

2 유전물질

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

학습할 내용을 알아보고,
스스로 학습 계획을 세워 봅시다.

유전물질을 이용하여 멸종한 생물을
복원하려는 연구가 진행되고 있다.

들어다보기 멸종한 생물을 복원하는 데 유전
물질을 이용하는 까닭은 무엇일까?

생각해 보기 유전물질에는 유전정보가 어떻게
저장되어 있을까?



이전
학습 내용

알고 있는 단어에 ✓ 표 해 보자.

☐ 유전자 ☐ DNA 구조

이 단원의
학습 내용

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.

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. 1865 년 멘델이 유전의 기본 원리를 제시한 뒤 과학자들은 유전 인자가 무엇인지에 관심을 가졌다.

1902 년 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.

1926 년 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

유전자 위치

모건은 유전자가 염색체의 일정한 위치에 있다고 주장했다.



그림 I-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. 모듈별로 연구를 하나씩 골라 연구 과정과 결과, 연구의 중요성에 대해 조사해 보자.

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



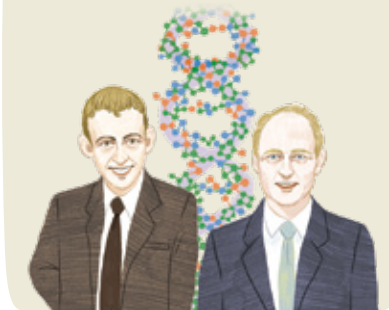
샤가프
(Chargaff, E., 1905~2002)의
생물의 염기 조성 비율 조사



프랭클린(Franklin, R. E., 1920~1958)과 월킨스(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 툴과 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 모듈의 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

1. DNA가 유전물질이라는 것을 밝히는 데 기여한 연구 결과를 정리해 보자.



2. DNA가 이중나선구조라는 것을 밝히는 데 기여한 연구 결과를 정리해 보자.



폐렴균의 특징

폐렴균은 폐렴의 주요 원인인 세균이며, 둥근 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.

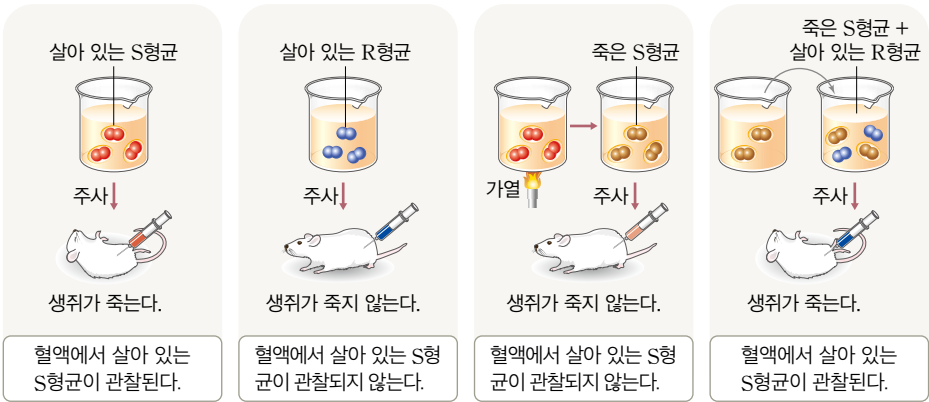


그림 I-12 그리피스의 실험

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.

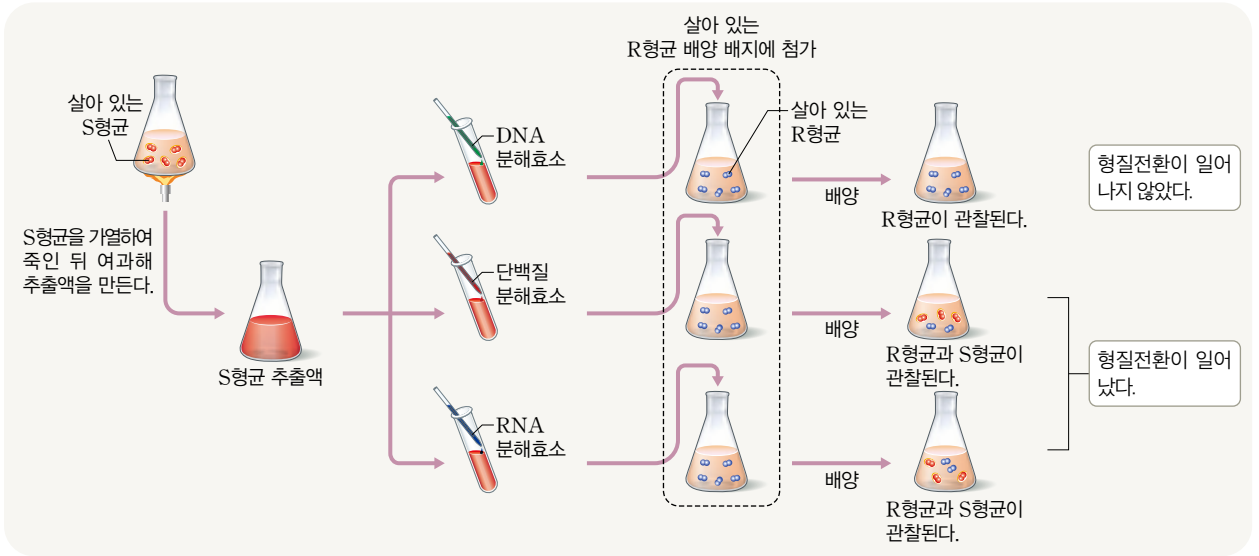


그림 I-13 에이버리의 실험

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.

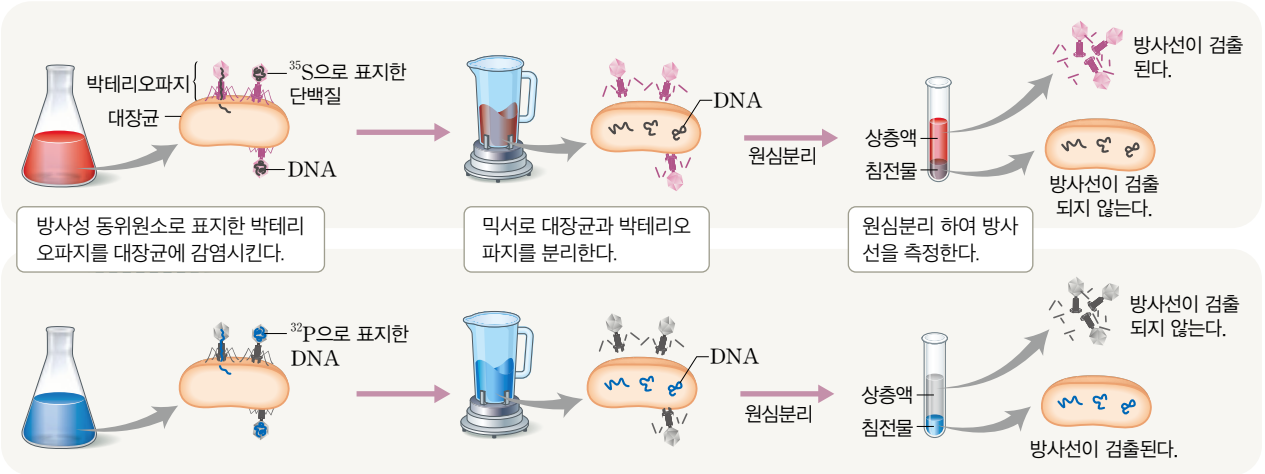
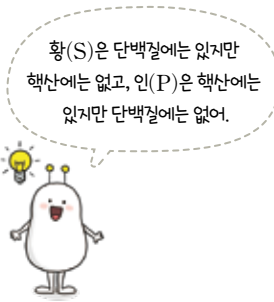


그림 I-14 허시와 체이스의 실험 박테리오파지가 DNA와 단백질 껍질로만 이루어지고, 대장균 안에서는 스스로 증식하는 특성을 이용하여 실험했다.

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 **폴리뉴클레오타이드**가 형성 된다. 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.

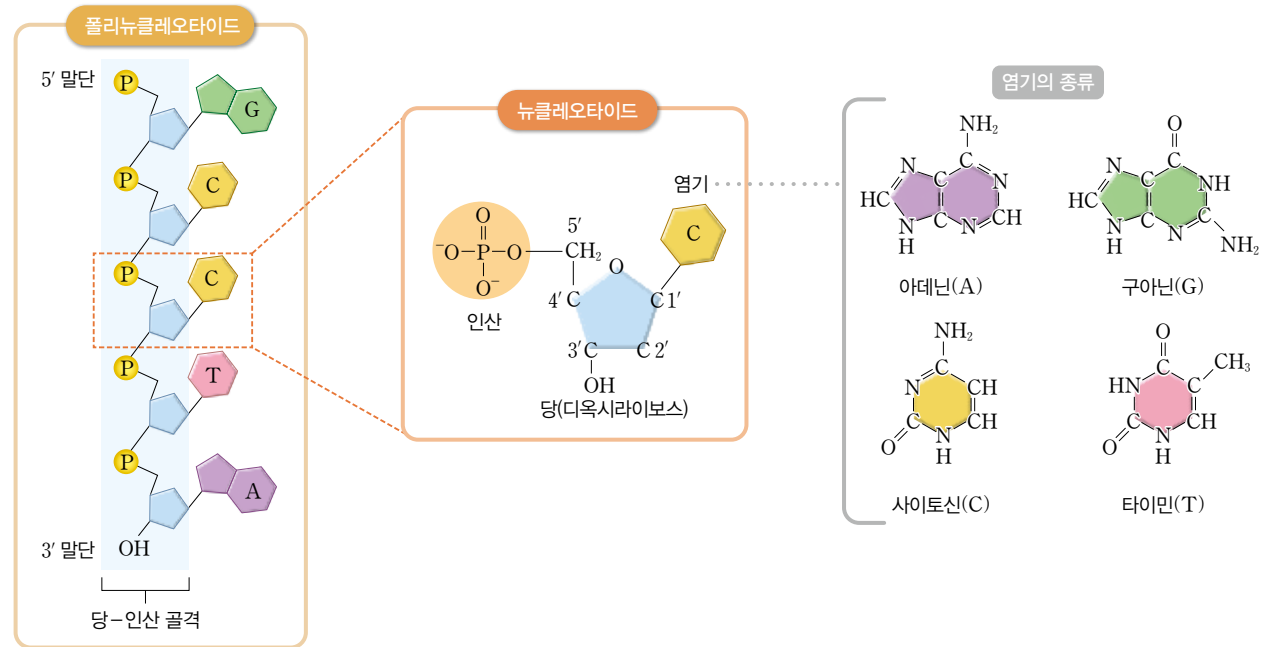


그림 I-15 폴리뉴클레오타이드의 구조 폴리뉴클레오타이드는 방향성이 있으며, 뉴클레오타이드의 연결에 의해 염기서열이 나타난다.

DNA는 폴리뉴클레오타이드 두 가닥이 나선 모양으로 꼬여 있어 **이중나선**의 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.

(가)	퓨린계열 염기끼리의 결합				
	피리미딘계열 염기끼리의 결합				
(나)	퓨린계열 염기와 피리미딘계열 염기의 결합				

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 결합**이라고 하며, 상보결합으로 상보적 염기쌍이 형성된다. 이처럼 퓨린계열의 염기와 피리미딘계열의 염기가 상보결합 하므로 DNA 이중나선의 지름은 일정하며, 상보결합으로 연결된 폴리뉴클레오타이드 두 가닥은 방향이 서로 반대이다.

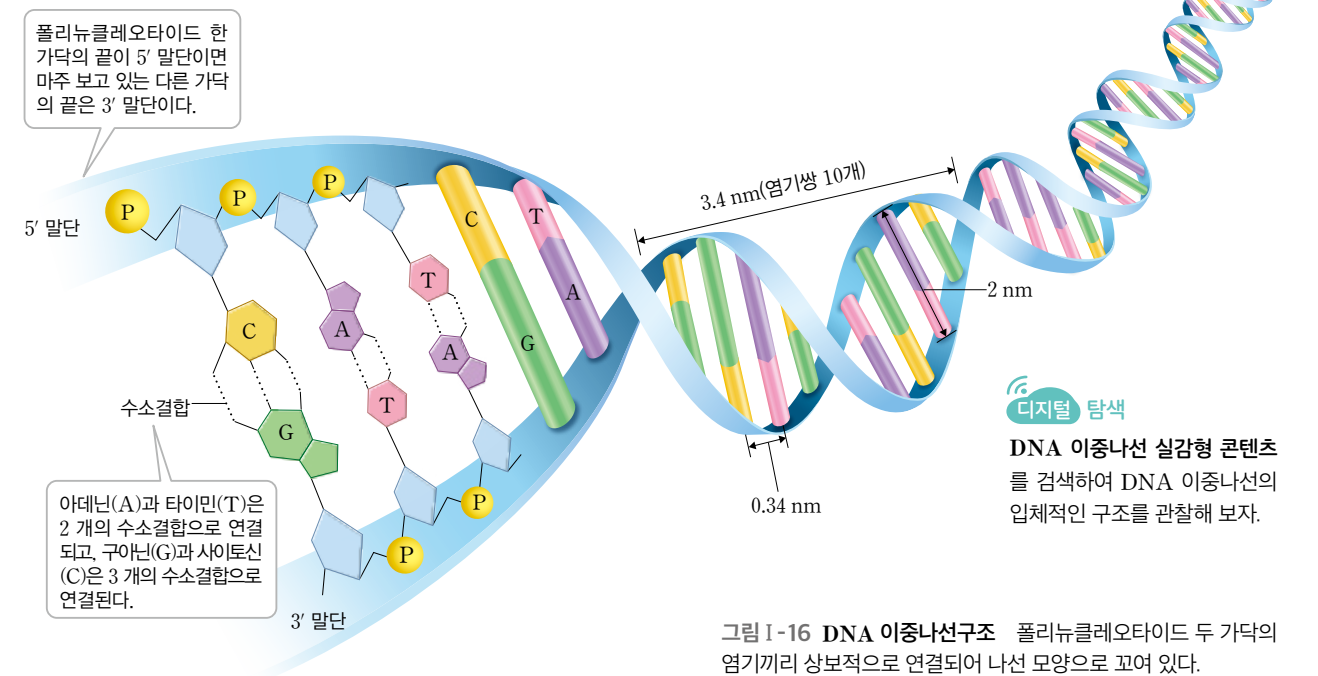


그림 I-16 DNA 이중나선구조 폴리뉴클레오타이드 두 가닥의 염기끼리 상보적으로 연결되어 나선 모양으로 꼬여 있다.

다음 탐구에서 식물세포에 있는 DNA를 추출하여 관찰해 보자.

탐구

실험, 결론 도출

탐구 능력 | 문제 해결 능력

실험 영상



DNA를 추출하여 관찰하기

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.



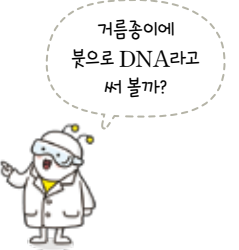
준비물

- ☒ 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.

스스로 평가하기

[지식·이해] DNA 추출 과정에서 실험 원리를 이해했는가? ☆☆☆

[과정·기능] 브로콜리의 DNA를 추출하여 관찰했는가? ☆☆☆

[가치·태도] 실험 결과를 있는 그대로 기록했는가? ☆☆☆

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 확인하기

- 허시와 체이스는 박테리오파지의 구성 물질 중 ()이/가 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.

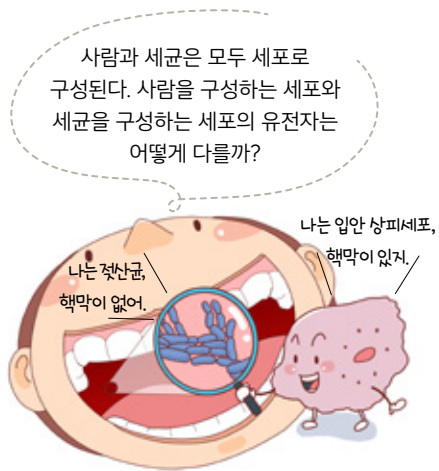
단원을 마치기 전에
학습 목표를 달성했는지
31 쪽 학습 목표에 ✓ 표
하여 스스로 점검해 보자.

02

유전체 구성과 유전자 구조

| 학습 목표 |

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



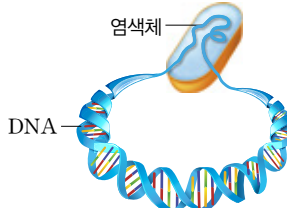
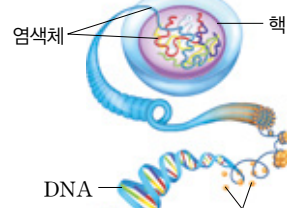
유전체 구성과 유전자 구조는 『생명과학』의 '생명의 연속성과 다양성' 단원과 연계된다.

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.

해 보기

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	 원형의 염색체 1 개	 선형의 염색체 23 개
유전체의 크기 (10 ⁶ 염기쌍)	4.6	3000
유전자의 수(개)	4400	21300

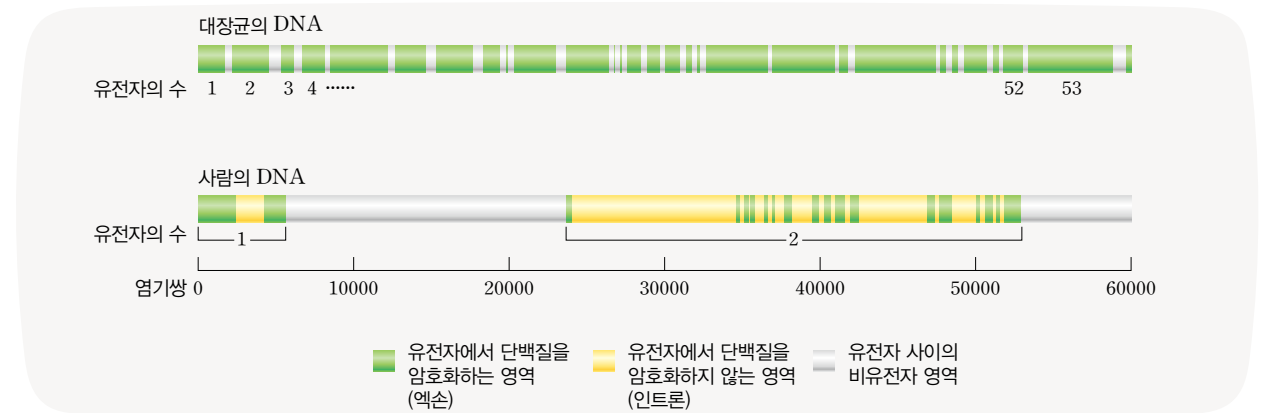
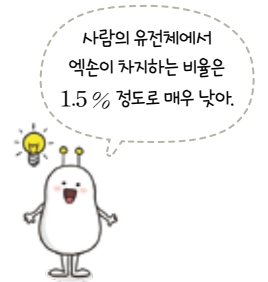
(출처: 『생명과학』, 2022.)

1. 대장균과 사람 염색체의 형태와 수를 비교하여 차이점을 설명해 보자.
2. 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.

참고 사항 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

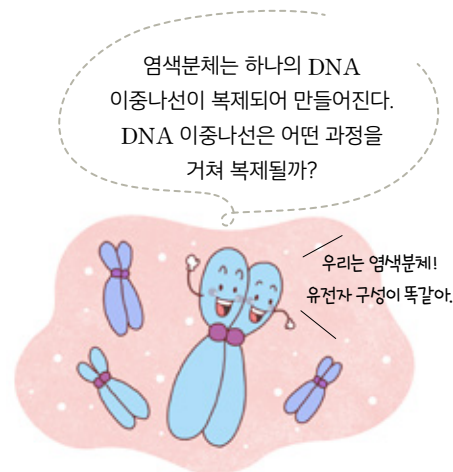
1. 생물의 ()은/는 세포 내 유전정보 전체이다.
2. 진핵세포의 유전자에서 단백질을 암호화하는 영역을 무엇이라고 하는지 써 보자.
3. **과학 역량 기르기** 유전체에서 단백질을 암호화하는 영역의 비율은 대장균과 사람 중 어느 것이 더 높은지 유전체의 구성과 유전자의 구조를 근거로 하여 설명해 보자.

단원을 마치기 전에 학습 목표를 달성했는지 40 쪽 학습 목표에 ✓ 표 하여 스스로 점검해 보자.

03 DNA의 복제

| 학습 목표 |

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



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.

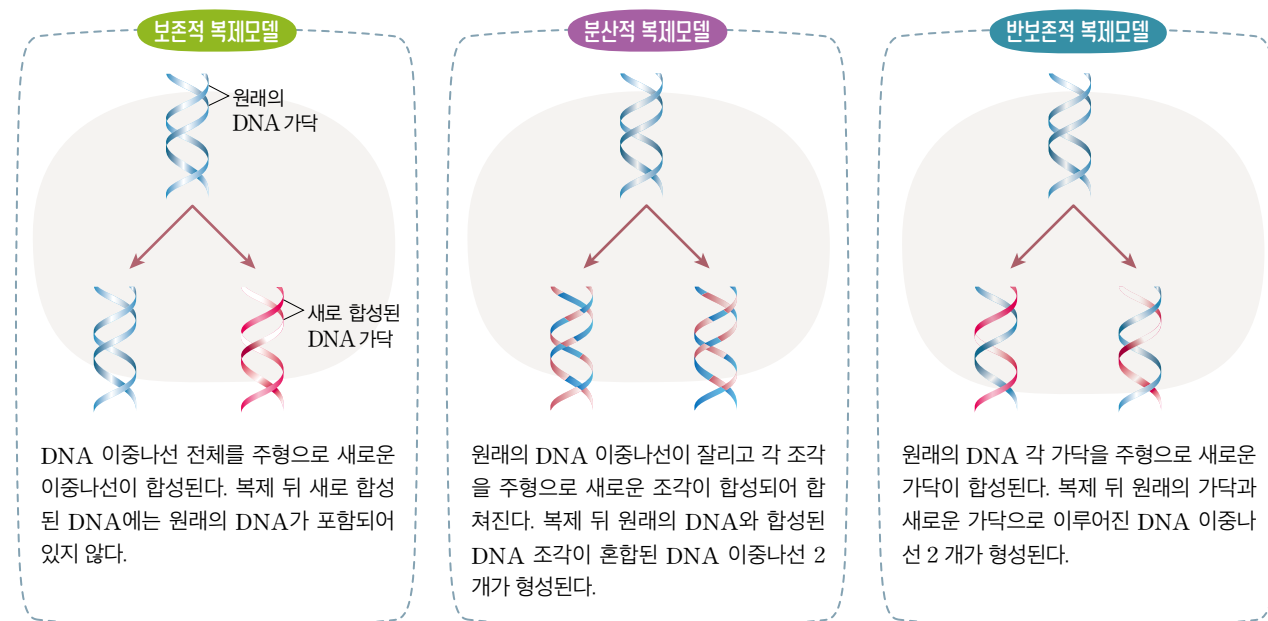


그림 I-18 DNA 복제에 대한 세 가지 모델

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.

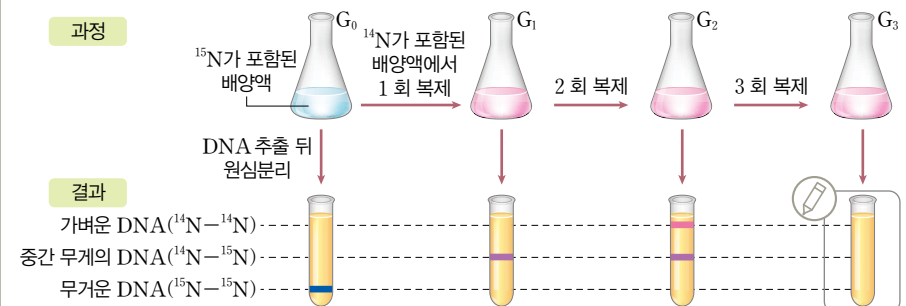
탐구 DNA 복제 방식 추론하기

- 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(^{15}N)가 포함된 배양액에서 여러 세대 배양하여 ^{15}N 로 표지된 DNA를 가진 대장균(G_0)을 얻었다.
- G_0 일부를 가벼운 질소(^{14}N)가 포함된 배양액에서 1회 분열시켜 1세대 대장균(G_1)을 얻었다.
- G_1 일부를 ^{14}N 가 포함된 배양액에서 1회 분열시켜 2세대 대장균(G_2)을 얻고, G_2 일부를 ^{14}N 가 포함된 배양액에서 1회 분열시켜 3세대 대장균(G_3)을 얻었다.
- G_0 , G_1 , G_2 , G_3 의 DNA를 각각 추출하여 원심분리 했다.



1. G_1 과 G_2 의 결과로 기각된 DNA 복제모델을 모두 쓰고, 그 까닭을 설명해 보자.
2. 이 실험 결과가 지지하는 DNA 복제 방식을 바탕으로 하여 G_3 의 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.

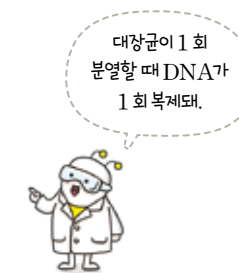
탐구 능력 | 문제 해결 능력

준비물

- ☑ 스마트 기기

탐구 유의 사항

발표할 때에는 내용을 이해하기 쉽게 설명한다.



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-19**와 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.

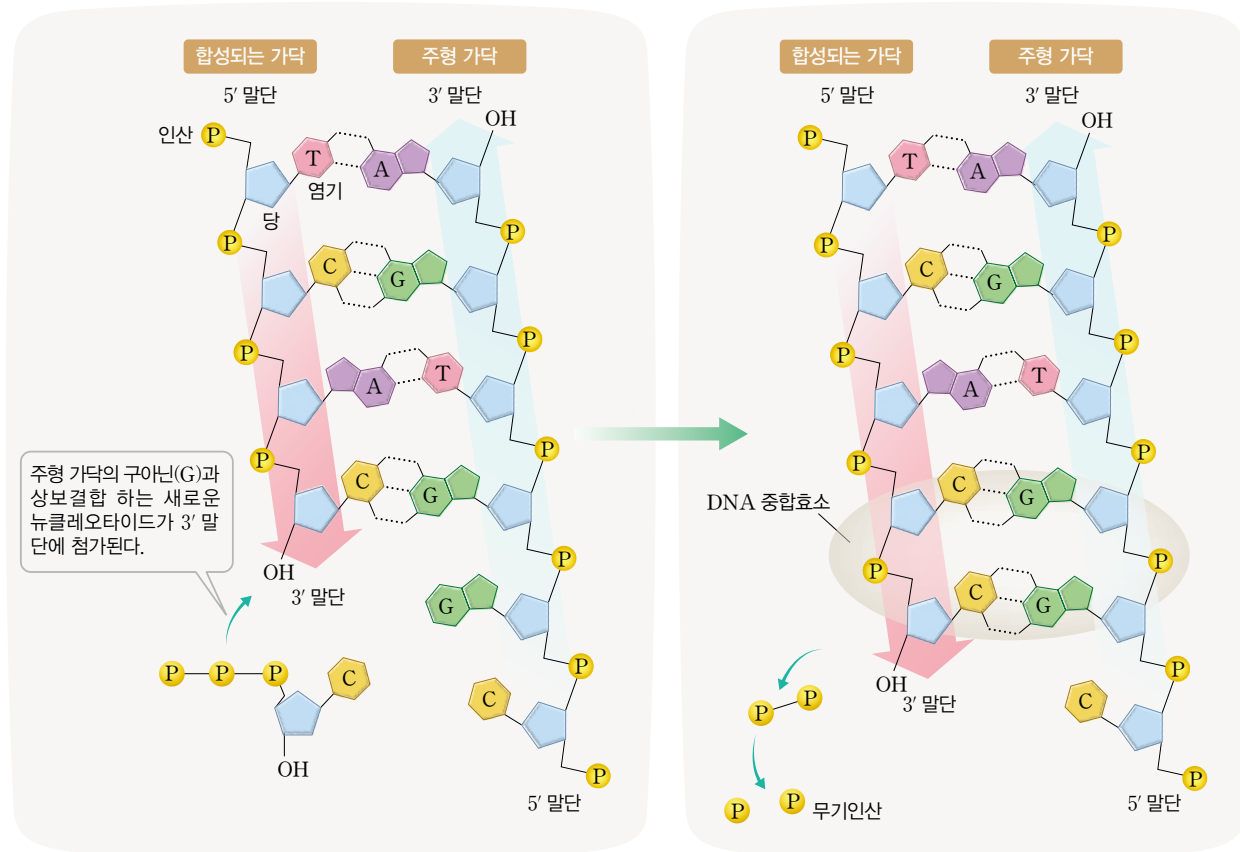


그림 I-19 DNA 중합효소의 작용 DNA 중합효소는 새로 합성되는 가닥의 5' 말단 → 3' 말단 방향으로 뉴클레오타이드를 연결하며, 합성 중인 가닥과 주형 가닥의 방향은 서로 반대이다.

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.

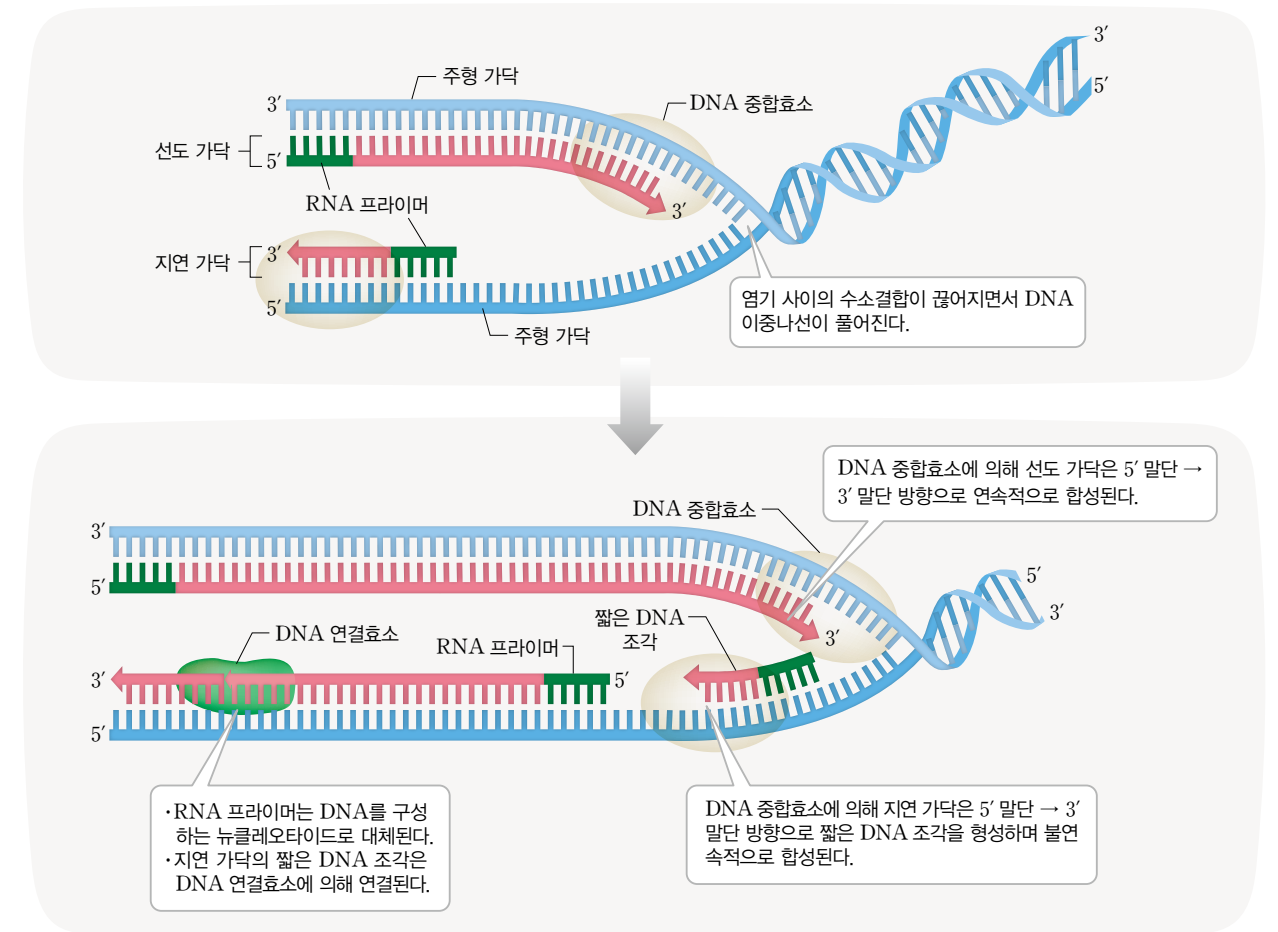


그림 I-20 DNA 복제 과정

탐구
추론,
모형 생성

🔍 탐구 능력 | 🐾 문제 해결 능력

▶ 실험 영상

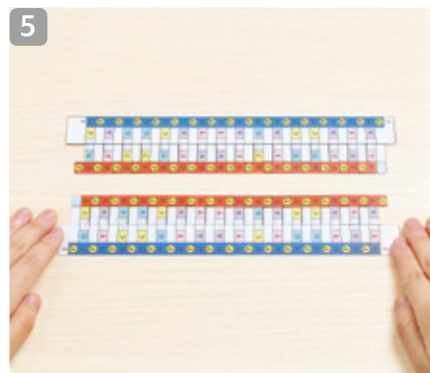
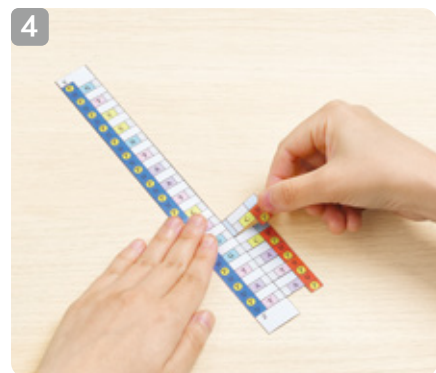


과정

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.

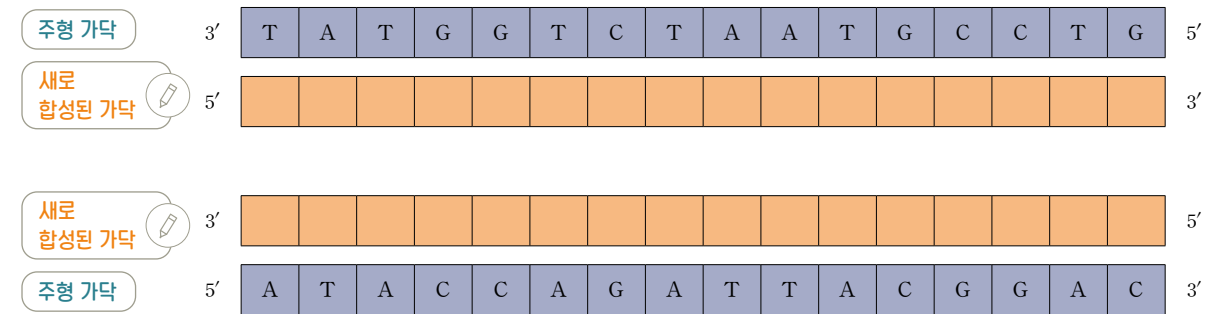
- 아데닌(A)은 항상 타이민(T)과, 구아닌(G)은 항상 사이토신(C)과 상보결합 한다.
- 아데닌(A)과 타이민(T) 사이에는 2 개의 수소결합이 형성되고, 구아닌(G)과 사이토신(C) 사이에는 3 개의 수소결합이 형성된다.

- 2 뉴클레오타이드 모형
-
- 3 개의 수소결합
- 2 개의 수소결합



1. 새로 합성된 DNA 가닥의 염기서열을 써 보자.

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.



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 ✓ 표
하여 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 데이터베이스를 구축합니다. 최근에는 해결되지 않은 사건과 관련된 DNA가 손상되지 않게 관리하거나 동식물의 종을 알아내는 일도 합니다.



생각 펼치기

유전자감식수사연구원이 되려면 어떻게 준비해야 하는지 계획을 세워 보자.



문제 해결 능력

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.



워크넷(www.work.go.kr)

유전자감식수사연구원과 관련된 정보를 찾아보자.



종단원 마무리

2. 유전물질

01 DNA의 구조

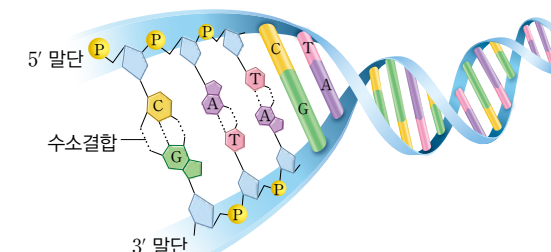
31 쪽~39 쪽

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

스스로 평가하기

이 단원에서 학습한 내용을 확인하고 스스로 평가해 봅시다.

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

평가 결과가 아쉽다면 '2. 유전물질'을 다시 한번 학습해 봅시다.

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.

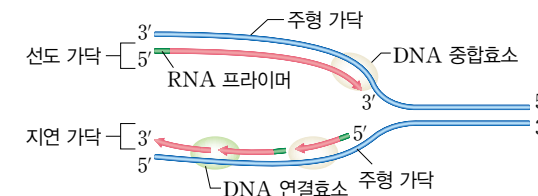
03 DNA의 복제

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

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.

DNA 복제에 관여하는 효소들은 더 있을까?

DNA가 복제되는 과정은 여전히 어려운 것 같아.

3
평가하기

- 다른 모듬의 책 소개 글을 모듬원과 함께 읽어 보자.
- 다음 표를 활용하여 우리 모듬과 다른 모듬의 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?			

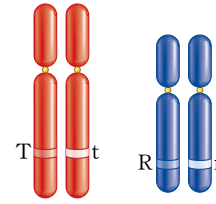
대단원 마무리

I. 유전자와 유전물질

131 쪽에서 정답을 확인할 수 있어요.

1. 사람의 유전과 유전병 8 쪽

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

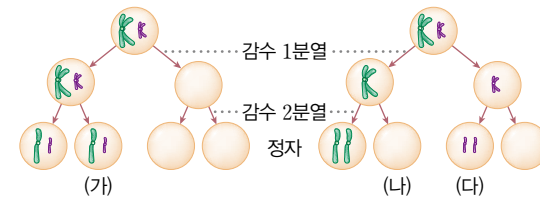


- [보기]
- ㄱ. T와 t는 DNA 염기서열이 서로 다르다.
 - ㄴ. 감수분열 과정에서 R과 r는 같은 생식세포로 들어간다.
 - ㄷ. 상동염색체 중 하나는 어머니에게서, 다른 하나는 아버지에게서 물려받은 것이다.

- 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.



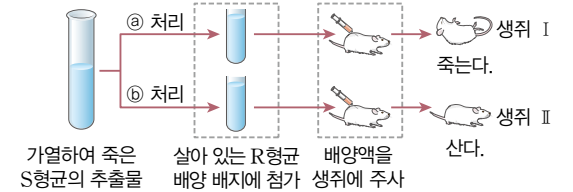
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 성염색체의 염색체비분리현상 이외에 다른 돌연변이는 고려하지 않는다.)

- [보기]
- ㄱ. (가)와 정상 난자가 수정하여 태어난 아이는 터너증후군을 나타낸다.
 - ㄴ. (나)와 정상 난자가 수정하여 태어난 아이의 체세포에는 45 개의 염색체가 있다.
 - ㄷ. 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 폐렴균을 이용하여 수행한 실험의 일부를 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡는 DNA 분해효소와 단백질분해효소를 순서 없이 나타낸 것이다.



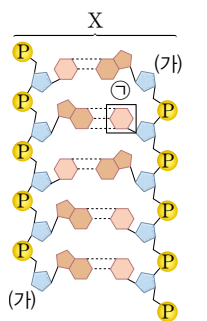
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- [보기]
- ㄱ. ㉠은 단백질분해효소이다.
 - ㄴ. ㉡에 의해 살아 있는 R형균이 S형균으로 형질 전환되었다.
 - ㄷ. 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]
- ㄱ. (가)는 5' 말단이다.
 - ㄴ. ㉠은 사이토신(C)이다.
 - ㄷ. X에는 총 4 개의 아데닌(A)이 있다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

과학 역량 기르기

2. 유전물질 30 쪽

1. 사람의 유전과 유전병 8 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 건져 증류수에 넣고 섞는다.
 (라) (다)의 용액을 붓에 묻혀 거름종이에 여러 번 겹쳐 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

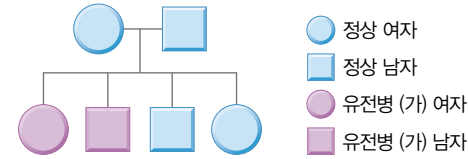
2. 유전물질 30 쪽

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

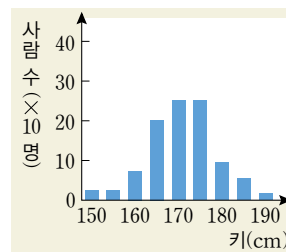
07 그림은 어느 집안의 유전병 (가) 가계도를 나타낸 것이다. (단, 돌연변이는 고려하지 않는다.)



- (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

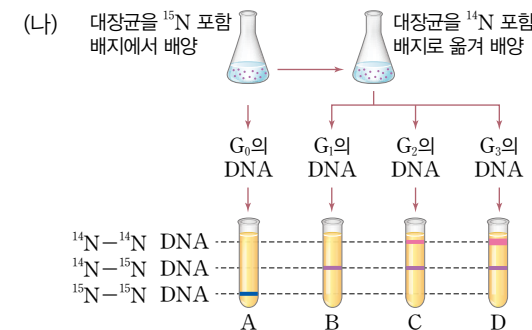
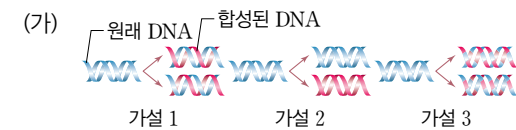
09 그림은 박테리오파지를 이용한 허시와 체이스의 실험 중 일부를 나타낸 것이다.



- (1) 박테리오파지의 단백질 껍질과 DNA 중 방사성 동위원소 ^{32}P 으로 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.

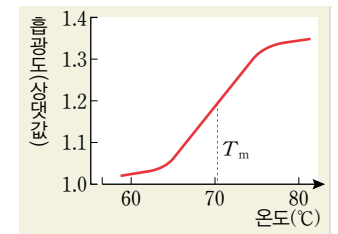


- (1) C의 결과에 의해 채택되는 가설은 무엇인지 쓰고, 그렇게 판단한 까닭을 설명해 보자.
 (2) D에서 $^{14}\text{N}-^{14}\text{N}$ DNA와 $^{14}\text{N}-^{15}\text{N}$ DNA에 나타나는 DNA양의 비를 써 보자.

과학 글쓰기

[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.