 대상 연구

- ① 연구 대상자를 직접 조작하거나 그 환경을 조작하는 연구
- ② 연구 대상자와 의사소통, 대인 접촉 등의 상호작용을 통해 수행하는 연구
- ③ 연구 대상자 개인을 식별할 수 있는 정보를 이용하는 연구

• **인체 유래물 연구:** 인체로부터 수집하거나 채취한 조직, 세포, 혈액, 체액 등 인체 구성물 또는 이들로부터 분리된 혈청, 혈장, 염색체, DNA, RNA, 단백질 등을 직접 조사 또는 분석하는 연구

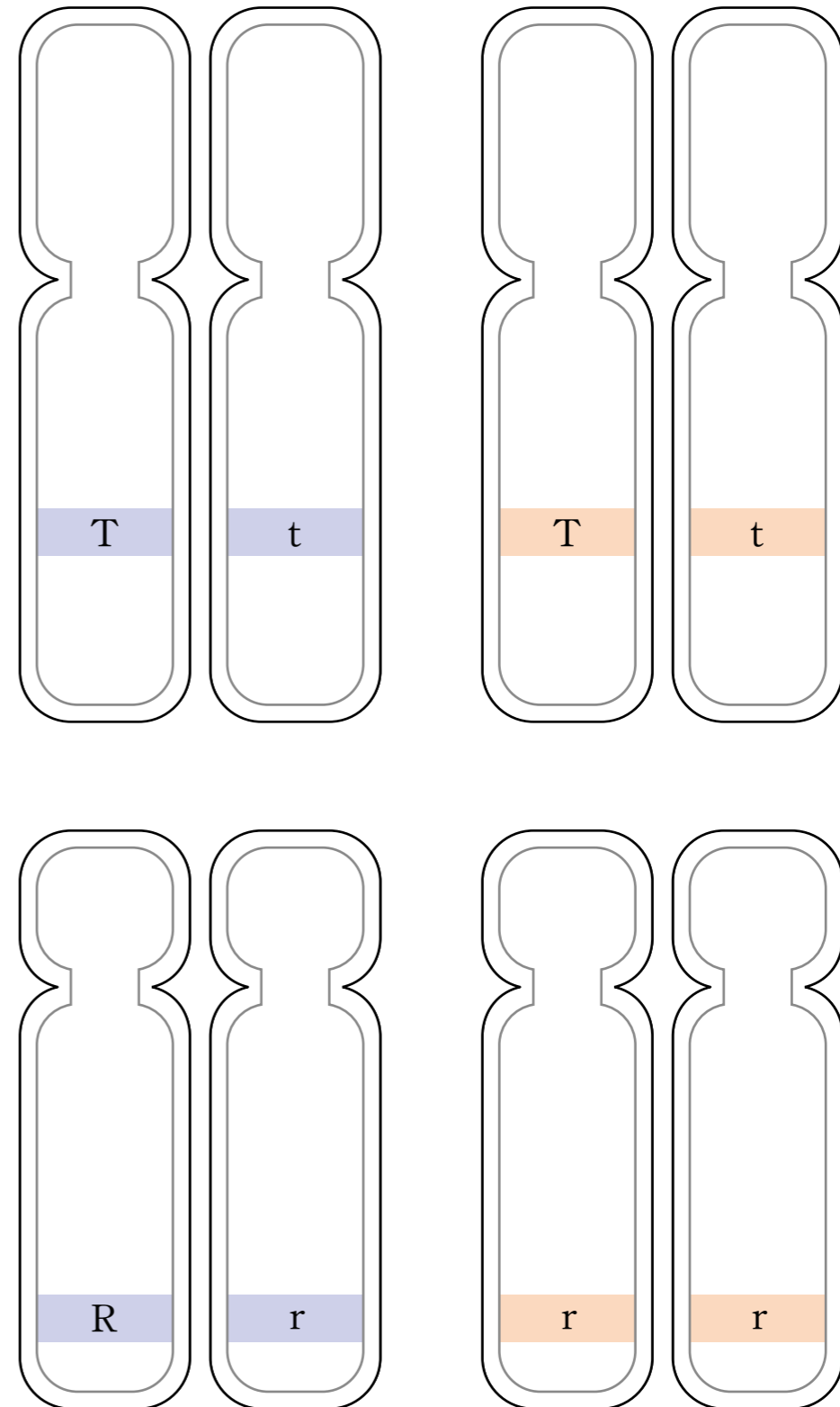
동물을 대상으로 연구할 때에는

동물을 대상으로 연구할 때에는 연구의 윤리적, 과학적 타당성 및 유해 물질을 이용한 동물 실험의 적정성에 대해 동물실험윤리위원회의 심의를 받아 승인이 된 경우에만 수행해야 한다.

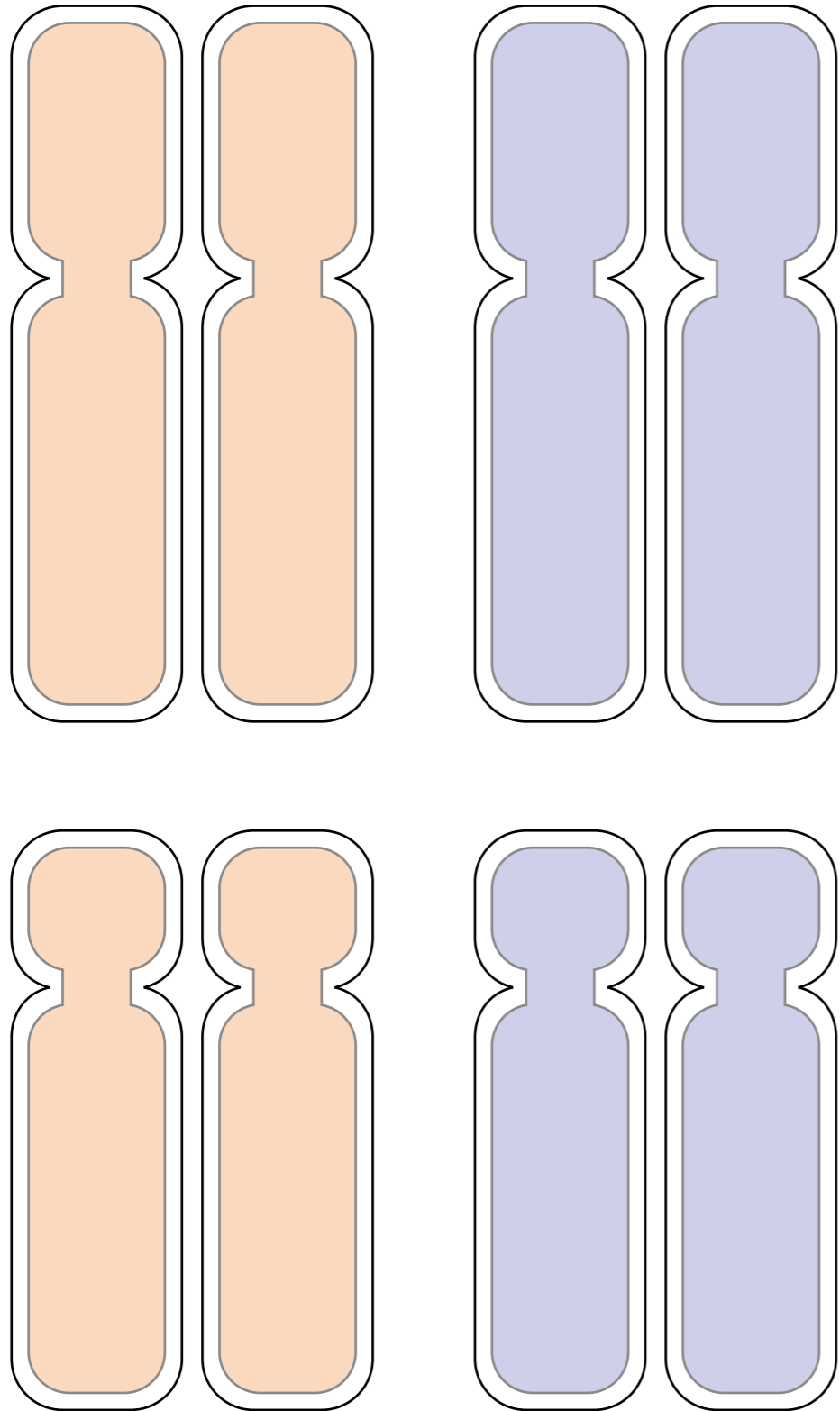
- 동물 실험은 되도록 동물을 사용하지 않는 실험으로 대체한다.
- 동물 실험을 수행할 때에는 사용하는 동물의 수를 되도록 줄이고, 실험 방법을 정교화하여 동물이 겪는 불필요한 고통이나 불편을 최소화해야 한다.
- 실험이 끝난 뒤 동물의 부산물은 「폐기물 관리법」에 따라 처리한다.

앞면

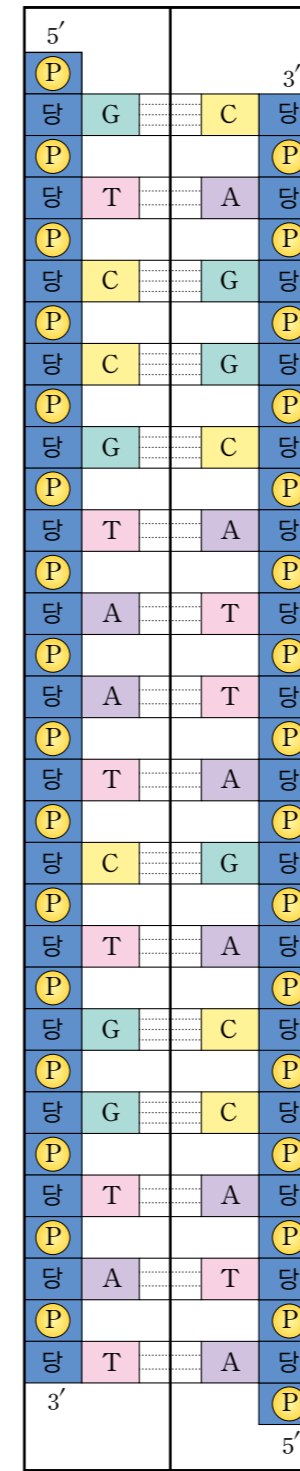
자르는 선



뒷면

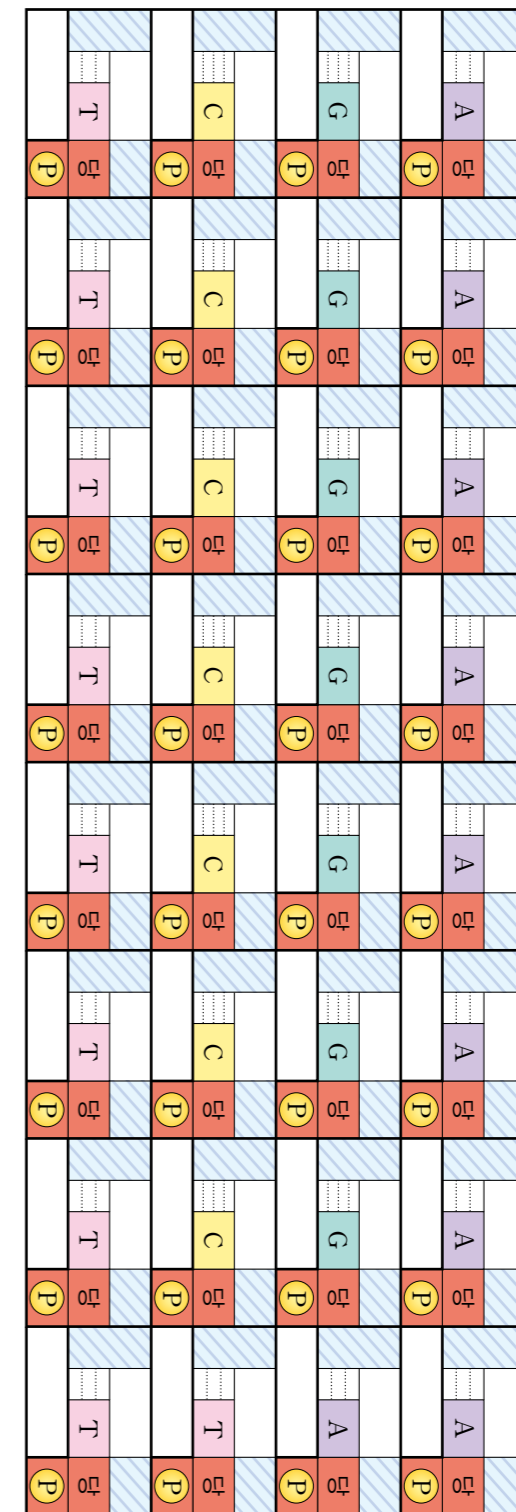


DNA 이중나선 모형



이중나선이 풀어지는 방향

염기 모형



— 자르는 선
 [Blue hatched box] 풀칠하기

I 유전자와 유전물질

1 사람의 유전과 유전병

01 유전형질의 전달과 사람의 유전 연구

9 쪽

정상 대립유전자 | 그림 I-1에서 정상 대립유전자와 PTC 미맹 대립유전자를 가진 경우 표현형이 정상으로 나타난다.

정의 사고 13 쪽

| 예시 답안 | 우리 반에는 O형인 친구가 가장 많고, AB형인 친구가 가장 적다.

스스로 확인하기 13 쪽

- 1 대립유전자 | 부모에게서 하나씩 물려받은 1 쌍의 대립유전자에 의해 자손의 유전형질이 결정된다.
- 2 가계도
- 3 | 예시 답안 | 일란성쌍둥이는 유전자 구성이 같다. 따라서 일란성쌍둥이에서 표현형의 차이는 환경의 영향을 받아 나타난다.

02 사람의 유전 현상

스스로 확인하기 22 쪽

- 1 열성
- 2 어머니 | 아들의 X염색체는 어머니에게서 물려받은 것이다.
- 3 | 예시 답안 | 유전자형은 BT, BQ, TQ, QQ이며, 표현형은 최대 세 종류이다.

03 사람의 유전병

스스로 확인하기 27 쪽

- 1 전좌 | 전좌는 상동염색체가 아닌 염색체 사이에서 한 염색체의 일부가 다른 염색체로 옮겨져서 나타나는 염색체구조이상이다.
- 2 염색체비분리현상
- 3 | 예시 답안 | 친척끼리는 유전자 구성이 비슷하므로 2 개의 열성 대립유전자를 가진 자손이 태어날 확률이 높기 때문이다.

2 유전물질

01 DNA의 구조

스스로 확인하기 39 쪽

- 1 DNA
- 2 상보결합
- 3 3'-CTAATGT-5' | DNA를 구성하는 폴리뉴클레오타이드 두 가닥은 서로 방향이 반대이며, 폴리뉴클레오타이드 두 가닥의 염기는 상보결합 한다.

02 유전체 구성과 유전자 구조

정의 사고 41 쪽

| 예시 답안 | 사람의 인슐린 유전자에서 인트론은 제거하고 엑손만 남겨 대장균의 유전체에 삽입해야 할 것이다.

스스로 확인하기 41 쪽

- 1 유전체
- 2 엑손 | 진핵세포의 유전자에서 단백질을 암호화하는 영역을 엑손, 단백질을 암호화하지 않는 영역을 인트론이라고 한다.
- 3 | 예시 답안 | 대장균은 유전자 사이에 비유전자 영역의 비율이 낮고 일반적으로 유전자에 인트론이 없다. 따라서 유전체에서 단백질을 암호화하는 영역의 비율은 대장균이 사람보다 더 높다.

03 DNA의 복제

스스로 확인하기 47 쪽

- 1 반보존적
- 2 5' 말단, 3' 말단 | DNA 중합효소는 주형 가닥의 염기와 상보적인 염기를 가지는 뉴클레오타이드를 합성 중인 가닥의 3' 말단에 연결한다.
- 3 | 예시 답안 | DNA 복제 과정에서 잘못 연결된 뉴클레오타이드를 교체하여 DNA 복제의 정확도를 높인다.

대단원 마무리

51 쪽~53 쪽

01 ③ 02 ② 03 ① 04 ④ 05 ⑤ 06 ①

| 과학 역량 기르기 |

07 해설 참조 08 해설 참조 09 해설 참조

10 해설 참조

| 과학 글쓰기 |

11 해설 참조 12 해설 참조

- 01 대립유전자 R와 r는 상동염색체의 같은 위치에 존재하므로 감수 1분열에서 분리되어 서로 다른 생식세포로 들어간다.
- 02 (가)의 성염색체는 XY이므로 (가)가 정상 남자와 수정하여 태어난 아이는 성염색체 구성이 XXY로 클라인펠터증후군을 나타낸다. (다)는 정상 정자보다 Y염색체만 1개 더 가진다.
- 03 ㉓는 단백질분해효소, ㉔는 DNA 분해효소이다. 살아 있는 R형균을 S형균으로 형질전환시키는 것은 DNA이다. 살아 있는 S형균은 생쥐 1에서 관찰된다.
- 04 5' 탄소에 연결된 인산이 있는 쪽이 5' 말단이므로, (가)는 3' 말단이다. 아데닌(A)과 타이민(T)은 2개의 수소결합으로 연결되고, 구아닌(G)과 사이토신(C)은 3개의 수소결합으로 연결된다. 아데닌(A)과 구아닌(G)은 퓨린계열의 염기이고, 사이토신(C)과 타이민(T)은 피리미딘계열의 염기이다. 따라서 ㉔는 사이토신(C)이다.
- 05 소금-세제 용액은 브로콜리 세포의 핵막과 세포막의 인지질을 녹이는 역할을 한다. 아세트올세인 용액은 DNA를 붉게 염색하는 염색액이다.
- 06 대장균과 같은 원핵세포는 사람의 세포와 같은 진핵세포보다 유전체의 크기가 작고 유전자 수도 적다. 또 유전체에서 유전자 사이에 유전정보를 저장하지 않는 비유전자 영역이 차지하는 비율이 낮고, 유전자는 일반적으로 단백질을 암호화하는 영역으로만 이루어져 있으므로 단백질을 암호화하는 영역이 차지하는 비율은 사람보다 대장균에서 더 높다.
- 07 (1) | 예시 답안 | 부모가 모두 정상인데 자손에서 부모에 없던 유전병 (가)가 나타났으므로 정상이 우성, 유전병 (가)를 열성으로 판단할 수 있다. 따라서 정상 대립유전자는 우성, 유전병 (가) 대립유전자는 열성이다.
 (2) | 예시 답안 | 유전병 (가)를 결정하는 대립유전자가 성염색체에 있다면 아버지가 정상인데 유전병을 가지는 딸이 태어날 수 없으므로 유전병 (가)를 결정하는 대립유전자는 상염색체에 있다.
- 08 (1) | 예시 답안 | 키는 대립형질이 뚜렷하게 구분되지 않고 표현형이 연속적으로 나타나므로 다유전자유전 형질이다.
 (2) | 예시 답안 | 유전자 구성이 같은 일란성쌍둥이에서 키가 서로 다르게 나타난 것은 키를 결정하는 데 유전자 외에 환경도 영향을 미치기 때문이다.

- 09 (1) DNA
 (2) | 예시 답안 | 침전물, 박테리오파지가 대장균에 들어가 증식하는 데 필요한 물질은 DNA이기 때문이다.
- 10 (1) | 예시 답안 | 가설 1, 만약 가설 2를 따르면 B에서 $^{15}\text{N}-^{15}\text{N}$ DNA, $^{14}\text{N}-^{14}\text{N}$ DNA에서 같은 양의 띠가 나타나야 하고, 가설 3을 따르면 $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$ DNA와 $^{14}\text{N}-^{14}\text{N}$ DNA의 중간에 띠가 나타나야 하기 때문이다. | (가)에서 가설 1은 반보존적 복제모델, 가설 2는 보존적 복제모델, 가설 3은 분산적 복제모델이다.
 (2) 3:1
- 11 | 예시 답안 | 아데닌(A)과 타이민(T)은 2개의 수소결합으로 연결되지만 구아닌(G)과 사이토신(C)은 3개의 수소결합으로 연결된다. 따라서 G-C 염기쌍이 많은 DNA 이중나선일수록 두 가닥으로 분리되기 어려워 T_m 이 높으므로 DNA 이중나선의 T_m 이 다른 것이다.
- 12 | 예시 답안 | 우리 몸속에 DNA 이중나선이 두 가닥으로 분리되는 것을 촉진하는 효소가 있기 때문이다.

II 유전자의 발현

1 유전자발현 과정

01 유전정보의 흐름

스스로 확인하기 59 쪽

- 1 효소
- 2 RNA
- 3 | 예시 답안 | DNA 중합효소를 이루는 여러 개의 폴리펩타이드에 대한 정보는 서로 다른 유전자에 저장되므로 DNA 중합효소를 가장 잘 설명할 수 있는 이론은 1유전자 1폴리펩타이드설이다.

02 전사와 번역

정의 사고 61 쪽

| 예시 답안 | 글루탐산을 암호화하는 코돈은 GAA, GAG이고, 발린을 암호화하는 코돈은 GUU, GUC, GUA, GUG이므로 글루탐산을 암호화하는 유전부호 중 두 번째 염기에서 돌연변이가 일어났다.

스스로 확인하기 67 쪽

- 1 RNA 중합효소
- 2 5' 말단, 3' 말단
- 3 | 예시 답안 | 코돈 중 종결코돈은 아미노산을 암호화하지 않으므로 종결코돈과 상보적인 안티코돈은 필요하지 않다. 따라서 안티코돈은 64 종류보다 적다.

2 유전자발현 조절

01 전사에서의 유전자발현 조절

정의 사고 72 쪽

| 예시 답안 | 하나의 전원 스위치로 집안에 있는 모든 전등을 끌 수 있는 것은 하나의 프로모터로 여러 유전자의 전사를 조절하는 젓당오페론의 원리와 같다.

? 73 쪽

| 예시 답안 | 원핵생물에서 RNA 중합효소는 스스로 프로모터에 결합하고, 진핵생물에서 RNA 중합효소는 전사인자의 도움을 받아 프로모터에 결합한다.

스스로 확인하기 75 쪽

- 1 작동부위
- 2 전사인자
- 3 | 예시 답안 | 조절유전자가 결실된 돌연변이형 대장균에서는 억제단백질이 합성되지 않는다. 그러므로 젓당이 없는 배지에서도 RNA 중합효소가 젓당오페론의 프로모터에 결합해 구조유전자의 전사가 일어나 젓당을 이용하는 데 필요한 효소가 합성된다. 반면 야생형 대장균에서는 억제단백질이 합성되므로 젓당이 없는 배지에서 구조유전자의 전사가 일어나지 않아 젓당을 이용하는 데 필요한 효소가 합성되지 않는다.

02 발생에서의 유전자발현 조절

스스로 확인하기 79 쪽

- 1 세포분화
- 2 핵심조절유전자
- 3 | 예시 답안 | 야생형 초파리에서 특정 호미오유전자의 발현을 억제했을 때 1쌍의 날개가 더 형성되었으므로 이 호미오유전자는 가슴에서 날개가 형성되는 것을 억제한다.

03 유전자발현 조절 및 발생 연구와 인류 복지

스스로 확인하기 81 쪽

- 1 | 예시 답안 | TP53 유전자처럼 암 발생과 관련된 유전자의 발현 조절을 연구하여 다양한 암 치료에 활용되고 있다.

- 2 | 예시 답안 | 유전적 원인으로 발병하는 난치병을 치료할 수 있고, 인류가 활용할 수 있는 생물자원이 다양해질 것이다.

대단원 마무리

85 쪽~87 쪽

- 01 ㄱ, ㄴ, ㄷ 02 ㉓ 03 ㉔ 04 ㉕ 05 ㉖ 06 ㉗
 | 과학 역량 기르기 |
 07 해설 참조 08 해설 참조 09 해설 참조
 10 해설 참조
 | 과학 글쓰기 |
 11 해설 참조 12 해설 참조

- 01 유전자 A~C에는 각각 효소 A~C의 아미노산서열에 대한 유전정보가 저장되어 있다. 야생형 생물 (가)는 유전자 A~C가 모두 발현되어 효소 A~C를 모두 합성하므로 아미노산 1을 첨가한 배지에서 성장할 수 있다. 돌연변이형 생물 (나)는 효소 A가 합성되지 않아 아미노산 1에서 아미노산 2를 합성하는 과정에만 문제가 있으므로 아미노산 3을 첨가한 배지에서는 아미노산 3으로 아미노산 4를 합성하여 성장할 수 있다.
- 02 ㉔는 DNA, ㉕는 mRNA이다. (가)는 DNA의 유전정보를 이용하여 mRNA를 합성하는 전사이고, ㉖는 mRNA의 유전정보를 이용하여 단백질을 합성하는 번역이다. ㉗는 mRNA이므로 라이보솜을 구성하지 않으며, 라이보솜을 구성하는 RNA는 rRNA이다.
- 03 X는 RNA를 합성할 때 주형으로 이용되지 않으므로 염기서열이 mRNA와 상보적이지 않다. mRNA는 5' 말단 → 3' 말단 방향으로 합성되므로 ㉔는 5' 말단이다. ㉔는 RNA 합성에 이용되는 뉴클레오타이드이며, 이 뉴클레오타이드를 구성하는 당은 라이보스이다.
- 04 ㉔는 개시코돈인 AUG가 암호화하는 메싸이오닌이다. tRNA는 라이보솜의 대단위체에 있는 E 자리, P 자리, A 자리에 위치한다. P 자리에 있는 tRNA는 A 자리에 있는 tRNA보다 먼저 라이보솜에서 방출된다.
- 05 mRNA의 염기서열은 I이 아닌 DNA 가닥과 상보적이므로 전사에서 주형 가닥으로 사용된 것은 I이 아니다. ㉔는 구아닌(G)과 상보적인 염기인 사이토신(C)이고, ㉕는 아데닌(A)과 상보적인 염기인 유라실(U)이다.

06 근육세포로 분화하는 과정에서 핵심조절유전자는 마이오디 유전자이다. 마이오디 유전자가 발현되면 마이오디 단백질이 합성된다. 마이오디 단백질은 유전자 x 의 발현을 촉진하는 전사인자이다. 유전자 x 가 발현되면 전사인자 X가 합성된다. 전사인자 X는 마이오신 유전자의 발현을 촉진하는 전사인자이므로 세포 내 X의 농도가 증가하면 마이오신의 농도도 증가한다.

07 (1) ㉠ 오르니틴, ㉡ 시트룰린
 (2) | 예시 답안 | I은 오르니틴을 첨가한 최소배지와 시트룰린을 첨가한 최소배지에서 모두 성장하므로 I에서 돌연변이가 일어난 유전자는 A이다. II는 시트룰린을 첨가한 최소배지에서는 성장하고, 오르니틴을 첨가한 최소배지에서는 성장하지 못하므로 II에서 돌연변이가 일어난 유전자는 B이다.

08 (1) 메싸이오닌, 타이로신, 알라닌
 (2) | 예시 답안 | X, X가 합성될 때에는 5 번째 코돈이 종결코돈인 UAA이고, Y가 합성될 때에는 4 번째 코돈이 종결코돈인 UGA이므로 아미노산의 개수는 X가 Y보다 많다.

09 (1) 억제단백질 | ㉠은 젓당오페론의 앞부분에 있는 조절 유전자에서 발현되는 억제단백질이다.
 (2) | 예시 답안 | 억제단백질(㉠)이 작동부위에 결합하면 프로모터에 RNA 중합효소가 결합하지 못하므로 구조유전자의 전사가 일어나지 않아 젓당을 이용하는 데 필요한 효소가 합성되지 않는다.

10 (1) ㉠ | (가)에서 ㉡은 DNA의 유전정보가 RNA로 전달되는 전사 과정이고, ㉢은 RNA의 유전정보를 이용하여 단백질이 합성되는 번역 과정이다. 전사개시복합체는 전사 과정에서 형성되므로 (나)의 전사개시복합체는 과정 ㉠에서 형성된다.
 (2) | 예시 답안 | 전사인자는 RNA 중합효소가 프로모터에 결합하여 유전자를 전사하는 데 필요하다. 따라서 전사인자 A와 B가 없으면 유전자 X의 발현이 억제된다.

11 | 예시 답안 | ㉠은 대장균의 수이고, ㉡은 젓당분해효소의 농도이다. 젓당분해효소는 젓당이 있는 조건에서만 합성되므로 젓당을 첨가한 t_1 이후 급격히 증가한 ㉢이 젓당분해효소의 농도이고, ㉣이 대장균의 수이다.

12 | 예시 답안 | 구간 I, 대장균에서 젓당이 없을 때에는 억제단백질이 작동부위에 결합하고, 젓당이 있을 때에는 억제단백질이 젓당 유도체와 결합하여 억제단백질의 구조가 변형되므로 작동부위에 결합하지 못한다. 따라서 구간 I과 II 중 억제단백질이 작동부위에 결합하고 있는 비율이 높은 구간은 젓당을 첨가한 t_1 이전인 구간 I이다.

III 생명공학기술

1 생명공학기술의 발달과 활용

01 생명공학기술의 발달

스스로 확인하기 93 쪽

- 1 생명공학기술
- 2 | 예시 답안 | 혈액 한 방울이나 머리카락 속에 들어 있는 적은 양의 DNA로는 개인을 식별하기 어렵다. 따라서 범죄 현장에서 발견된 DNA의 특정 염기서열을 중합효소연쇄반응(PCR)으로 증폭한 뒤 분석하여 범인으로 추정되는 사람의 DNA와 비교해 범인을 찾을 수 있다.

02 난치병 치료에 활용하는 생명공학기술

참의사고 96 쪽

- | 예시 답안 | 화상으로 피부가 손상된 사람을 치료하고 싶다. 화상으로 피부가 손상된 환자의 체세포를 역분화시킨다. 이 역분화줄기세포를 피부 상피세포로 분화시켜 환자 자신의 피부에 이식한다.

스스로 확인하기 99 쪽

- 1 단클론항체
- 2 줄기세포
- 3 | 예시 답안 | 유전자편집기술, 암을 일으키는 물질을 합성하는 효소의 유전자를 확인한 뒤 크리스퍼유전자기위를 이용한 유전자편집기술을 활용해 암을 일으키는 유전자를 교정하여 기능을 없앤다.

03 생명공학기술 관련 학문 분야와 활용 사례

스스로 확인하기 105 쪽

- 1 농축산학 분야 | 농축산학 분야에서는 DNA 재조합기술 같은 생명공학기술을 활용하여 갈변하지 않는 사과를 생산한다.
- 2 정보 통신 기술
- 3 | 예시 답안 | 생명공학기술을 활용해 이산화 탄소를 흡수하는 조류나 세균을 만들면 대기 중의 이산화 탄소 농도를 낮출 수 있다.

2 생명공학기술의 영향과 생명윤리

01 유전자변형생물체(LMO)의 특징과 영향

참의사고 111 쪽

| 예시 답안 | 생태계를 파괴하는 유전자변형생물체(LMO)는 개발하지도 활용하지도 않습니다.

스스로 확인하기 111 쪽

- 1 유전자변형생물체(LMO)
- 2 | 예시 답안 | 종 내에서 선택적 교배를 통해 만들어진 생물은 원하는 형질을 얻는 데는 오랜 시간이 걸린다. 하지만 유전자변형생물체(LMO)는 다른 생물에게서 필요한 유전자를 골라 변형할 생물의 세포 속에 해당 유전자를 주입하므로 선택적 교배보다 원하는 형질을 빠른 시간 내에 얻을 수 있다.

02 생명공학기술과 생명윤리

스스로 확인하기 114 쪽

- 1 생태적
- 2 | 예시 답안 | 사람을 포함한 모든 생물의 생명은 그 자체만으로도 소중하다. 그러므로 생명공학기술을 활용하는 과정에서 생명을 존중하며, 생명공학기술을 연구하고 개발하는 과정에서 생길 수 있는 생명윤리 쟁점을 고려하여 합리적으로 판단할 수 있는 능력을 갖추어야 한다.

대단원 마무리

119 쪽~120 쪽

- 01 ㉢ 02 ㉡ 03 ㉤ 04 ㉤
 | 과학 역량 기르기 |
 05 해설 참조 06 해설 참조
 | 과학 글쓰기 |
 07 해설 참조 08 해설 참조

01 (가)는 중합효소연쇄반응(PCR)이고, (나)는 특정 생물에서 추출한 DNA를 인위적으로 자르고 연결하여 새로운 유전자조합을 가진 DNA를 만드는 DNA 재조합기술이다. DNA 재조합기술(나)을 활용해 성장호르몬 같은 치료용 단백질을 합성한다.

02 위암 세포의 항원을 쥐에 주입한 뒤 쥐에서 추출한 B림프구 ㉠은 각각 한 가지 항체를 생산하는데, B림프구에 따라 생산하는 항체가 다를 수 있다. 단클론항체 ㉡은 항체를 만들게 한 위암 세포의 항원과 특이적으로 결합하므로, 항암제 ㉢이 위암을 치료한다.

03 생명공학기술은 의학학, 농축산학, 법과학 등의 학문 분야뿐 아니라 일상생활과 산업, 환경 분야에서도 활용되고 있다.

04 유전자변형생물체(LMO)는 DNA 재조합기술 같은 생명공학기술을 이용하여 새롭게 조합된 유전자를 가진 생물로, 기존 생물에는 없던 유전자를 가진다. 형광을 띠는 물고기, 제초제 내성 콩은 유전자변형생물체(LMO)의 예이다. DNA 재조합기술은 인슐린, 혈전용해제 등 유용한 물질을 대량 생산하거나 제초제 내성 옥수수 같은 유전자변형생물체(LMO)를 생산하는 데 이용된다.

05 | 예시 답안 | 다르다. 질병 유전자가 제거된 줄기세포(나)는 환자의 체세포(가)에서 크리스퍼유전자기위를 이용해 질병 유전자가 제거된 것이므로 (가)와 (나)의 유전체 염기서열이 다르다.

06 | 예시 답안 | ㄱ, ㄴ, ㄷ, 한 기업이 살충제 성분을 만드는 유전자를 사용할 권리를 독점한다는 점에서 제도적 문제점(ㄴ), 형질전환 옥수수에서 배출된 살충제 성분이 토양으로 흘러나와 해충이 아닌 다른 곤충에게 피해를 입힐 수 있다는 점에서 생태적 문제점(ㄱ), 환경 운동가들이 형질전환 옥수수의 사용을 반대한다는 점에서 사회적 문제점(ㄷ)이 나타난다.

07 | 예시 답안 | 성체줄기세포, 이 실험에서 사용된 줄기세포 X는 개의 지방조직에 들어 있고 역분화 과정을 거치지 않았으므로 성체줄기세포이다. | 줄기세포는 얻는 방식에 따라 배아줄기세포, 성체줄기세포, 역분화줄기세포로 구분한다. 세 종류의 줄기세포 중 배아줄기세포는 발생 초기 배아에서, 성체줄기세포는 자신의 신체 조직에서, 역분화줄기세포는 이미 분화가 끝난 체세포를 역분화시켜 얻는다. 그런데 이 실험에 사용된 줄기세포 X는 개의 지방조직에 들어 있고 역분화 과정을 거치지 않았으므로 성체줄기세포이다.

08 | 예시 답안 | 성체줄기세포(X)를 주사한 실험군의 개들은 생리 식염수를 주사한 대조군의 개들과 비교하면 관절염의 정도가 실험하기 전보다 실험한 뒤에 크게 줄어들었다. 이를 통해 성체줄기세포(X)를 이용해 관절염을 치료하면 관절염에 효과가 있다는 것을 알 수 있다.



디지털 리터러시(Digital Literacy)란 무엇인가?

다양한 디지털 미디어를 사용하는 과정에서 나에게 필요한 정보를 정확하게 찾아 그 정보를 평가 및 조합하여 올바르게 활용할 수 있는 능력을 디지털 리터러시라고 한다. 디지털 리터러시는 단순히 인터넷이나 다양한 애플리케이션을 사용하는 것에 그치지 않고 디지털 기술과 미디어를 비판적으로 수용하는 것, 디지털 기기와 기술을 활용하는 것을 모두 포함한다.

인터넷으로 자료를 조사하거나 스마트 기기를 활용하여 발표 자료를 만드는 활동을 하면서 나의 디지털 리터러시를 표 하여 스스로 점검해 보자.



디지털 리터러시 점검표

1. 적절한 검색 누리집을 활용하여 활동에 필요한 자료를 찾았다.
2. 찾은 자료가 목적에 적합하고 믿을 만한 자료임을 판단했다.
3. 조사한 자료를 사용하거나 공유하기 전, 저작권에 위배되지 않는지 판단했다.
4. 조사한 자료를 공유하기 전, 타인의 개인 정보를 유출하는 문제가 없는지 판단했다.
5. 사진이나 영상 등과 같은 다양한 매체를 쉽고 편리하게 이용하여 발표 자료를 만들었다.
6. 온라인 공간에서 다른 사람과 소통할 때 예의를 지키고 배려했다.
7. 공용 스마트 기기를 사용한 뒤 사용한 모든 누리집에서 로그아웃을 하고, 개인 정보를 남기지 않았는지 확인했다.
8. 디지털 기기를 활용하여 문제를 해결하는 방법을 고안하고 실행했다.
9. 디지털 기기를 활용할 때 사용하는 목적과 시간을 스스로 관리했다.

ㄱ	가계도 조사	12	생명공학기술	91	적록색맹	16
	개시코돈	61, 64	생명윤리	114	전사	59, 60
	고양이올음증후군	23	생물정보학	104	전사개시복합체	73
	구조유전자	71	사카프의 법칙	35	전사인자	73
ㄴ			선도 가닥	45	젓당 유도체	72
	낮모양적혈구빈혈증	26	성염색체 유전	14	젓당오페론	71
	뉴클레오타이드	36	성체줄기세포	96	조절부위	73
ㄷ			세포분화	76	조절유전자	71
	다운증후군	24	세포융합기술	94	종결코돈	61, 65
	다유전자유전	20	쌍둥이 연구	13	주형 가닥	44
	단일유전자유전	20	ㅇ		줄기세포	80, 96
	단클론항체	94	RNA	59, 60	중심원리	59
	대립형질	9	RNA 중합효소	60, 72	중합효소연쇄반응(PCR)	93
	DNA	9, 31	RNA 프라이머	45	지연 가닥	45
	DNA 연결효소	45	안티코돈	63	진핵세포	40
	DNA 재조합기술	91	억제단백질	71	집단 조사	13
	DNA 중합효소	44	ABO식 혈액형	15	ㄹ	
	DNA 지문 검사	101	엑손	41	차세대염기서열분석(NGS)	93
ㄹ			역분화줄기세포	96	최소배지	57
	라이보솜	63	연골무형성증	26	ㅋ	
ㅁ			열성	9	코돈	61
	마이오디 유전자	77	염색체구조이상	23	크리스퍼유전자가위	97
	만성골수백혈병	23	염색체 및 유전자 분석	13	클라인펠터증후군	24
ㅂ			염색체비분리현상	24	ㅌ	
	반보존적 복제모델	42	염색체수이상	24	터너증후군	24
	반성유전	16	오페론	71	ㅍ	
	발생	76	완전배지	57	펩타이드결합	64
	배아줄기세포	96	우성	9	폴리뉴클레오타이드	36
	백색증	26	원핵세포	40	폴리솜	65
	번역	59, 63	유전부호	61	표현형	10
	보존적 복제모델	42	유전부호 표	61	프로모터	60, 71
	복대립유전	15	유전자발현	59	PTC 미맹	9
	분산적 복제모델	42	유전자변형생물(GMO)	109	ㅎ	
ㅅ			유전자변형생물체(LMO)	109	합성생물학	104
	상보결합	37	유전자편집기술	80, 97	핵심조절유전자	77
	상염색체 유전	14	유전자형	10	헌팅턴무도병	14
			유전정보	57	형질전환	34
			유전체	40	호미오유전자	78
			유전형질	10		
			인트론	41		
			1유전자 1단백질설	59		
			1유전자 1폴리펩타이드설	59		
			1유전자 1효소설	59		
ㅈ			ㅊ			
	작동부위	71	작동부위	71		
	잡종세포	94	잡종세포	94		

차례

- ▶ 4 쪽(DNA 지문): 셔터스톡

I 유전자와 유전물질

- ▶ 21 쪽(다양한 키), 26 쪽(백색증): 게티이미지코리아
- ▶ 28 쪽(염색체, 유전병 진단), 33 쪽(스마트 기기 화면, TV 화면), 47 쪽(스마트 기기 화면), 50 쪽(책): 셔터스톡
- ▶ 17 쪽(알렉세이 왕자의 가족사진): 이미지코리아
- ▶ 26 쪽(연골무형성증): 연합뉴스

II 유전자의 발현

- ▶ 80 쪽(인공 각막), 84 쪽(DNA 지문): 셔터스톡
- ▶ 78 쪽(야생형 초파리, 돌연변이형 초파리): 이미지코리아

III 생명공학기술

- ▶ 91 쪽(배아줄기세포, 사람의 유전체 염기서열), 109 쪽(대장균, 포플러): 게티이미지코리아
- ▶ 91 쪽(단클론항체, 인슐린, 중합효소연쇄반응(PCR) 기기, DNA 지문, 유전자변형농산물, 차세대염기서열분석(NGS), 크리스퍼유전자 가위, RNA 백신), 92 쪽(인슐린 주사), 95 쪽(임신 진단 도구, 신속 항원 검사 도구), 100 쪽(인공 합성 혈전용해제, 갈변하지 않는 사과, 일반 사과, 젓소), 101 쪽(DNA 지문 검사, 공장, 바이오센서, 플라스틱병), 103 쪽(텔레비전, DNA), 105 쪽(스마트 기기 화면), 106 쪽(크리스퍼유전자가위), 109 쪽(해충 저항성 목화, 형광을 띠는 물고기, 체초제 내성 콩), 111 쪽(유전자변형생물체(LMO) 표시), 113 쪽(장기 이식용 돼지): 셔터스톡
- ▶ 91 쪽(복제 포유류): 이미지코리아
- ▶ 100 쪽(3D 바이오프린팅 인공 심장), 109 쪽(연어), 118 쪽(일반 쌀과 황금쌀): 연합뉴스
- ▶ 104 쪽(브이랩온 누리집 화면 1, 브이랩온 누리집 화면 2), 105 쪽(브이랩온 누리집 화면 3): www.vlabon.re.kr, 2023
- ▶ 115 쪽(과학 체험 및 실습, 과학 강연 모습, 한국생명공학연구원 전경): 한국생명공학연구원

참고 자료

- ▶ 20 쪽(피부색의 다유전자유전), 40 쪽(대장균과 사람 생식세포의 유전체의 크기와 유전자 수): 전상학 외 역, 『생명과학』 12판, 바이오사이언스출판, 2022.
- ▶ 21 쪽(특정 집단의 PTC 미맹 분포): 예미경 외, 『미맹의 표현형과 유전자형의 관계』, 대한이비인후과학회지, 2008.
- ▶ 21 쪽(특정 집단의 키 분포): 사이즈코리아, 『인체치수조사 보고서, 7차 인체치수조사』, <https://sizekorea.kr/human-info/meas-report?measDegree=7>, 2015.
- ▶ 35 쪽(여러 생물의 염기 조성 비율): Manju Bansal, 『DNA structure: Revisiting the Watson-Crick double helix』, Current Science A Fortnightly Journal of Research, 2003.
- ▶ 37 쪽(성계와 사람의 염기 조성 비율): Pierce, 『Genetics: A Conceptual Approach』 6th, W. H. Freeman, 2017.
- ▶ 41 쪽(대장균과 사람의 유전체 구성과 유전자 구조): Watson 외, 『Molecular Biology of the Gene』 7th, Pearson, 2013.
- ▶ 53 쪽(온도에 따른 DNA 이중나선의 분리): Jeremy 외, 『Biochemistry』 8th, W. H. Freeman, 2015.
- ▶ 113 쪽(2021 년도 장기 등 이식 및 인체 조직 기증 통계 연보): 국립장기조직혈액관리원, 2022.
- ▶ 113 쪽(동물의 유전자편집기술과 관련된 자료): 『한겨레』, 2021. 10. 21.
- ▶ 120 쪽(줄기세포를 이용한 개의 관절염을 치료하기 위한 치료법 자료): Sadava 외, 『Life: The Science of Biology』 11th, W. H. Freeman, 2016.

※ 집필진의 직접 집필인 경우 출처를 밝히지 않았음.
 ※ 출처 표시를 안 한 사진 및 삽화는 저작자 및 발행사에서 저작권을 가지고 있는 경우임.

URL 목록

- ▶ 2 쪽(QR 코드 콘텐츠 목록): <https://qr.mirae-n.com/c/q49q55k08a>
- ▶ 10 쪽(실험 영상): <https://qr.mirae-n.com/v/n7b28i3v5i>
- ▶ 38 쪽(실험 영상): <https://qr.mirae-n.com/v/d67nr7jrkw>
- ▶ 46 쪽(실험 영상): <https://qr.mirae-n.com/v/8b6n08w1s0>
- ▶ 48 쪽, 82 쪽(워크넷): <https://www.work.go.kr>
- ▶ 66 쪽(실험 영상): <https://qr.mirae-n.com/v/f3ny2ba6bg>
- ▶ 99 쪽(바이오인): <http://www.bioin.or.kr>
- ▶ 104 쪽(브이랩온): <http://www.vlabon.re.kr>
- ▶ 116 쪽(커리어넷): <http://www.career.go.kr>

집필진

약력

오현선 (대표 집필 위원)	(현) 서울고등학교 교사 서울대학교 사범대학 생물교육과 졸업, 연세대학교 대학원 생물교육과 석사
강희정	(현) 세종과학고등학교 교사 서울대학교 사범대학 생물교육과 졸업, 서울대학교 대학원 과학교육과 석사
정종우	(현) 이화여자대학교 과학교육과 교수 서울대학교 분자생물학과 졸업, 서울대학교 대학원 분자생물학과 석사, 서울대학교 대학원 생명과학부 박사
이일규	(현) 서울과학고등학교 교사 서울대학교 사범대학 생물교육과 졸업
김대준	(현) 방산고등학교 교사 서울대학교 사범대학 생물교육과 졸업
최종훈	(현) 서울사대부설여자중학교 교사 서울대학교 사범대학 생물교육과 졸업

단원별 집필진

I 유전자와 유전물질	1. 사람의 유전과 유전병	강희정, 오현선
	2. 유전물질	
II 유전자의 발현	1. 유전자발현 과정	최종훈, 김대준
	2. 유전자발현 조절	
III 생명공학기술	1. 생명공학기술의 발달과 활용	정종우, 이일규
	2. 생명공학기술의 영향과 생명윤리	

연구 위원

오현선(서울고등학교)*

강희정(세종과학고등학교)

* 대표 연구 위원

집필 위원

오현선(서울고등학교)*

강희정(세종과학고등학교)

정종우(이화여자대학교)

이일규(서울과학고등학교)

김대준(방산고등학교)

최종훈(서울사대부설여자중학교)

* 대표 집필 위원

심의 기관

대구광역시교육청

심의 위원

개발 책임	하남규
편집	오진경 하인희 소정신 문지혜
디자인 책임	손현지
디자인	김기욱 장병진 땡큐마더
삽화	김민선 김진호 임영택 전수교 조성호 최원영 황주리 모먼트시리즈
사진 촬영	필름피아
실험 기자재 협조	세원과학사

교육부장관의 위임을 받아 대구광역시교육감이 2024년 0월 00일 인정 승인을 하였음.

고등학교 생물의 유전

초판 발행	2025. 3. 1.	정가	원
지은이	오현선 외 5인		
발행인	(주)미래엔(서울특별시 서초구 신반포로 321)		
인쇄인	(주)미래엔(서울특별시 서초구 신반포로 321)		

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 한국문학예술저작권협회(전화 02-2608-2800, www.kolaa.kr)에서 저작권자에게 지급합니다.

내용 관련 문의 (주)미래엔 과학팀 전화 1800-8890 전송 02-541-8150
개별 구입 문의 mall.mirae-n.com(미래엔 도서몰) 전화 1800-8890