

I

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

생명과과학

- 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

이 단원의 학습 내용

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.

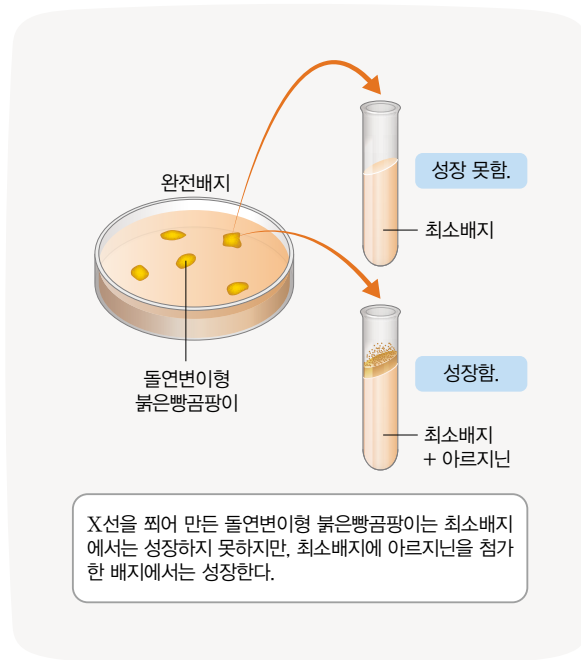
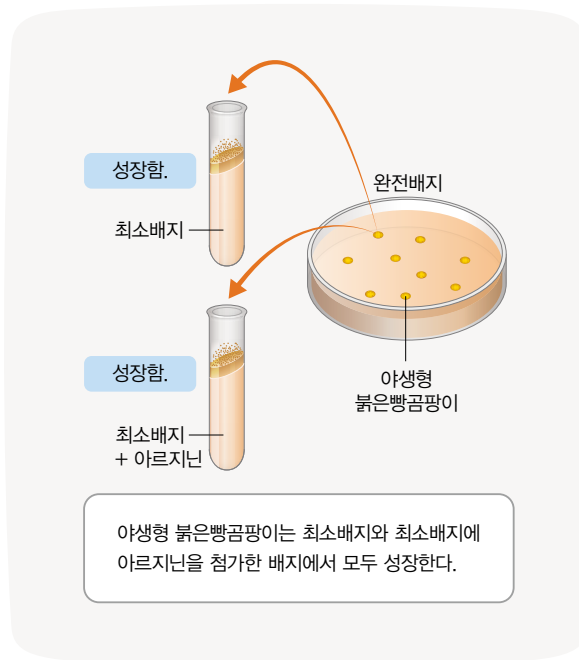


그림 II-1 비들과 테이텀의 붉은빵곰팡이 실험

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

해보기

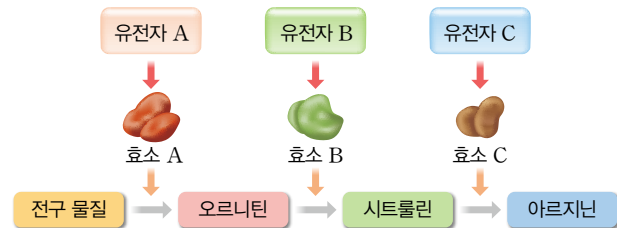
유전자와 효소의 관계 알아보기

다음은 비들과 테이텀이 붉은빵곰팡이를 이용하여 수행한 실험이다.

- 야생형 붉은빵곰팡이에 X선을 쬔 뒤 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.
돌연변이형	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.

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 1효소설**을 제안했다. 이후 유전자가 인슐린, 케라틴 같은 효소 외의 단백질을 합성하는 데에도 관여한다는 것이 밝혀져 1유전자 1효소설은 **1유전자 1단백질설**로 확장되었다.

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

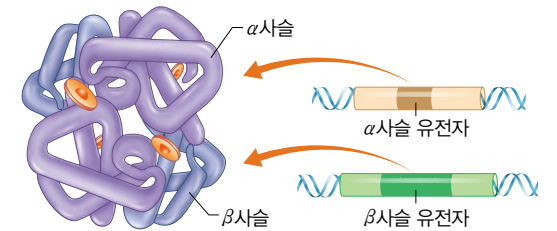


그림 II-2 헤모글로빈의 구조 헤모글로빈을 이루는 두 종류의 폴리펩타이드는 서로 다른 유전자로부터 합성된 것이다.

중심원리

유전자의 정보에 따라 단백질이 합성되어 유전형질이 나타나는 과정을 **유전자발현**이라고 한다. 유전자발현 과정에서는 **그림 II-3**과 같이 DNA의 유전정보가 RNA로 전달되는 전사와 RNA의 유전정보를 이용하여 단백질이 합성되는 번역이 일어난다. 이러한 유전정보의 흐름을 **중심원리**라고 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

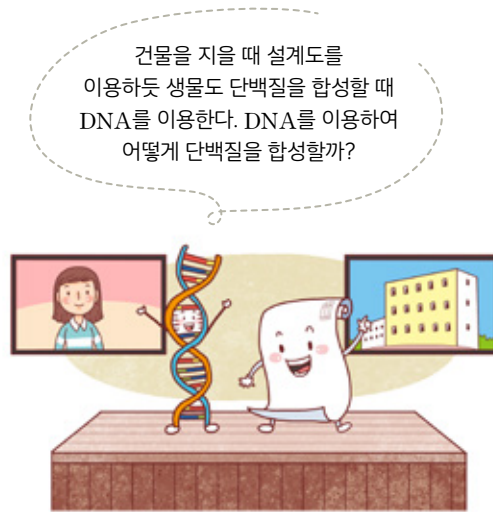
- 비들과 테이텀의 실험에서 돌연변이형 붉은빵곰팡이는 아르지닌 합성 과정에 관여하는 ()에 이상이 생겼다.
- 중심원리에 따르면 DNA → () → 단백질 순으로 유전정보가 전달되어 유전자가 발현된다.
- 과학 역량 기르기** DNA 중합효소는 여러 종류의 폴리펩타이드가 복합체를 형성하여 작용한다. 1유전자 1효소설, 1유전자 1단백질설, 1유전자 1폴리펩타이드설 중 DNA 중합효소 합성을 가장 잘 설명할 수 있는 이론은 무엇인지 그 까닭과 함께 설명해 보자.

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.



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 진핵 세포에서는 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.

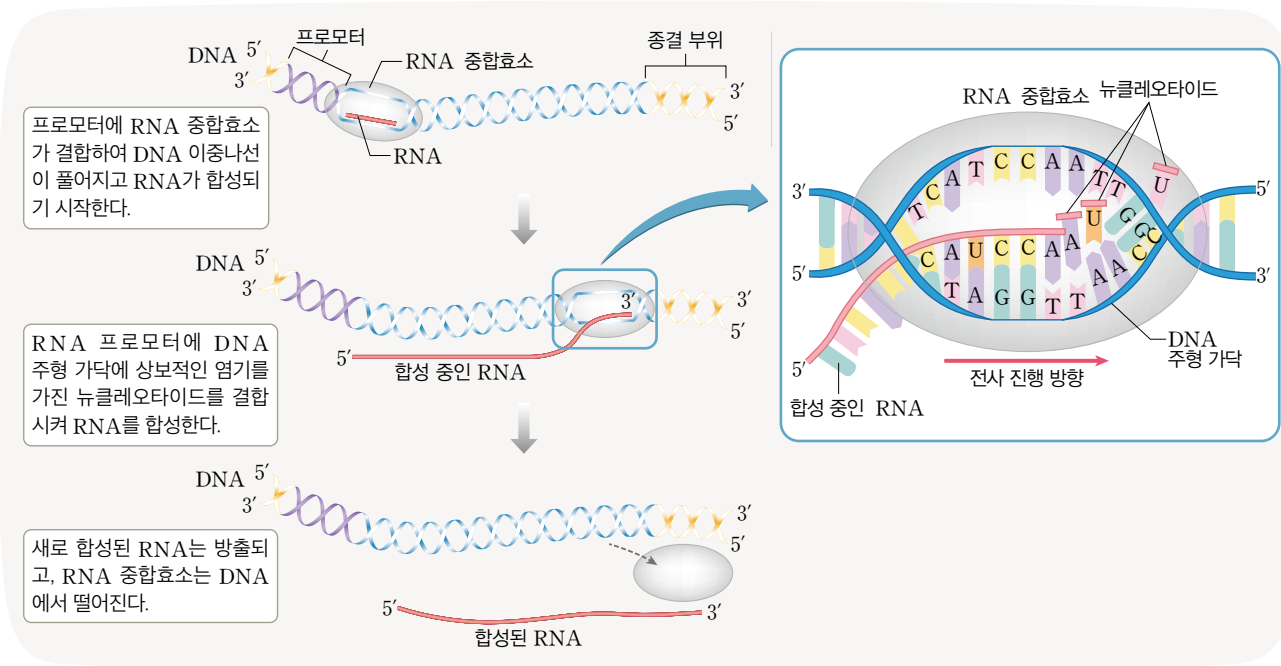


그림 II-4 전사 과정

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

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.

참고사고 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-8**과 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.

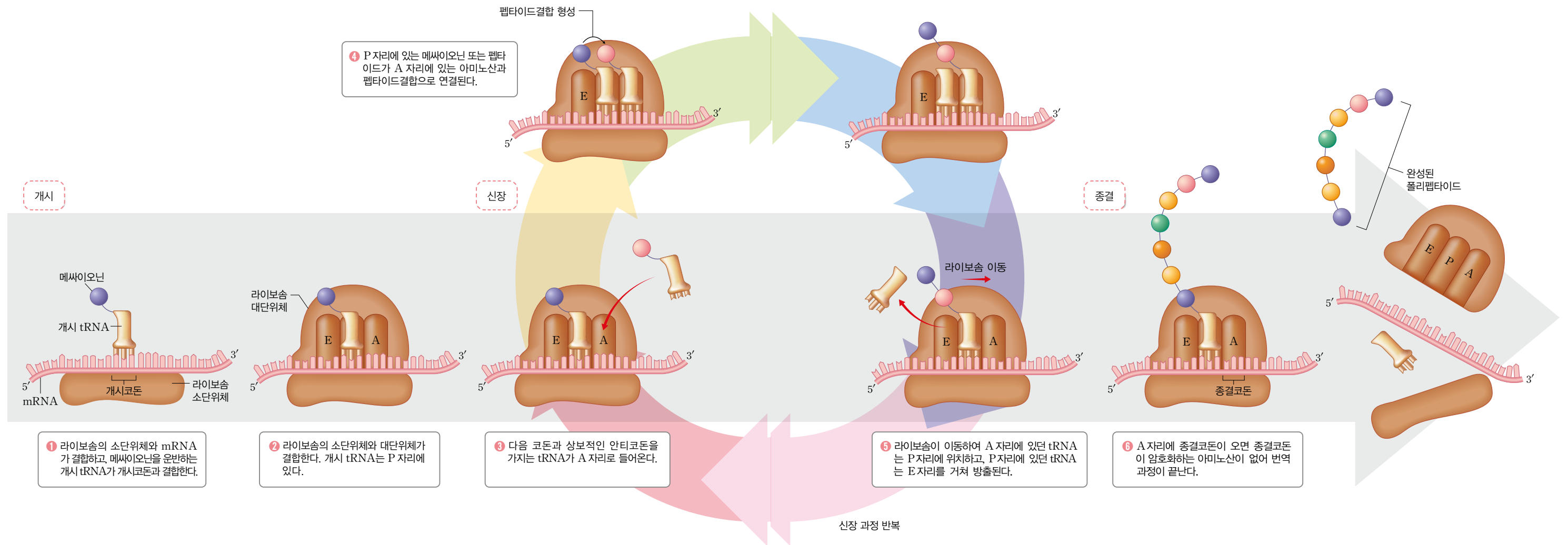
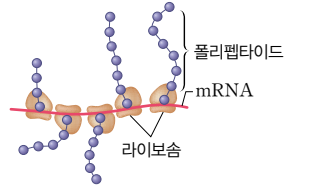


그림 II-8 번역 과정

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

준비물

- ☑ 단백질 합성 과정 모형(부록 129 쪽)
- ☑ 칼
- ☑ 가위
- ☑ 사면체 주사위
- ☑ 셀로판테이프

안전



칼이나 가위를 사용할 때에는 손을 다치지 않도록 주의한다.

탐구 능력 | 문제 해결 능력

단백질 합성 과정 모의실험 하기

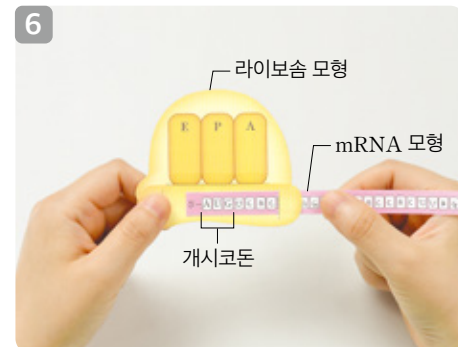
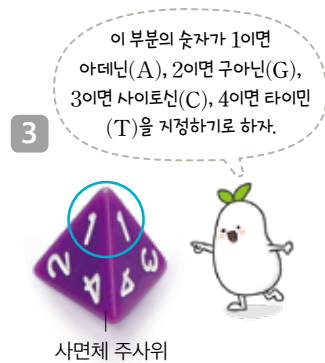
실험 영상



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.
- ❗ 61 쪽 그림 II-5의 유전부호 표를 이용한다.
9. 개시 tRNA에서 메싸이오닌을 잘라 낸 뒤 A 자리에 있는 아미노산과 연결한다.



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 종결코돈이 오면 모든 모형을 분리하여 단백질 합성 과정을 완료한다.



결과및정리

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

3개의 염기가 아미노산을 암호화하는가?

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

토의·토론

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

의사 결정 능력

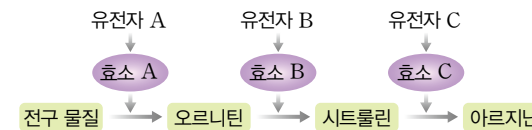
중단원 마무리

1. 유전자발현 과정

01 유전정보의 흐름

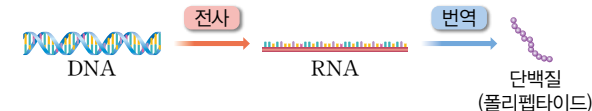
57 쪽~59 쪽

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.



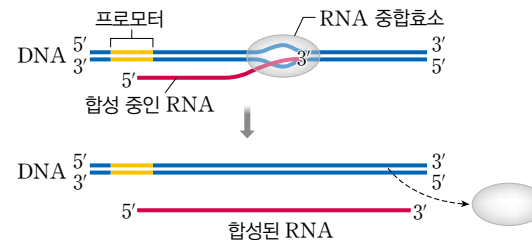
▲ 중심원리

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

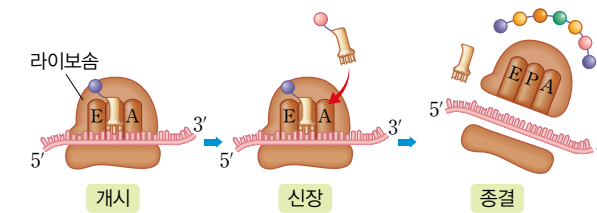
2. 유전부호

- ④ : DNA의 3염기조합과 상보적이며, 아미노산에 대한 정보를 암호화하는 연속된 3개의 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.

- | | | |
|-------|---|------------------------------------|
| 지식·이해 | 전사 과정을 설명했는가? | 번역 과정을 설명했는가? |
| 과정·기능 | 유전부호 표를 이용하여 DNA의 염기서열로부터 단백질의 아미노산서열을 알아냈는가? | 모형을 이용하여 단백질 합성 과정을 표현했는가? |
| 가치·태도 | 유전자발현을 학습하면서 과학 이론의 놀라움을 경험했는가? | 단백질 합성 과정을 모형으로 표현하면서 과학적으로 사고했는가? |

우수 보통 미흡

☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐

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