

① 유전자와 단백질의 관계

**유전자 발현**

유전자로부터 유전 형질이 나타나기까지의 과정

**코드**

트리플렛 코드(3염기 조합) = 코드 로 서술된다.

**전사**

DNA에 저장되어 있던 유전 정보가 RNA로 옮겨지는 과정

**번역**

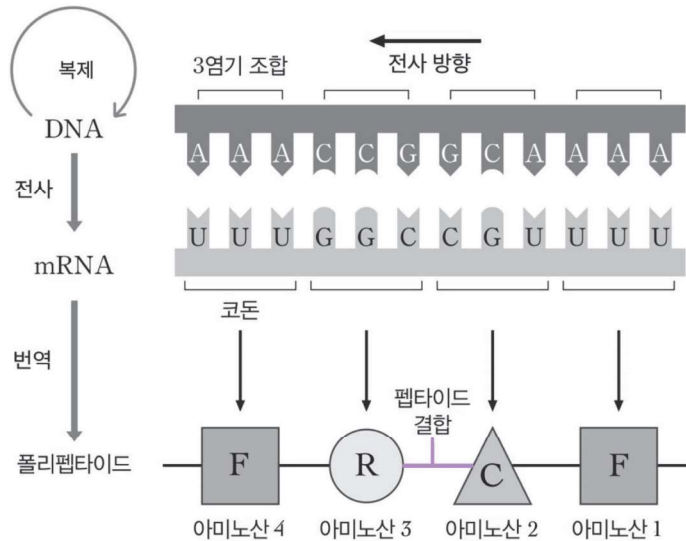
mRNA의 유전 정보에 따라 리보솜에서 폴리펩타이드가 합성되는 과정

이 과정에서 리보솜, mRNA, rRNA, tRNA가 사용된다.

**1. 유전 정보와 유전 부호**

DNA를 구성하는 염기, 당, 인산 중 뉴클레오타이드 간 종류가 다른 것은 염기뿐이다. 따라서 DNA 내에서 유전 정보의 역할을 할 수 있는 물질은 '염기'이다.

DNA에서 유전 부호의 역할을 하는, 연속된 3개의 염기를 **3염기 조합(트리플렛 코드)**라고 하고, 이에 상보적인 mRNA의 유전 부호를 **코돈**이라고 한다.



**[근거]**

유전 부호가 3개 이상의 연속된 염기로 이루어져야 하는 근거는 다음과 같다.

DNA의 염기는 4종류인데 반해, 아미노산의 종류는 20가지가 존재한다.

각각의 아미노산을 암호화하는 데 염기가 1개씩 사용된다면 A, T, G, C로 최대 4종류의 유전 암호만 가능하고, 그에 따른 아미노산도 최대 4종류만 암호화할 수 있다.

마찬가지로 각각의 아미노산을 암호화하는 데 염기가 2개씩 사용된다면 AA, AT, AG, AC, TA, ..., CC로 최대 16종류의 유전 암호만 가능하여 아미노산도 최대 16종류만 암호화할 수 있다. 즉, **1개나 2개의 염기가 한 종류의 아미노산을 지정한다면 모든 아미노산을 지정할 수 없다.**

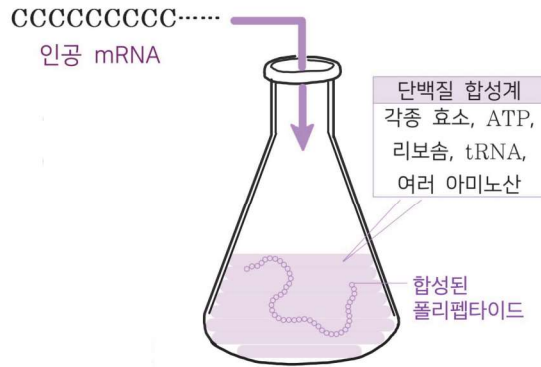
반면 염기가 3개씩 사용된다면 AAA, AAT, AAG, AAC, ATA, ..., CCC같은 유전 부호를 만들면 모두  $64 (= 4^3)$ 종류의 암호가 가능해 20종류의 아미노산을 지정하기에 충분하다.

그리고 이에 대한 실험을 진행한 결과, 실제로 3개의 염기가 한 조가 되어 암호 단위를 형성하여 20종류의 아미노산에 대한 정보를 암호화하는 것이 밝혀졌다.

## 2. 유전 부호의 해독 실험

### [실험 과정 1]

1. 대장균으로부터 mRNA 이외에 단백질 합성에 필요한 물질(단백질 합성계)을 추출한다.
2. 단백질 합성계에 각각 아데닌(A), 유라실(U), 사이토신(C), 구아닌(G)으로만 이루어진 인공 mRNA A를 넣고, 합성되는 폴리펩타이드를 조사한다.



### [실험 결과 1]

염기 서열이 5'-UUUUU...-3'인 mRNA를 넣었을 때는 페닐알라닌으로만,  
 염기 서열이 5'-AAAAA...-3'인 mRNA를 넣었을 때는 라이신으로만  
 염기 서열이 5'-CCCCC...-3'인 mRNA를 넣었을 때는 프롤린으로만  
 염기 서열이 5'-GGGGG...-3'인 mRNA를 넣었을 때는 글리신으로만 이루어진 폴리펩타이드가 나타났다.

### [결과 1 해석]

단백질 합성계에 주입한 뉴클레오타이드의 개수는 합성된 폴리펩타이드의 아미노산 개수의 3배였다. 이를 통해 3개의 염기가 하나의 아미노산을 지정한다는 것을 알 수 있다.

UUU는 페닐알라닌, AAA는 라이신, CCC는 프롤린, GGG는 글리신을 지정한다.

**개시 코돈은 고려하지 않는다.**  
 유전 부호의 해독 실험에서, 개시 코돈(AUG)은 고려하지 않고 특정 염기부터 단계적으로 해석한다고 가정한다.

### Reading Frame

5'...CAACAACAACAA...3'

위 서열은 다음과 같이 세 가지 틀로 번역될 수 있다.

### Frame 1

5'.../CAA/CAA/CAA/CAA/...3'

### Frame 2

5'...C/AAC/AAC/AAC/AA...3'

### Frame 3

5'...CA/ACA/ACA/ACA/A...3'

### Frame 4 = Frame 1

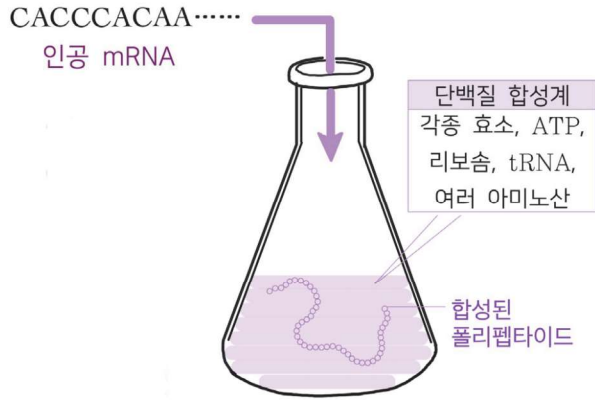
5'...CAA/CAA/CAA/CAA/...3'

어느 염기부터 번역을 시작하느냐에 따라 생성되는 폴리펩타이드의 아미노산 조성이 달라진다.

① 유전자와 단백질의 관계

[실험 과정 2]

1. 대장균으로부터 mRNA 이외에 단백질 합성에 필요한 물질(단백질 합성계)를 추출한다.
2. 단백질 합성계에 무작위로 아데닌(A)과 사이토신(C)이 섞인 인공 mRNA를 넣고, 합성되는 폴리펩타이드를 조사한다.



[실험 결과 2]

글루타민, 히스티딘, 아스파라진, 프롤린, 트레오닌, 라이신으로 구성된 폴리펩타이드가 합성되었다.

[결과 2 해석]

A와 C의 무작위 결합에 의해 6종류의 아미노산이 지정된 것으로 보아, 최소한 염기 3개가 하나의 유전 부호로 작용해야 하는 것을 알 수 있다.

[한계]

1종류 or 2종류의 염기를 조합하여 만드는 방식으로는 일부의 유전 부호를 해독할 수 있으나, 염기의 종류가 많아질수록 경우의 수가 복잡하게 나타나서 64종류의 유전부호를 모두 해독하기 어렵다.

[해결]

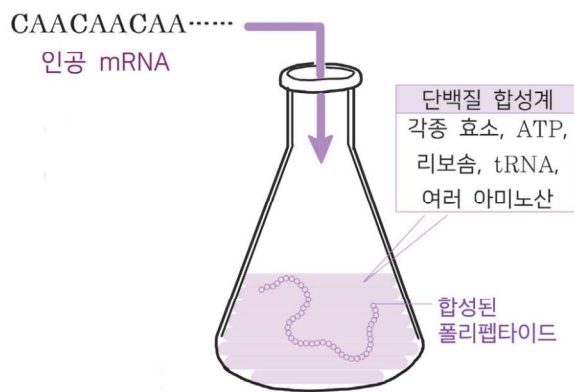
니런버그와 그의 동료들은 위의 한계를 극복하기 위해 3개의 뉴클레오타이드로 구성된 작은 mRNA를 합성하여 리보솜과 각종 효소, tRNA 등이 들어있는 단백질 합성계에 넣고 어떤 아미노산과 결합하는 tRNA가 mRNA와 결합하는지를 분석하여 30여종류의 유전 부호를 해독하였다.

**[Common Sense - RNA 합성 기술의 발달]**

- ① RNA 합성 기술이 발달함에 따라 다양한 염기 서열을 가진 mRNA를 합성할 수 있게 되었다.
- ② 그에 따라 규칙적인 염기 서열을 가진 mRNA로부터 합성되는 폴리펩타이드를 분석할 수 있게 되었다.

**[실험 과정 3]**

1. 대장균으로부터 mRNA 이외에 단백질 합성에 필요한 물질(단백질 합성계)를 추출한다.
2. 단백질 합성계에 각각 5'···ACACAC···3', 5'···CAACAA···3' 로 염기 서열이 규칙적인 인공 mRNA를 넣고, 합성되는 폴리펩타이드를 조사한다.



**[실험 결과 3]**

염기 서열이 5'···ACACAC···3'인 mRNA를 넣었을 때는 트레오닌과 히스티딘이 반복적으로 나타나는 폴리펩타이드가 생성되었고

염기 서열이 5'···CAACAA···3'인 mRNA를 넣었을 때는 실험에 따라 글루타민, 아스파라진, 트레오닌 중 1가지만 생성된다.

**[결과 3 해석]**

- ㉠ ··· ACA or CAC = 트레오닌 or 히스티딘
- ㉢ ··· ACA or CAA or AAC = 트레오닌 or 글루타민 or 아스파라진

㉠와 ㉢에서 겹치는 ACA는 트레오닌을 지정함을 알 수 있고 그에 따라 ㉠에서 CAC는 히스티딘을 지정한다는 것을 알 수 있다.

**[실험의 의의]**

이와 같은 방식으로 염기 서열이 단순하지 않은 코돈들을 아미노산과 대응시킬 수 있었고 이러한 방식을 반복하여 64종류의 유전 부호를 모두 해독하였다.

**코돈**

mRNA에 있는 하나의 아미노산을 지정하는 유전부호

**코돈의 특징**

세 번째 염기가 같은 퓨린 계열 염기(大)이거나 같은 피리미딘 계열의 염기(小)인 경우 지정하는 아미노산이 동일하다.

예를 들어, CAC와 CAU는 지정하는 아미노산이 히스티딘으로 동일하다.

① 유전자와 단백질의 관계

[문제 1]

다음은 특정 아미노산을 암호화하는 코돈을 알아보기 위한 실험이다.

- (가) 12개의 뉴클레오타이드로 구성된 mRNA를 합성한다.  
이 mRNA의 염기 서열은 5'-ACAACAACAACA-3'이다.
- (나) 단백질 합성에 필요한 성분들이 포함된 단백질 합성계에 (가)의 mRNA를 넣고 폴리펩타이드 I~III을 합성한다.
- (다) 합성된 폴리펩타이드 I~III의 아미노산 서열을 각각 분석한다.

폴리펩타이드	아미노산 서열
I	트레오닌-트레오닌-트레오닌-트레오닌
II	글루타민-글루타민-글루타민
III	아스파라진-아스파라진-아스파라진

글루타민을 지정하는 코돈이 CAA일 때, 아스파라진을 지정하는 코돈은?  
(단, 개시 코돈은 고려하지 않는다.)

[문제 2]

다음은 인공 mRNA I~IV와 이를 시험관에서 번역시켜 얻은 폴리펩타이드를 구성하는 아미노산을 나타낸 것이다.

인공 mRNA	합성된 폴리펩타이드를 구성하는 아미노산
I 5'-A-3'가 반복되는 mRNA	라이신
II 5'-AU-3'가 반복되는 mRNA	㉠, 아이소류신
III 5'-AUA-3'가 반복되는 mRNA	아스파라진, 아이소류신
IV 5'-AUAA-3'가 반복되는 mRNA	라이신, 아스파라진, ㉡.

아미노산 ㉠, ㉡이 지정하는 코돈을 각각 기입하시오.  
(단, 문제에서 제시한 코돈만 고려하며 개시 코돈은 고려하지 않는다. UAA는 종결 코돈으로 아미노산을 지정하지 않는다)

- ㉠ :
- ㉡ :

[문제 3]

표 (가)는 폴리펩타이드 I~IV의 아미노산 서열을, (나)는 아미노산의 코돈 중 일부를 나타낸 것이다. (나)에 제시된 코돈의 염기 서열을 이용하여, I~IV를 암호화하는 12개의 뉴클레오타이드로 구성된 모든 mRNA를 합성한다.

폴리펩타이드	아미노산 서열
I	글루탐산-글루탐산-글루탐산
II	아르지닌-아르지닌-아르지닌
III	라이신-라이신-라이신-라이신
IV	아르지닌-글루탐산-아르지닌-글루탐산

(가)

아미노산	코돈
글루탐산	GAA, GAG
아르지닌	AGA, AGG
라이신	AAA, AAG

(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

(단, 문제에서 제시한 코돈만 고려하며 개시 코돈과 종결 코돈은 고려하지 않는다.)

< 보 기 >

- ㄱ. 5'-AAGAAGAAGAAG-3'의 염기 서열을 갖는 mRNA로부터 I~III이 모두 합성 된다.
- ㄴ. 합성된 mRNA 중에서 IV를 암호화할 수 있는 mRNA는 모두 16개이다.
- ㄷ. 폴리펩타이드 I~IV을 암호화하는 mRNA의 주형 가닥의 염기는 모두 퓨린 계열 염기이다.

① 유전자와 단백질의 관계

[문제 1] 정답. ACC

[해설]

첫 번째 염기부터 번역하는 틀을 Frame 1

두 번째 염기부터 번역하는 틀을 Frame 2

세 번째 염기부터 번역하는 틀을 Frame 3라 하자.

Frame 1에서 ACA가 지정하는 4개의 아미노산으로 구성된 폴리펩타이드가 형성된다.

Frame 2에서 CAA로 Frame 3에서 AAC가 지정하는 3개의 아미노산으로 구성된 폴리펩타이드가 형성된다.

폴리펩타이드 1만 4개의 아미노산으로 구성되어 있으므로 코돈 ACA는 트레오닌을 지정한다.

발문에 의해 글루타민을 지정하는 코돈이 CAA이므로 남은 염기 조합인 AAC를 지정하는 아미노산이 아스파라진이 된다.

[문제 2] 정답. ㉠ : UAU / ㉡ : AUA

[해설]

I에서 AAA가 라이신에,

II에서 AUA와 UAU가 각각 ㉠과 아이소류신 중 하나에 대응된다.

UAA는 종결 코돈이므로

III에서 AUA와 AAU가 각각 아스파라진과 아이소류신 중 하나에 대응된다.

따라서 AUA는 아이소류신, AAU는 아스파라진, UAU는 ㉠을 지정한다.

IV에서 AUA, AAA, AAU가 각각 라이신, 아스파라진, ㉡ 중 하나에 대응되고

AAA는 라이신, AUA는 아이소류신, AAU는 아스파라진이므로 ㉡은 아이소류신이다.

[Comment]

II이나 IV처럼 3n±1 개의 염기가 반복적으로 나열되는 폴리펩타이드의 경우에는, 염기를 일렬로 나열 후 쪽 번역해도 모든 아미노산을 파악할 수 있다.

① / AUA / AAU / AAA / UAA / AUA : I-N-K-종결-I

② A / UAA / AUA / AAU / AAA / UA : 종결-I-N-K

③ AU / AAA / UAA / AUA / AAU / A : K-종결-I-N

④ AUA / AAU / AAA / UAA / AUA : I-N-K-종결-I

종결 코돈의 암기 기준

종결 코돈 3개는 '코드까지' 암기하는게 바람직하다

Stop	Codon	Code
①	UAA	ATT
②	UAG	ATC
③	UGA	ACT

종결코돈인 UAA, UAG, UGA에 대응하는 아미노산은 존재하지 않는다

[참고 - 코돈표와 아미노산 약어]

UUU	페닐알라닌	UCU		UAU	타이로신	UGU	시스테인
UUC	<b>F</b>	UCC	세린	UAC	<b>Y</b>	UGC	<b>C</b>
UUA	류신	UCA	<b>S</b>	UAA	종결 코돈	UGA	종결 코돈
UUG	<b>L</b>	UCG		UAG	종결 코돈	UGG	트립토판
CUU		CCU	프롤린	CAU	히스티딘	CGU	<b>W</b>
CUC	류신	CCC	<b>P</b>	CAC	<b>H</b>	CGC	아르지닌
CUA	<b>L</b>	CCA		CAA	글루타민	CGA	<b>R</b>
CUG		CCG		CAG	<b>Q</b>	CGG	
AUU		ACU	트레오닌	AAU	아스파라진	AGU	세린
AUC	아이소류신	ACC	<b>T</b>	AAC	<b>N</b>	AGC	<b>S</b>
AUA	<b>I</b>	ACA		AAA	라이신	AGA	아르지닌
AUG	메싸이오닌	ACG		AAG	<b>K</b>	AGG	<b>R</b>
	<b>M</b>						
GUU		GCU	알라닌	GAU	아스파르트산	GGU	
GUC	발린	GCC	<b>A</b>	GAC	<b>D</b>	GGC	글리신
GUA	<b>V</b>	GCA		GAA	글루탐산	GGA	<b>G</b>
GUG		GCG		GAG	<b>E</b>	GGG	

아미노산의 종류와 순서를 파악할 때, “아스파르트산”과 “아스파라진” 용어를 쓰는 것보다 D, N으로 쓰는게 훨씬 간결하기 때문이다.

완벽히 외우려 하지 말고 눈에 익혀두자.

여러번 반복해서 보고, 코돈 추론형 단원에서 많은 예제로 연습하다보면 목표하는 시험을 치를 즈음에는 저절로 암기되어 있을 것이다.

[Comment]

생화학과 분자생물학 범위에서 실제로 아미노산 약어를 활용하여 아미노산의 종류와 순서를 나타내곤 한다. 공대나 의대와 같은 이공계에 진학하게 된다면 거의 암기 사항이니 미리 외운다고 생각하자.



① 유전자와 단백질의 관계

[문제 3] 정답. ㄱ, ㄴ

[해설]

첫 번째 염기부터 번역하는 틀을 Frame 1

두 번째 염기부터 번역하는 틀을 Frame 2

세 번째 염기부터 번역하는 틀을 Frame 3라 하자.

[선지 해제]

< 보 기 >

ㄱ. 5'-AAGAAGAAGAAG-3'의 염기 서열을 갖는 mRNA로부터 I~III이 모두 합성된다. (O)

주어진 서열을 아미노산으로 번역해보자.  
[Frame 1]는 AAG의 반복이므로 K-K-K-K가  
[Frame 2]는 AGA의 반복이므로 R-R-R이  
[Frame 3]은 GAA의 반복이므로 E-E-E가 합성된다.

ㄴ. 합성된 mRNA 중에서 IV를 암호화할 수 있는 mRNA는 모두 16개이다. (O)

IV의 염기 서열은 다음과 같다.  
AG大GA大AG大GA大 (단, 大는 퓨린 계열 염기 중 하나이다)  
大에 2가지 염기가 올 수 있으므로 곱의 법칙에 의해  
2×2×2×2=16가지이다. (O)

ㄷ. 폴리펩타이드 I~IV을 암호화하는 mRNA의 주형 가닥의 염기는 모두 퓨린 계열 염기이다. (X)

mRNA의 모든 염기가 퓨린 계열 염기로 구성되어 있으므로,  
그에 상보적인 주형 가닥의 염기는 모두 피리미딘 계열 염기로 구성된다.

[Comment]

동시에 일어나는 사건이면 ×(곱사건)

[예제 4]

다음은 유전 암호를 알아내기 위한 실험의 일부이다.

[실험 과정 및 결과]

(가) RNA 합성에 사용되는 뉴클레오타이드 중 염기가 유라실(U)과 사이토신(C)인 뉴클레오타이드만을 시험관 I~III에 표와 같은 구성비로 넣은 후 충분히 많은 양의 RNA를 인공적으로 합성한다. RNA가 합성될 때 U와 C는 무작위로 추가된다.

시험관	구성비 (U : C)
I	1 : 1
II	Ⓣ : 3
III	Ⓛ : 1

(나) RNA로부터 번역을 가능하게 하는 용액을 I~III에 첨가하여 충분한 시간 동안 폴리펩타이드를 합성시킨다.

(다) (나)에서 생성된 폴리펩타이드를 구성하는 아미노산 수의 상대적인 비는 다음과 같다.

아미노산 시험관	류신	프롤린	페닐알라닌	세린
I	1	1	1	1
II	6	9	4	ⓐ
III	6	1	ⓑ	6

○ 표는 (나)에서 생성된 폴리펩타이드에 포함된 아미노산을 지정하는 유전암호를 나타낸 것이다. ⓐ와 ⓑ는 각각 페닐알라닌과 세린 중 하나이다.

아미노산	류신	프롤린	ⓐ	ⓑ
코돈	CUU, CUC	CCU, CCC	UCU, UCC	UUU, UUC

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

(단, 개시 코돈과 종결 코돈은 고려하지 않는다.)

< 보 기 >

- ㄱ. (가)에서 Ⓣ+Ⓛ=8 이다.
- ㄴ. (나)의 용액에는 리보솜, mRNA, 아미노산이 포함된다.
- ㄷ. (다)에서 ⓐ+ⓑ=42이다.
- ㄹ. 표에서 ⓐ는 페닐알라닌이다.

① 유전자와 단백질의 관계

[문제 4] 정답. ㉑, ㉒, ㉓

[해설]

시험관 I 에서 C와 U가 차지하는 비중이 동일하다.  
따라서 확률의 비가 다음과 같이 동일하다.

아미노산	류신	프롤린	㉑	㉒
코돈	CUU, CUC	CCU, CCC	UCU, UCC	UUU, UUC
자료 정리	CU_	CC_	UC_	UU_
확률의 비	1×1×(1+1)	1×1×(1+1)	1×1×(1+1)	1×1×(1+1)
아미노산 수의 비	1	1	1	1

이때 3번째 염기는 모든 아미노산에서 공통이므로 확률의 비를 고려하지 않아도 무방하다.

시험관 II 에서 U와 C가 차지하는 비는 각각 ㉑과 3이다.  
따라서 각 요소들이 결정된 아미노산 류신과 프롤린의 확률의 비와 아미노산 수의 상댓값을 파악하면 다음과 같다.

아미노산	류신	프롤린
코돈	CUU, CUC	CCU, CCC
코돈	CU_	CC_
확률의 비	㉑×3	3×3
문제에 주어진 비중	6	9

∴ ㉑=2

시험관 II 에서 ㉒의 확률 비중이 4이므로 ㉒는 페닐알라닌이다.

아미노산	㉑	㉒
코돈	UCU, UCC	UUU, UUC
코돈	UC_	UU_
확률의 비	3×2	2×2
문제에 주어진 비중	?	?

∴ ㉑는 세린

∴ ㉒=6

코돈이 결정된 아미노산 류신과 프롤린은 첫 번째 염기가 C로 동일하다.  
따라서 두 번째 염기에 의해 확률 간 비율이 결정되는 것을 알 수 있다.

∴ 류신의 비중 : 프롤린의 비중 = U의 비율 : C의 비율

∴ 6 : 1 = ㉓ : 1

∴ ㉓=6

아미노산	세린	페닐알라닌
코돈	UCU, UCC	UUU, UUC
코돈	UC_	UU_
확률의 비	6×1	6×6
문제에 주어진 비중	6	㉔

∴ ㉔=36

[선지 해제]

< 보 기 >

- ㄱ. (가)에서 ㉠+㉡=8 이다. (O)  
 ㄴ. (나)의 용액에는 리보솜, mRNA, 아미노산이 포함된다. (O)  
 번역의 재료에는 리보솜, mRNA, tRNA, 아미노산 등이 있다.  
 ㄷ. (다)에서 ㉢+㉣=42이다. (O)  
 ㄹ. 표에서 ㉤는 페닐알라닌이다. (X)  
 자료 해석 결과 ㉤는 세린이다.

[Comment]

코돈에서 공통인 부분은 확률에 영향을 주지 않는다.

[문제 5]

다음은 유전 암호를 알아내기 위한 실험의 일부이다.

[실험 과정 및 결과]

- (가) RNA 합성에 사용되는 뉴클레오타이드 중 염기가 아데닌(A)과 사이토신(C)인 뉴클레오타이드만을 시험관 I~II에 표와 같은 구성비로 넣은 후 충분히 많은 양의 RNA를 인공적으로 합성한다. RNA가 합성될 때 A와 C는 무작위로 추가된다.  
 (나) RNA로부터 번역을 가능하게 하는 용액을 I~II에 첨가하여 충분한 시간 동안 폴리펩타이드를 합성시킨다.  
 (다) (나)에서 생성된 폴리펩타이드를 구성하는 아미노산 수의 상대적인 비는 다음과 같다.

시험관	구성비 (A : C)
I	3 : 1
II	㉠ : 2

아미노산 \ 시험관	히스티딘	라이신	아스파라진	글루타민	트레오닌	프롤린
I	3	27	9	9	㉡	4
II	4	1	2	2	㉢	㉣

○ 표는 (나)에서 생성된 폴리펩타이드에 포함된 아미노산을 지정하는 유전암호를 나타낸 것이다.

아미노산	글루타민	아스파라진	트레오닌	라이신	㉤	㉥
코돈	CAA	?	ACC ACA	?	CAC	CCC CCA

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

(단, 개시 코돈과 종결 코돈은 고려하지 않는다.)

< 보 기 >

- ㄱ. ㉠+㉡+㉢+㉣=30 이다.  
 ㄴ. ㉤는 프롤린이다.  
 ㄷ. (나)에서 아스파라진을 지정하는 코돈은 AAC이다.

① 유전자와 단백질의 관계

[문제 5] 정답. L, C

[해설]

염기 간 비율이 결정된 시험관 I 을 보자.

시험관 \ 아미노산	히스티딘	라이신	아스파라진	글루타민	트레오닌	프롤린
I	3	27	9	9	Ⓛ	4

히스티딘, 라이신, 아스파라진의 확률 비중을 통해 라이신의 유전 부호는 AAA이고, 아스파라진의 유전 부호에는 A가 2개, 히스티딘의 유전 부호에는 A가 1개 있는 것을 알 수 있다.

∴ A의 구성비 : C의 구성비 = 3 : 1

트레오닌의 코돈은 다음과 같이 주어져 있다.

아미노산	트레오닌
코돈	ACC ACA

따라서 Ⓛ = 3×1×(1+3) = 12 이다.

시험관 \ 아미노산	프롤린
I	4

프롤린 수의 비중이 4가 되려면 1×1×(1+3)이어야 한다.

∴ 프롤린의 코돈 CCA, CCC

∴ Ⓜ=프롤린

∴ ⓐ=히스티딘

시험관 II 의 결정된 칸들을 보자.

시험관 \ 아미노산	히스티딘	라이신	아스파라진	글루타민	트레오닌	프롤린
II	4	1	2	2	Ⓨ	Ⓩ

∴ A의 구성비 : C의 구성비 = 1 : 2

∴ Ⓨ = 1 (∵ A : C = Ⓨ : 2)

∴ Ⓨ=1×2×(1+2)=6 / Ⓩ=2×2×(1+2)=12

[선지 해제]

< 보 기 >

ㄱ. ㉠+㉡+㉢+㉣=30 이다. (X)

㉠+㉡+㉢+㉣=31 이다.

ㄴ. ㉤는 프롤린이다. (O)

ㄷ. (나)에서 아스파라진을 지정하는 코돈은 AAC이다. (O)

아스파라진의 유전 부호에는 아데닌(A)이 2개, 사이토신(C)이 1개 존재한다.  
ACA는 트레오닌, CAA는 글루타민으로 주어져 있으므로 AAC가 아스파라진을 지정하는 코돈이다.

[Comment]

아미노산의 비율을 통해 유전 부호의 염기 구성을 역추론할 수 있다.

① 유전자와 단백질의 관계

**핵상이  $n$ 이다.**  
사람이나 초파리와 같은 생물의 핵상은  $2n$ 이다.

**효소**  
물질대사를 촉진하는 생체 촉매로 주성분이 단백질로 구성된다.

**야생형(Wild Type)**  
돌연변이가 일어나지 않아 최소 배지에서 성장할 수 있는 종

3. 붉은빵곰팡이 실험

[Common sense - 붉은빵곰팡이 실험 배경]

① 붉은빵곰팡이의 핵상은 단상( $n$ )이어서 돌연변이가 일어났을 때 그에 따른 결과를 관찰하기 용이하다.

⇒ 핵상이 2인  $n$  생물은 상동3 염색체를 가져 유전자가 파괴되었을 때 그 결과가 형질의 변화로 나타나지 않을 수 있다.



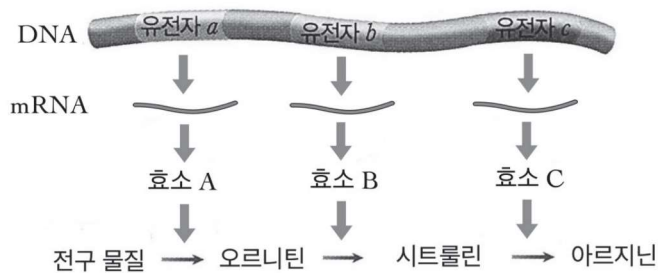
유전자형이 Aa인 개체는 우성 대립유전자 A와 열성 대립유전자 a를 모두 갖는다. 자외선이나 X선에 의해 열성 대립 유전자가 파괴되더라도 형질은 우성 대립 유전자 A에 의해 발현되기에 **유전자와 단백질에 의해 발현되는 형질의 직접적인 관계를 파악하기 어렵다.**



반면 핵상이  $n$ 인 생물은 한 염색체에만 형질에 관여하는 대립 유전자가 존재하여 유전자의 파괴가 형질의 변화로 직결된다.

- ② 자외선이나 X선을 쬐어주면 유전자(DNA)를 파괴시킬 수 있다.
- ③ 세포 내 대사 과정은 효소에 의해 촉매된다.
- ④ 최소 배지(MM)는 한 생물체가 살아가는데 필요한 최소한의 영양 물질만 포함한 배지를 의미하며, 이러한 최소 배지에는 해당 생물체가 살아가는데 요구하는 영양물질이 최소 한 가지 이상 결핍되어 있다.
- ⑤ 붉은빵곰팡이의 야생형 균주는 최소 배지만 있으면 생장에 필요한 모든 아미노산을 합성할 수 있다.
- ⑥ 붉은빵곰팡이의 영양 요구주는 유전적 결함으로 생장에 필요한 아미노산을 합성하지 못해, 최소 배지에 특정 아미노산을 첨가해야 성장할 수 있다.

[아르지닌 합성 경로]



**[실험 과정]**

- ① 야생형 붉은빵곰팡이의 포자에 X선을 쬐어 최소 배지에서는 성장하지 못하고, 최소 배지에 아르지닌을 첨가하면 성장하는 영양 요구주 I 형~III 형을 얻었다.
- ② 최소 배지에 아르지닌 합성 경로의 중간 물질로 생각되는 오르니틴, 시트룰린, 그리고 최종 산물인 아르지닌 중 한 가지를 각각 첨가한 후 각 배지에서 붉은빵곰팡이 야생형과 영양 요구주 I 형~III 형의 성장을 관찰하였다.

**[실험 결과]**

구분	최소 배지	최소 배지 + 오르니틴(O)	최소 배지 + 시트룰린(C)	최소 배지 + 아르지닌(R)
야생형	○	○	○	○
I	×	○	○	○
II	×	×	○	○
III	×	×	×	○

(○ : 성장, × : 성장 못함)

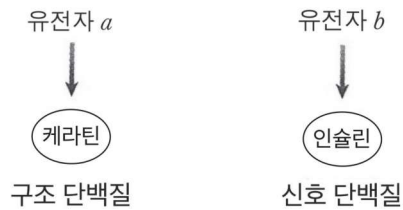
∴ 하나의 유전자가 하나의 효소 합성에 관여한다.

⇒ 1유전자 1효소설

**[Common sense - 단백질의 종류]**

단백질의 종류에는 효소 뿐만 아니라 다양한 하위 체계가 존재한다.

예를 들어 전사 인자와 같은 조절 단백질, 세포나 조직의 형태 유지나 케라틴과 같이 탄력성에 영향을 미치는 구조 단백질, 마이오신과 같은 운동 단백질, 호르몬과 같은 신호 단백질 등이 있다.





① 유전자와 단백질의 관계

4. 1유전자 1효소설의 발전

㉓ 1유전자 1단백질설

1유전자 1효소설이 규명된 후 구조 단백질 중 케라틴이나 신호 단백질 중 인슐린같은 단백질을 합성하는 데에도 유전자가 관여한다는 게 밝혀졌다.

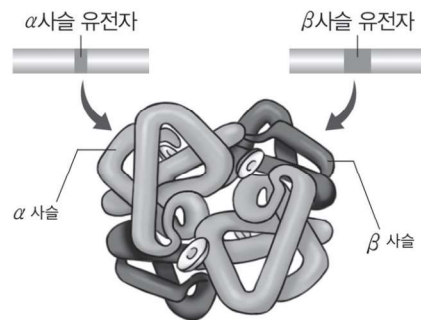
이러한 케라틴이나 인슐린은 효소가 아니므로  
1유전자 1효소설이 하나의 유전자가 하나의 단백질을 합성한다는  
1유전자 1단백질설로 수정되었다.



㉔ 1유전자 1폴리펩타이드설

적혈구 속의 헤모글로빈과 같이 하나의 단백질이  
각각 서로 다른 유전자에 의해 합성된 두 종류 이상의 폴리펩타이드로 구성된 경우  
한 유전자가 한 단백질을 합성하게 된다는 1유전자 1단백질설의 예외가 된다.

그에 따라 1유전자 1단백질설이  
하나의 유전자가 하나의 폴리펩타이드를 합성하게 한다는  
1유전자 1폴리펩타이드설로 수정되었다.



헤모글로빈

적혈구의 붉은색을 나타내는 색소 단백질. 산소를 운반하며 α 사슬 2개와 β 사슬 2개로 이루어진다.

α 사슬과 β 사슬은 서로 다른 유전자에 의해 발현된다.

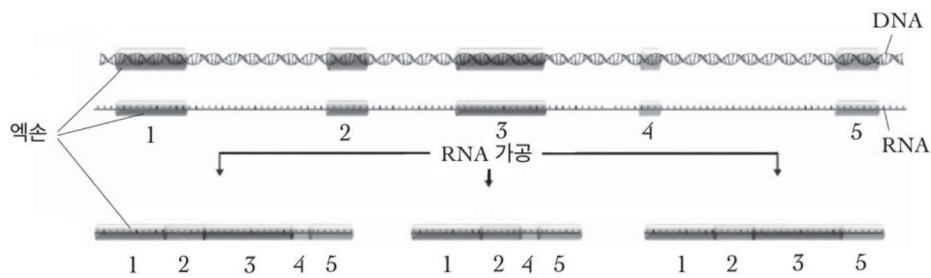
[common sense - 1유전자 1폴리펩타이드설의 예외]

① 선택적 스플라이싱

진핵생물에서는 DNA의 유전자가 RNA로 전사된 후 RNA의 인트론 부분이 제거되고 엑손 부분끼리 연결되는 RNA 가공을 거친다.

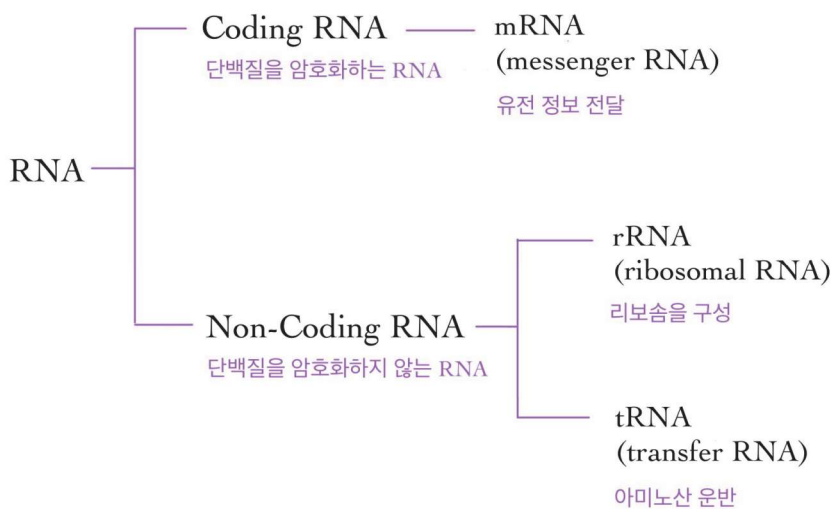
이때 RNA가 서로 다르게 가공되어 하나의 유전자에서 여러 종류의 폴리펩타이드가 만들어질 수 있는데 이 과정에서 선택적 스플라이싱이 일어난다.

선택적 스플라이싱은 진화적으로 간단한 생명체와 인간(복잡한 생명체)의 유전자 개수가 비슷하지만 인간이 훨씬 고등한 형태를 띠는 이유를 설명할 수 있다.



② 유전자의 산물이 RNA

유전자의 최종 산물이 단백질이 아니라 rRNA나 tRNA와 같이 RNA인 경우도 있다. 이와 같이 단백질 암호화 여부로 생명과학2 범위의 RNA를 분류하면 다음과 같다.



① 유전자와 단백질의 관계

**붉은빵곰팡이 실험**

물질 ㉠~㉢이 각각 어떤 물질인지

돌연변이주 I ~ III이 어떤 유전자가 돌연변이가 일어났는지 추론하는 유형

**[출제 문항 예시]**

14. 다음은 붉은빵곰팡이의 유전자 발현에 대한 자료이다.

○ 야생형에서 아르지닌이 합성되는 과정은 그림과 같다.

○ 돌연변이주 I은 유전자 a~c 중 어느 하나에, II는 그 나머지 유전자 중 하나에만 돌연변이가 일어난 것이다.

○ 야생형, I, II를 각각 최소 배지, 최소 배지에 물질 ㉠이 첨가된 배지, 최소 배지에 물질 ㉡이 첨가된 배지에서 배양하였을 때, 생장 여부와 물질 ㉢의 합성 여부는 표와 같다. ㉠~㉢은 오르니틴, 시트룰린, 아르지닌을 순서 없이 나타낸 것이다.

구분	최소 배지		최소 배지, ㉠		최소 배지, ㉡	
	생장	㉢ 합성	생장	㉢ 합성	생장	㉢ 합성
야생형	+	○	+	○	+	○
I	-	?	+	○	-	○
II	-	×	+	×	-	×

(+: 생장함, -: 생장 못함, ○: 합성됨, ×: 합성 안 됨)

21학년도 9월 평가원

**[구성 요소]**

① 중간 물질

오르니틴, 시트룰린 등

② 최종 물질

중간 물질의 기질로 사용되지 않으며 최종 물질이 있어야 생장

③ 생장 여부

최종 물질 유무

④ 물질 합성 여부

만약 어떤 물질이 합성된다면 물질의 바로 전 경로에는 돌연변이가 일어나지 않음

예를 들어 시트룰린이 합성될 수 있으면 유전자 b에는 돌연변이가 일어나지 않음

⑤ 야생형 대장균

⑥ 유전자 돌연변이주

⑤와 ⑥은 대조군과 실험군의 관계

조작 변인은 유전자 돌연변이, 종속 변인은 생장 여부와 물질 합성 여부

⑦ 최소 배지

⑧ 물질 첨가 배지

⑦과 ⑧은 대조군과 실험군의 관계

조작 변인은 물질의 첨가, 종속 변인은 생장 여부와 물질의 합성 여부

11. 그림은 붉은빵곰팡이에서 아르지닌이 합성되는 과정을, 표는 최소 배지에 물질 ㉠의 첨가에 따른 붉은빵곰팡이 야생형과 돌연변이주 I~III의 생장 여부와 물질 ㉠과 ㉡의 합성 여부를 나타낸 것이다. I은 유전자 a~c 중 어느 하나에, II는 나머지 두 유전자 중 어느 하나에만, III은 그 나머지 하나에 돌연변이가 일어난 것이다. ㉠~㉢은 오르니틴, 시트룰린, 아르지닌을 순서 없이 나타낸 것이다.

구분	생장	최소 배지		최소 배지, ㉠	
		㉠ 합성	㉡ 합성	생장	㉢ 합성
야생형	+	○	○	+	○
I	-	×	(가)	-	×
II	-	×	×	+	○
III	-	×	×	+	×

(+: 생장함, -: 생장 못함, ○: 합성됨, ×: 합성 안 됨)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 제시된 돌연변이 이외의 돌연변이는 고려하지 않는다.) [3점]

<보기>

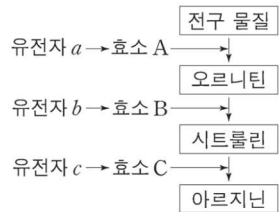
ㄱ. (가)는 '×'이다.  
 ㄴ. I은 c에 돌연변이가 일어난 것이다.  
 ㄷ. ㉠은 오르니틴이다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄴ
- ⑤ ㄱ, ㄷ

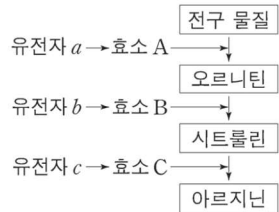
20학년도 6월 평가원

## [실험 결과 정리]

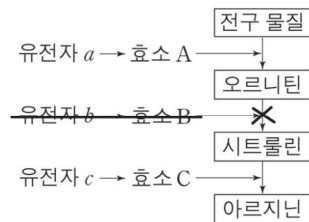
1. 붉은빵곰팡이의 생장은 아르지닌이 필수적이다.  
 성장한다 = 아르지닌이 첨가되거나 합성된다.  
 성장하지 않는다 = 아르지닌이 첨가되지 않았고 합성되지 않았다.
2. 최소 배지에서는 야생형 붉은빵곰팡이의 생장에 필요한 전구 물질이 들어있다.
3. 야생형 붉은빵곰팡이에서는 전구 물질로부터 순서대로  
 오르니틴, 시트룰린, 아르지닌이 합성된다.
4. 전구 물질로부터 어떤 물질이 합성될 때 특정 유전자가 관여한다.  
 예를 들어 전구 물질로부터 오르니틴이 합성될 때 유전자 a가 관여하고  
 오르니틴으로부터 시트룰린이 합성될 때 유전자 b가 관여한다.



5. 조절 유전자로부터 합성된 효소에 의해 특정 물질의 합성이 일어난다.  
 예를 들어 유전자 a로부터 효소 A가 합성되고, 효소 A에 의해 전구 물질로부터 오르니틴이 합성  
 된다.



6. 특정 유전자가 결실된 돌연변이는 전구 물질로부터 어떤 물질을 합성하지 못한다.  
 예를 들어 유전자 b가 결실된 돌연변이는 오르니틴으로부터 시트룰린을 합성하지 못한다.



7. 특정 유전자가 결실된 돌연변이라도 어떤 물질을 첨가하면 다른 물질을 합성할 수도 있다.  
 예를 들어 유전자 b가 결실된 돌연변이는 최소 배지에서 오르니틴을 합성할 수 있고,  
 최소 배지에 시트룰린이 첨가된다면 아르지닌을 합성하여 성장할 수 있다.

구분	최소 배지, 시트룰린	
	성장	아르지닌 합성
야생형	+	○
유전자 b 결실 돌연변이	+	○

### 전구 물질

1. 초기 물질
2. 이전 물질

### 붉은빵곰팡이의 특징

- ① 진핵생물역 중 균계
- ② 키틴질의 세포벽
- ③ 포자 번식
- ④ 다세포 생물

### 최소 배지 (MM)

= Minimal Medium  
 야생형 생물이 살아가는 데  
 필요한 최소한의 영양 물질이  
 들어있는 배지

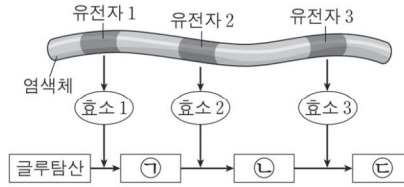
### OCR

오르니틴(O)  
 시트룰린(C)  
 아르지닌(R)의 약어

① 유전자와 단백질의 관계

붉은빵곰팡이 실험  
Schema 1

앞돌뒤물



구분	최소 배지	최소 배지 + 아르지닌	최소 배지 + 시트룰린	최소 배지 + 오르니틴
야생형	○	○	○	○
I	×	○	○	○
II	×	○	×	×
III	×	○	○	×

(○ : 성장함, × : 성장 못 함)

(단, I~III은 각각 유전자 1~3 중 하나에만 돌연변이가 일어난 것이다.)

① 앞에 돌연변이가 일어날수록 돌연변이주들이 많이 성장

유전자 1 돌연변이주가 유전자 2 돌연변이주보다 더 많이 성장하고  
유전자 2 돌연변이주가 유전자 3 돌연변이주보다 더 많이 성장한다.

∴ I 은 유전자 1 돌연변이주, III 은 유전자 2 돌연변이주, II 는 유전자 3 돌연변이주이다.

② 뒤의 물질을 공급할수록 돌연변이주들이 많이 성장

하나의 유전자에 돌연변이가 일어난 돌연변이주 세 종류에서  
아르지닌을 넣으면 세 종류의 돌연변이주가 모두 성장하고  
시트룰린을 넣으면 두 종류의 돌연변이주가 성장하며  
오르니틴을 넣으면 한 종류의 돌연변이주가 성장한다.

∴ ㉠은 오르니틴, ㉡은 시트룰린, ㉢은 아르지닌이다.

한 개 이상의 유전자에 돌연변이가 일어나거나 일부 돌연변이만 주어지는 경우에도  
앞돌뒤물 은 변하지 않는다.

구분	최소 배지		최소 배지, ㉠		최소 배지, ㉡	
	성장	㉢ 합성	성장	㉢ 합성	성장	㉢ 합성
야생형	+	○	+	○	+	○
I	-	×	+	○	+	×
II	-	○	-	○	+	○

(+ : 성장함, - : 성장 못함, ○ : 합성함, × : 합성 안 됨)

∴ ㉠이 ㉡의 선구 물질이다.

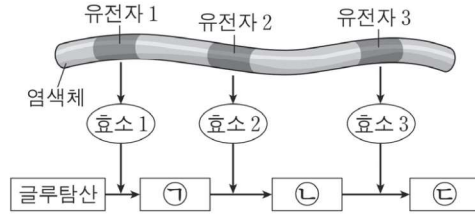
오페론

기능적으로 연관된 유전자들이 하나의 전사단위로 묶여 서로 이웃하여 존재하는 구조의 기능적 단위를 의미한다.

젓당 오페론의 경우 프로모터, 작동 유전자, 구조 유전자를 통틀어 말하며, 원핵생물의 유전자 발현 조절에서 나타난다.

[문제 6]

그림은 붉은빵곰팡이에서 물질 ㉔이 합성되는 과정을, 표는 최소 배지와 최소 배지에 첨가된 물질에 따른 붉은빵곰팡이 야생형과 돌연변이주 I~III의 성장 여부를 나타낸 것이다. ㉑~㉔은 각각 오르니틴(O), 시트룰린(C), 아르지닌(R) 중 하나이다.



구분	최소 배지	최소 배지 + 아르지닌	최소 배지 + 시트룰린	최소 배지 + 오르니틴
야생형	○	○	○	○
I	×	○	○	○
II	×	○	×	×
III	×	○	○	×

(○ : 성장함, × : 성장 못 함)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고르시오.  
(단, I~III은 각각 유전자 1~3 중 하나에만 돌연변이가 일어났다.)

< 보 기 >

- ㄱ. 시트룰린은 오르니틴의 전구 물질(선구 물질)이다.
- ㄴ. II는 유전자 3에 돌연변이가 일어난 것이다.
- ㄷ. 유전자 1~3은 ㉔ 오페론의 구조 유전자이다.

[문제 7]

그림은 붉은빵곰팡이의 아르지닌 합성 과정을, 표는 최소 배지에 첨가된 물질 ㉑~㉔에 따른 붉은빵곰팡이 야생형과 돌연변이주 I~III의 성장 여부를 나타낸 것이다. ㉑~㉔은 각각 오르니틴(O), 시트룰린(C), 아르지닌(R) 중 하나이다.



(+ : 성장함 - : 성장 못 함)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고르시오.  
(단, I~III은 각각 유전자 1~3 중 하나에만 돌연변이가 일어났다.)

< 보 기 >

- ㄱ. ㉑은 오르니틴이다.
- ㄴ. I은 최소 배지에 ㉑과 ㉒이 첨가된 배지에서 성장한다.
- ㄷ. III에서 효소 B의 기능은 정상이다.

① 유전자와 단백질의 관계

[문제 6] 정답. ㄴ

[해설]

구분	최소 배지	최소 배지 + 아르지닌	최소 배지 + 시트룰린	최소 배지 + 오르니틴
야생형	○	○	○	○
I	×	○	○	○
II	×	○	×	×
III	×	○	○	×

(○ : 생장함, × : 생장 못 함)

앞돌뒤물에 의해 ㉠은 오르니틴, ㉡은 시트룰린, ㉢은 아르지닌

I 은 유전자 1 돌연변이주, III은 유전자 2 돌연변이주, II는 유전자 3 돌연변이주이다.

< 보 기 >

ㄱ. 시트룰린은 오르니틴의 전구 물질(선구 물질)이다. (X)

오르니틴이 시트룰린의 전구 물질이다.

ㄴ. II는 유전자 3에 돌연변이가 일어난 것이다. (O)

ㄷ. 유전자 1~3은 ㉢ 오페론의 구조 유전자이다. (X)

오페론은 원핵생물의 유전자 발현 조절 단위이다. 붉은빵곰팡이는 진핵생물이다.

[문제 7] 정답. ㄱ

[해설]

구분	야생형	I	II	III
최소 배지	+	-	-	-
최소 배지+㉠	+	-	+	-
최소 배지+㉡	+	-	+	+
최소 배지+㉢	+	+	+	+

(+ : 생장함 - : 생장 못 함)

앞돌뒤물에 의해 ㉠은 오르니틴, ㉡은 시트룰린, ㉢은 아르지닌

II는 유전자 a 돌연변이주, III은 유전자 b 돌연변이주, I 은 유전자 c 돌연변이주이다.

[선지 해제]

< 보 기 >

ㄱ. ㉠은 오르니틴이다. (O)

ㄴ. I은 최소 배지에 ㉠과 ㉡이 첨가된 배지에서 생장한다. (X)

유전자 c 돌연변이주는 ㉠과 ㉡이 첨가된 배지에서 생장하지 못한다.

ㄷ. III에서 효소 B의 기능은 정상이다. (X)

유전자 b 돌연변이주이므로 효소 B의 기능이 정상적이지 못하다.

[문제 8]

다음은 붉은빵곰팡이를 이용한 실험이다.

- 야생형 붉은빵곰팡이가 선구 물질로부터 물질 A를 합성하는 과정에서 중간 산물 ㉠~㉤이 만들어진다.
- 야생형 붉은빵곰팡이에 X선을 처리하여 돌연변이주 I~V를 얻었다.
- 표는 최소 배지에 ㉠~㉤을 각각 첨가했을 때 얻은 붉은빵곰팡이의 성장 결과를 나타낸 것이다. I~V는 각각 붉은빵곰팡이가 선구 물질로부터 물질 A를 합성하는 과정에 필요한 5종류의 효소 유전자 중 하나에만 돌연변이가 일어난 것이다. 효소 유전자에 돌연변이가 일어나면 효소를 합성하지 못한다.

구분	최소 배지	첨가물				
		㉠	㉡	㉢	㉣	A
야생형	+	+	+	+	+	+
I	-	-	+	+	+	+
II	-	-	+	+	-	+
III	-	+	+	+	+	+
IV	-	-	-	-	-	+
V	-	-	+	-	-	+

(+ : 성장함, - : 성장하지 못함)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고르시오.

(단, 제시된 돌연변이 이외의 돌연변이는 고려하지 않는다.)

< 보 기 >

- ㄱ. II는 ㉢을 ㉡으로 전환시키는 효소를 합성하지 못한다.
- ㄴ. I은 최소 배지에 ㉣을 첨가한 배지에서 ㉡을 합성할 수 있다.
- ㄷ. 물질 A의 합성 과정은 선구 물질 → ㉠ → ㉡ → ㉢ → ㉣ → A 순이다.



① 유전자와 단백질의 관계

[문제 8] 정답. ㄴ, ㄷ

[해설]

구분	최소 배지	첨가물				
		㉠	㉡	㉢	㉣	A
야생형	+	+	+	+	+	+
I	-	-	+	+	+	+
II	-	-	+	+	-	+
III	-	+	+	+	+	+
IV	-	-	-	-	-	+
V	-	-	+	-	-	+

(+ : 성장함, - : 성장하지 못함)

앞돌뒤물에 의해 물질의 합성 순서는 다음과 같다.

‘선구 물질 → ㉠ → ㉣ → ㉢ → ㉡ → A’

[선지 해제]

< 보 기 >

ㄱ. II는 ㉢을 ㉡으로 전환시키는 효소를 합성하지 못한다. (X)

㉢은 ㉡의 선구 물질이고 III은 ㉢을 첨가했을 때 성장하므로 ㉢을 합성한다.  
따라서 ㉢을 ㉡으로 전환시키는 효소를 합성할 수 있다.

ㄴ. I은 최소 배지에 ㉣을 첨가한 배지에서 ㉡을 합성할 수 있다. (O)

㉣은 ㉡의 선구 물질이고 I은 ㉣을 첨가했을 때 성장하므로 ㉡을 합성한다.

ㄷ. 물질 A의 합성 과정은 선구 물질 → ㉠ → ㉣ → ㉢ → ㉡ → A 순이다. (O)

[Comment]

돌연변이주의 정체성은 선지에서 필요할 때만 알아내도 무방하다.

[문제 9]

그림은 붉은빵곰팡이의 아르지닌이 합성되는 과정을, 표는 최소 배지에 첨가된 물질 ㉠~㉣에 따른 붉은빵곰팡이 아생형과 돌연변이주 I~IV의 성장 여부를 나타낸 것이다. I~III은 각각 유전자 a~c 중 하나에만, IV는 중 유전자 a~c 중 두 개의 유전자에 돌연변이가 일어난 것이다. ㉠~㉣은 각각 오르니틴(O), 시트룰린(C), 아르지닌(R) 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고르시오.

(단, 제시된 돌연변이 이외의 돌연변이는 고려하지 않는다.)

< 보 기 >

- ㄱ. 효소 B의 기질은 ㉠이다.
- ㄴ. ㉢은 아르지닌이다.
- ㄷ. IV는 a와 b 모두에 돌연변이가 일어난 것이다.

① 유전자와 단백질의 관계

[문제 9] 정답. ㄴ, ㄷ

[해설]

구분	야생형	I	II	III	IV
최소 배지	+	-	-	-	-
최소 배지+㉠	+	-	+	+	+
최소 배지+㉡	+	-	+	-	-
최소 배지+㉢	+	+	+	+	+

(+ : 성장함 - : 성장 못함)

앞돌뒤물에 의해 물질의 합성 순서는 다음과 같다.

‘선구 물질 → ㉡ → ㉠ → ㉢’

[선지 해제]

< 보 기 >

ㄱ. 효소 B의 기질은 ㉠이다. (X)

㉠은 시트룰린이고, B의 기질은 오르니틴이다.

ㄴ. ㉢은 아르지닌이다. (O)

ㄷ. IV는 a와 b 모두에 돌연변이가 일어난 것이다. (O)

중간 산물인 ㉡을 넣어도 성장하므로 IV는 c에 돌연변이가 일어나지 않았다.  
따라서 a와 b 모두에 돌연변이가 일어난 것이다.

붉은빵곰팡이 실험  
Schema 2

아르지닌(R)

아르지닌이 있어야 **생장**한다,  
즉, 표에서 해석할 때 **아르지닌 유무 = 생장 여부**이다.

다른 물질(오르니틴, 시트룰린)은 중간 산물이지만  
아르지닌은 **최종 물질**이므로 물질 중 **먼저 생각하면 유리**하다.

⇒ 아르지닌이 합성되거나 직접 넣어주어야 생장할 수 있다.

구분	최소 배지, ㉠	
	생장	㉡ 합성
I	-	○

⇒ 역으로 ㉠을 첨가하고 ㉡이 합성된 배지에서 돌연변이주가 생장하지 못한다면, 남은 물질 ㉡이 아르지닌이다.

① 생장 조건

1. R을 첨가해준 붉은빵곰팡이는 모두 생장한다.

구분	최소 배지		최소 배지, ㉠		최소 배지, ㉡	
	생장	㉡ 합성	생장	㉡ 합성	생장	㉡ 합성
야생형	+	○	+	○	+	○
I	-	×	+	○	+	×
II	-	○	-	○	+	○

(+: 생장함, -: 생장 못함, ○: 합성함, ×: 합성 안 됨)

∴ 붉은빵곰팡이는 아르지닌이 첨가되면 생장.

2. 최소 배지에서 생장 여부는 아르지닌 합성 여부와 동일한 조건이다.

구분	최소 배지		최소 배지, ㉠		최소 배지, ㉡	
	생장	㉡ 합성	생장	㉡ 합성	생장	㉡ 합성
야생형	+	○	+	○	+	○
I	-	×	+	○	-	×
II	-	×	+	○	+	○

(+: 생장함, -: 생장 못함, ○: 합성함, ×: 합성 안 됨)

∴ 붉은빵곰팡이는 아르지닌이 합성되어야 생장.

3. 미지의 두 물질이 있지만 생장하지 않는다면 나머지 물질이 아르지닌(R)이다.

구분	최소 배지		최소 배지, ㉠		최소 배지, ㉡	
	생장	㉡ 합성	생장	㉡ 합성	생장	㉡ 합성
야생형	+	○	+	○	+	○
I	-	×	+	○	+	×
II	-	○	-	○	+	○

(+: 생장함, -: 생장 못함, ○: 합성함, ×: 합성 안 됨)

∴ 붉은빵곰팡이는 아르지닌이 합성되지 않으면 생장하지 못함.

① 유전자와 단백질의 관계

붉은빵곰팡이 실험  
Schema 2

아르지닌(R)

② 합성 여부 조건

1. 아르지닌(R)이 첨가된 배지와 최소 배지에서 특정 물질 합성 조건은 정확하게 일치한다.

구분	최소 배지		최소 배지, ⊕		최소 배지, ⊖	
	생장	⊖ 합성	생장	⊖ 합성	생장	⊖ 합성
야생형	+	○	+	○	+	○
I	-	×	+	○	+	×
II	-	○	-	○	+	○

(+: 생장함, -: 생장 못함, ○: 합성함, ×: 합성 안 됨)

∴ 아르지닌은 다른 전구 물질의 합성에 영향을 미치지 않음.

③ 기질 사용 여부 조건

1. 아르지닌(R)이 첨가된 배지와 최소 배지에서 특정 물질 사용 조건은 정확하게 일치한다.

구분	최소 배지		최소 배지, ⊕		최소 배지, ⊖	
	생장	⊖ 사용	생장	⊖ 사용	생장	⊖ 사용
야생형	+	○	+	○	+	○
I	-	×	+	○	+	×
II	-	×	-	×	+	×

(+: 생장함, -: 생장 못함, ○: 합성함, ×: 합성 안 됨)

∴ 아르지닌은 다른 전구 물질의 기질로 사용되지 않음.

붉은빵곰팡이 실험  
Schema 3

선후 관계

생장 여부 조건과 합성 여부 조건을 통해, 물질들의 선후 관계를 파악할 수 있다.

구분	최소 배지		최소 배지, ㉠		최소배지, ㉡	
	생장	㉡ 합성	생장	㉡ 합성	생장	㉡ 합성
야생형	+	○	+	○	+	○
I	-	×	+	○	+	×
II	-	○	-	○	+	○

(+: 성장함, -: 성장 못함, ○: 합성함, ×: 합성 안 됨)

㉡을 첨가했을 때 ㉠을 첨가했을 때보다 돌연변이주들이 많이 성장하므로 ㉠이 ㉡의 선구 물질이다.

구분	최소 배지		최소 배지, ㉠		최소배지, ㉡	
	생장	㉡ 합성	생장	㉡ 합성	생장	㉡ 합성
야생형	+	○	+	○	+	○
I	-	×	+	○	+	×
II	-	○	-	○	+	○

(+: 성장함, -: 성장 못함, ○: 합성함, ×: 합성 안 됨)

최소 배지의 합성 여부 열보다 어떤 물질을 첨가한 배지에서 합성 여부 열이 더 많이 생성되면 ㉠이 ㉡의 선구 물질이다.

[증명]

㉡이 ㉠의 선구 물질이라면, ㉠은 ㉡의 합성에 영향을 미칠 수 없다.

따라서 MM(대조군)과 모든 돌연변이주의 열을 비교-대조할 때 ㉡ 합성 여부가 동일해야한다.

하지만, 돌연변이주 I을 보았을 때,

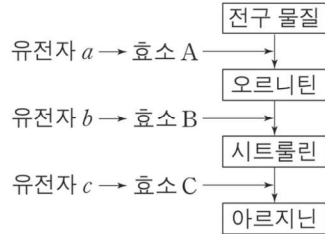
㉠이 ㉡의 합성에 영향을 미쳤음을 알 수 있고 ㉠이 ㉡의 선구 물질임을 알 수 있다.

대조군과 실험군의 비교-대조  
실험 해석 문항 - Mind 2

① 유전자와 단백질의 관계

[문제 10]

그림은 붉은빵곰팡이의 아르지닌이 합성되는 과정을, 표는 최소 배지에 첨가된 물질 ㉠ 또는 ㉡의 첨가에 따른 붉은빵곰팡이 야생형과 돌연변이주 I 과 II 의 생장 여부와 물질 ㉢의 합성 여부를 나타낸 것이다. I은 유전자 a~c 중 어느 하나에 돌연변이가 일어나고, II는 그 나머지 유전자 중 하나에 돌연변이가 일어난 것이다. ㉠~㉢은 각각 오르니틴, 시트룰린, 아르지닌 중 하나이다.



구분	최소 배지		최소 배지, ㉠		최소 배지, ㉡	
	생장	㉢합성	생장	㉢합성	생장	㉢합성
야생형	+	○	+	○	+	○
I	-	×	+	○	+	×
II	-	○	-	○	+	○

(+ : 생장함 - : 생장 못함, ○ : 합성됨 × : 합성 안 됨)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고르시오.

(단, 제시된 돌연변이 이외의 돌연변이는 고려하지 않는다.)

< 보 기 >

- ㄱ. II는 b에서 돌연변이가 일어난 것이다.
- ㄴ. ㉠을 합성하는 효소는 A이다.
- ㄷ. ㉢은 아르지닌이다.

[문제 11]

그림은 붉은빵곰팡이의 아르지닌이 합성되는 과정을, 표는 최소 배지에 첨가된 물질 ㉠의 첨가에 따른 붉은빵곰팡이 야생형과 돌연변이주 I~III의 생장 여부와 물질 ㉡과 ㉢의 합성 여부를 나타낸 것이다. I은 유전자 a~c 중 어느 하나에, II는 나머지 두 유전자 중 어느 하나에만, III은 그 나머지 하나에 돌연변이가 일어난 것이다. ㉠~㉢은 오르니틴, 시트룰린, 아르지닌을 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고르시오.

(단, 제시된 돌연변이 이외의 돌연변이는 고려하지 않는다.)

< 보 기 >

- ㄱ. (가)는 '×'이다.
- ㄴ. I은 c에 돌연변이가 일어난 것이다.
- ㄷ. ㉠은 오르니틴이다.



① 유전자와 단백질의 관계

[문제 10] 정답. ㄴ

[해설]

구분	최소 배지		최소 배지, ㉠		최소 배지, ㉡	
	생장	㉢합성	생장	㉢합성	생장	㉢합성
야생형	+	○	+	○	+	○
I	-	×	+	○	+	×
II	-	○	-	○	+	○

(+ : 성장함 - : 성장 못함, ○ : 합성됨 × : 합성 안 됨)

㉠이 첨가되고 ㉡이 합성되었는데 성장하지 않으므로 ㉡이 아르지닌이다.

∴ II는 아르지닌이 합성되지 않으므로 c에 돌연변이가 일어났다.

구분	최소 배지		최소 배지, ㉠		최소 배지, ㉡	
	생장	㉢합성	생장	㉢합성	생장	㉢합성
야생형	+	○	+	○	+	○
I	-	×	+	○	+	×
II	-	○	-	○	+	○

(+ : 성장함 - : 성장 못함, ○ : 합성됨 × : 합성 안 됨)

㉠이 첨가된 배지에서 최소 배지와 ㉡ 합성 여부가 달라지므로

㉠이 ㉡의 선구 물질이다.

따라서 ㉠은 오르니틴, ㉡은 시트룰린이다.

[선지 해제]

< 보 기 >

ㄱ. II는 b에서 돌연변이가 일어난 것이다. (X)

II는 c에 돌연변이가 일어났다.

ㄴ. ㉠을 합성하는 효소는 A이다. (O)

ㄷ. ㉡은 아르지닌이다. (X)

㉡은 시트룰린이다.

[문제 11] 정답. L

[해설]

구분	최소 배지			최소 배지, ㉠		
	생장	㉡ 합성	㉢ 합성	생장	㉡ 합성	㉢ 합성
야생형	+	○	○	+	○	○
I	-	×	○	-	×	○
II	-	×	(가)	+	○	○
III	-	×	×	+	○	×

모든 돌연변이주에서 (최소 배지) 생장 여부와 합성 여부가 동일하다.

∴ ㉡은 아르지닌이다.

구분	최소 배지			최소 배지, ㉠		
	생장	㉡ 합성	㉢ 합성	생장	㉡ 합성	㉢ 합성
야생형	+	○	○	+	○	○
I	-	×	○	-	×	○
II	-	×	(가)	+	○	○
III	-	×	×	+	○	×

모든 돌연변이주 중 (최소 배지) 두 개의 돌연변이주가 생장한다.

따라서 앞돌뒤물에 의해 ㉠은 시트룰린이다.

∴ ㉢은 오르니틴이다.

구분	최소 배지			최소 배지, ㉠		
	생장	㉡ 합성	㉢ 합성	생장	㉡ 합성	㉢ 합성
야생형	+	○	○	+	○	○
I	-	×	○	-	×	○
II	-	×	(가)	+	○	○
III	-	×	×	+	○	×

(+ : 생장함, - : 생장 못함, ○ : 합성됨 × : 합성 안 됨)

㉡이 ㉠의 선구 물질이므로 ㉠은 ㉡의 합성에 영향을 주지 못한다.

따라서 (가)는 '○'이다.

① 유전자와 단백질의 관계

[선지 해제]

< 보 기 >

ㄱ. (가)는 ‘×’이다. (X)

(가)는 ‘○’이다.

ㄴ. I은 c에 돌연변이가 일어난 것이다. (O)

구분	최소 배지			최소 배지, ㉠		
	생장	㉡ 합성	㉢ 합성	생장	㉡ 합성	㉢ 합성
야생형	+	○	○	+	○	○
I	-	×	○	-	×	○
II	-	×	(가)	+	○	○
III	-	×	×	+	○	×

돌연변이주 중 I만 생장하지 못하므로 가장 나중 유전자에 돌연변이가 일어나야 한다. 따라서 c에 돌연변이가 일어났다

ㄷ. ㉡은 오르니틴이다. (X)

㉡은 아르지닌이다.

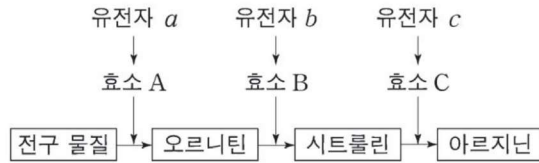
[Comment]

전체가 주어지고, 구성 셀이 모두 결정되어 있으면 특수한 사실을 바로 적용할 수 있다.

[문제 12]

다음은 붉은빵곰팡이의 유전자 발현에 대한 자료이다.

- 야생형에서 아르지닌이 합성되는 과정은 그림과 같다.



- 돌연변이주 I과 II는 각각 유전자 a와 b 중 하나에만 돌연변이가 일어난 것이다.
- 야생형, I, II를 각각 최소 배지, 최소 배지에 물질 ㉠이 첨가된 배지, 최소 배지에 물질 ㉡이 첨가된 배지에서 배양하였을 때, 성장 여부와 물질 ㉢의 합성 여부는 표와 같다.
- ㉠~㉢은 오르니틴, 시트룰린, 아르지닌을 순서 없이 나타낸 것이다.

구분	최소 배지		최소 배지, ㉠		최소 배지, ㉡	
	성장	㉢합성	성장	㉢합성	성장	㉢합성
야생형	+	○	+	○	+	○
I	-	×	+	○	-	×
II	-	×	+	○	+	○

(+ : 성장함 - : 성장 못함, ○ : 합성됨 × : 합성 안 됨)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고르시오.

(단, 제시된 돌연변이 이외의 돌연변이는 고려하지 않는다.)

< 보 기 >

- ㄱ. ㉢은 시트룰린이다.
- ㄴ. 효소 B의 기질은 ㉢이다.
- ㄷ. II는 a에서 돌연변이가 일어난 것이다.

① 유전자와 단백질의 관계

[문제 12] 정답. ㄷ

[해설]

구분	최소 배지		최소 배지, ㉠		최소 배지, ㉡	
	생장	㉢합성	생장	㉢합성	생장	㉢합성
야생형	+	○	+	○	+	○
I	-	×	+	○	-	×
II	-	×	+	○	+	○

(+ : 생장함 - : 생장 못함, ○ : 합성됨 × : 합성 안 됨)

㉠을 첨가했을 때 최소 배지와 ㉢ 합성 여부가 다르므로 ㉠은 아르지닌이 아니다.  
 마찬가지로 ㉡도 아르지닌이 아니므로 ㉢이 아르지닌이다.

구분	최소 배지		최소 배지, ㉠		최소 배지, ㉡	
	생장	㉢합성	생장	㉢합성	생장	㉢합성
야생형	+	○	+	○	+	○
I	-	×	+	○	-	×
II	-	×	+	○	+	○

(+ : 생장함 - : 생장 못함, ○ : 합성됨 × : 합성 안 됨)

㉢이 첨가된 배지에서 ㉡이 첨가된 배지보다 많이 생장하므로  
 ㉡이 ㉠의 선구 물질이다.

따라서 ㉠은 시트룰린, ㉡은 오르니틴이다.

[선지 해제]

< 보 기 >

ㄱ. ㉠은 시트룰린이다. (X)

시트룰린은 ㉠이다.

ㄴ. 효소 B의 기질은 ㉡이다. (X)

효소 B의 기질은 오르니틴이므로 ㉡이다.  
 아르지닌은 다른 중간 물질의 기질로 사용되지 않는다.

ㄷ. II는 a에서 돌연변이가 일어난 것이다. (O)

구분	최소 배지		최소 배지, ㉠		최소 배지, ㉡	
	생장	㉢합성	생장	㉢합성	생장	㉢합성
야생형	+	○	+	○	+	○
I	-	×	+	○	-	×
II	-	×	+	○	+	○

(+ : 생장함 - : 생장 못함, ○ : 합성됨 × : 합성 안 됨)

II는 I 보다 많은 배지에서 생장했으므로 앞에 돌연변이가 일어났다.  
 따라서 a와 b 중 a에서 돌연변이가 일어난 것이다.

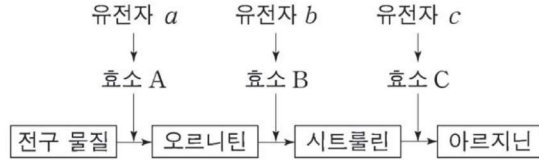
[Comment]

제한된 전체 집합 파악  
 물질 우선(뒤물), 돌연변이 나중(앞물)

[문제 13 - 21학년도 9월 평가원]

다음은 붉은빵곰팡이의 유전자 발현에 대한 자료이다.

○ 야생형에서 아르지닌이 합성되는 과정은 그림과 같다.



- 돌연변이주 I은 유전자 a~c 중 어느 하나에, II는 그 나머지 유전자 중 하나에만 돌연변이가 일어난 것이다.
- 야생형, I, II를 각각 최소 배지, 최소 배지에 물질 ㉠이 첨가된 배지, 최소 배지에 물질 ㉡이 첨가된 배지에서 배양하였을 때, 성장 여부와 물질 ㉢의 합성 여부는 표와 같다. ㉠~㉢은 오르니틴, 시트룰린, 아르지닌을 순서 없이 나타낸 것이다.

구분	최소 배지		최소 배지, ㉠		최소 배지, ㉡	
	성장	㉢합성	성장	㉢합성	성장	㉢합성
야생형	+	○	+	○	+	○
I	-	(가)	+	○	-	○
II	-	×	+	×	-	×

(+ : 성장함 - : 성장 못함, ○ : 합성됨 × : 합성 안 됨)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고르시오.

(단, 제시된 돌연변이 이외의 돌연변이는 고려하지 않는다.)

< 보 기 >

- ㄱ. ㉠은 시트룰린이다.
- ㄴ. ㉡은 효소 B의 기질이다.
- ㄷ. I은 최소 배지에 ㉢을 첨가하여 배양하였을 때 성장한다.
- ㄹ. (가)는 '×'이다.

① 유전자와 단백질의 관계

[문제 13] 정답. L

[해설]

구분	최소 배지		최소 배지, ㉠		최소 배지, ㉡	
	생장	㉢합성	생장	㉢합성	생장	㉢합성
야생형	+	○	+	○	+	○
I	-	(가)	+	○	-	○
II	-	×	+	×	-	×

(+ : 생장함 - : 생장 못함, ○ : 합성됨 × : 합성 안 됨)

㉠이 첨가되고 ㉡이 합성되었는데 생장하지 않으므로 ㉠이 아르지닌이다.

∴ I 은 아르지닌이 합성되지 않으므로 c에 돌연변이가 일어났다.

구분	최소 배지		최소 배지, ㉠		최소 배지, ㉡	
	생장	㉢합성	생장	㉢합성	생장	㉢합성
야생형	+	○	+	○	+	○
I	-	(가)	+	○	-	○
II	-	×	+	×	-	×

(+ : 생장함 - : 생장 못함, ○ : 합성됨 × : 합성 안 됨)

아르지닌을 첨가한 배지의 물질 합성 여부는

최소 배지의 물질 합성 여부와 동일하므로 (가)는 '○'이다.

구분	최소 배지		최소 배지, ㉠		최소 배지, ㉡	
	생장	㉢합성	생장	㉢합성	생장	㉢합성
야생형	+	○	+	○	+	○
I	-	(가)	+	○	-	○
II	-	×	+	×	-	×

(+ : 생장함 - : 생장 못함, ○ : 합성됨 × : 합성 안 됨)

세 종류의 돌연변이주 중 한 돌연변이주만 생장한다.

∴ ㉠은 오르니틴이다. ⇒ ㉡은 시트룰린이다.

[선지 해제]

< 보 기 >

ㄱ. ㉠은 시트룰린이다. (X)

㉠은 아르지닌이다.

ㄴ. ㉡은 효소 B의 기질이다. (O)

효소 B의 기질은 오르니틴이므로 ㉡이다.

ㄷ. I은 최소 배지에 ㉢을 첨가하여 배양하였을 때 생장한다. (X)

I (c 돌연변이주)은 시트룰린을 첨가하여 배양하여도 생장하지 않는다.

ㄹ. (가)는 '×'이다. (X)

(가)는 '○'이다.

[Comment]

대조군과 실험군의 비교-대조, 전체(세 종류 돌연변이주 기준). A와 AC 파악

암기한 연역적 사실은 적극 활용 ( - , ○ , 앞돌뒤물)