

3. 세포호흡 + 광합성

• 최종전자수용체

세포호흡: O_2

젖산 발효: 피루브산

알코올 발효: 아세트알데하이드

광합성: $NADP^+$

• 물질별 $\frac{\text{수소 수}}{\text{탄소 수}}, \frac{\text{인산기 수}}{\text{탄소 수}}$ + 대소비교 (주의: 역수로 제시할 경우)

(1) 세포호흡 + 발효에서의 $\frac{\text{수소 수}}{\text{탄소 수}}$

피루브산 $\frac{4}{3}$ | 에탄올 $\frac{6}{2}$ | 젖산(아세트알데하이드) $\frac{6}{3} \left(\frac{4}{2} \right)$

∴ 에탄올 > 피루브산 > 젖산 = 아알

(2) 광합성에서의 $\frac{\text{인산기 수}}{\text{탄소 수}}$

RuBP $\frac{2}{5}$ | 3PG $\frac{1}{3}$ | DPGA $\frac{2}{3}$ | PGAL $\frac{1}{3}$

∴ (DPGA) > RuBP > 3PG=PGAL

• pH 농도 비교 (주의 : 역수 또는 H^+ 농도로 제시할 경우)

1. 세포호흡: $\frac{\text{막 사이 공간의 pH}}{\text{기질의 pH}}$ 의 값을 물어볼 경우

물질 X는 미토콘드리아 내막에 있는 인지질을 통해 H^+ 을 새어 나가게 하고, 물질 Y는 ATP 합성효소를 통한 H^+ 의 이동을 차단한다.

평상시: 기질에서의 pH가 높고, 막 사이 공간의 pH가 낮다.

물질 X 첨가 시: 기질과 막 사이 공간의 pH가 비슷해진다. (1로 간주)

물질 Y 첨가 시: 기질에서의 pH가 높고, 막 사이 공간의 pH가 낮다.

(평상시보다도 높아짐)

2. 광합성 : $\frac{\text{스트로마의 pH}}{\text{틸라코이드 내부의 pH}}$... ㉠

I. 550nm VS 450nm:

450nm에서 광합성이 활발하므로 틸라코이드 내부로 수소이온이 더 많이 이동된다.

따라서 pH가 낮아지게 되므로 ㉠의 값을 비교하면

450nm > 550nm이다.

II. 전자 전달 저해제 첨가 시:

틸라코이드 내부로 H^+ 이 능동수송되는 것이 차단되고, 틸라코이드 내부 H^+ 농도가 낮아져 pH가 높아진다.

따라서 ㉠의 값은 저해제 처리 후가 처리 전보다 작다.

물질 X는 틸라코이드의 전자 전달계에서 전자가 광계 I로 이동하는 것을 차단하고, 물질 Y는 틸라코이드 막에 있는 인지질을 통해 H^+ 을 새어 나가게 한다.

① 명반응 산물 저해

→ 암실에서 실험하였을 때 효과 X

② 수소 농도 기울기 감소 효과

→ 암실에서 실험하였을 때 효과 O (ATP 합성량 저하)

세포호흡 & 광합성 실험 유형 대표 문제

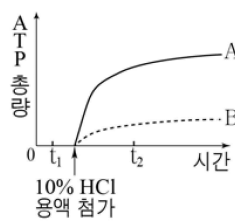
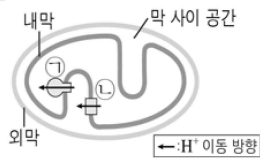
1. 다음은 미토콘드리아를 이용한 실험이다.

(가) pH 7의 완충 용액에 들어 있는 시험관 A와 B에 각각 ADP와 무기 인산을 충분히 넣는다.

(나) A와 B 중 B에만 물질 X를 첨가한다. X는 ㉠과 ㉡ 중 1가지에

작용하여 H^+ 의 이동을 억제하고, ㉠과 ㉡은 각각 전자 전달 효소 복합체와 ATP 합성 효소 중 하나이다.

(다) A와 B에 기질의 pH가 7인 미토콘드리아를 각각 넣은 후 A와 B에 동일한 양의 10% HCl 용액을 첨가하기 이전과 이후에 미토콘드리아에서 생성된 ATP 총량을 측정하여 그림과 같은 결과를 얻었다.



이 실험에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [2016년 7월 학력평가5] ①

보기

㉠. X는 ㉠에 작용한다.

㉡. t_2 일 때 B의 미토콘드리아에서 ㉡을 통해 H^+ 이 확산된다.

㉢. A에서 미토콘드리아 기질의 pH는 t_1 일 때보다 t_2 일 때 높다.

① ㉠ ② ㉡ ③ ㉠, ㉢ ④ ㉡, ㉢ ⑤ ㉠, ㉡, ㉢

2. 다음은 엽록체의 ATP 합성 실험이다.

(실험 과정 및 결과)

(가) 시금치를 갈아 엽록체를 분리하여 pH가 ㉡인 수용액이 들어 있는 시험관 A와 pH가 ㉢인 수용액이 들어 있는 시험관 B에 각각 넣고, 틸라코이드 내부의 pH가 수용액의 pH와 같아질 때까지 둔다. ㉡와 ㉢은 3.8과 8.0을 순서 없이 나타낸 것이다.

(나) pH가 7.0인 수용액이 들어 있는 플라스크 ㉠~㉣을 준비하고, ㉠~㉣ 각각에 A의 엽록체, B의 엽록체, 물질 X, 물질 Y를 표와 같이 첨가한 후 암실로 옮긴다. X는 틸라코이드의 전자 전달계에서 전자가 광계 I로 이동하는 것을 차단하는 물질이고, Y는 틸라코이드 막에 있는 인지질을 통해 H^+ 을 새어 나가게 하는 물질이다.

(다) (나)의 ㉠~㉣ 각각에 ADP와 P_i 를 첨가한 후, ATP 합성량을 측정할 결과는 표와 같다.

플라스크	㉠	㉡	㉢	㉣
첨가한 엽록체, 물질	A의 엽록체	A의 엽록체, X	A의 엽록체, Y	B의 엽록체
ATP 합성량 (상댓값)	10	?	㉤	0

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, X, Y, ADP, P_i 는 충분히 첨가되었으며, 제시된 조건 이외의 다른 조건을 동일하다.) [3점] [2023학년도 수능8] ④

보기

㉠. ㉡는 3.8이다.

㉡. ㉤는 10보다 작다.

㉢. (다)의 ㉡에서 화학 삼투에 의한 인산화가 일어났다.

① ㉠ ② ㉡ ③ ㉠, ㉢ ④ ㉡, ㉢ ⑤ ㉠, ㉡, ㉢

• 세포호흡 / 광합성 실험 유형 + 인산화 과정

[명제1] 환산은 기질(스트로마)로

[명제2]

H^+ 농도 ↑ (막사이공간/틸라코이드 내부) = pH ↓
 ↓
 H^+ 농도 ↓ (기질/스트로마) = pH ↑
 [즉 H^+ 와 pH는 반비례]

[세포호흡]

수용액 I (pH가 높은 곳)에 미토콘드리아를 수용액의 pH와 같아질 때까지 배양한 후 미토콘드리아를 수용액 II (pH가 낮은 곳)으로 옮기면 수소 농도 기울기가 형성되어 ATP가 합성된다.
 [수용액 I의 pH > 수용액 II의 pH]

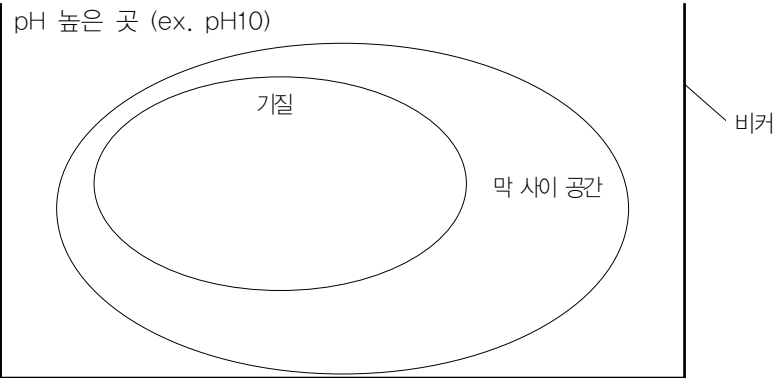
[광합성]

수용액 III (pH가 낮은 곳)에 틸라코이드를 수용액의 pH와 같아질 때까지 배양한 후 틸라코이드를 수용액 IV (pH가 높은 곳)으로 옮기면 수소 농도 기울기가 형성되어 ATP가 합성된다.
 [수용액 IV의 pH > 수용액 III의 pH]

[보충 설명] - 실험 과정 순서

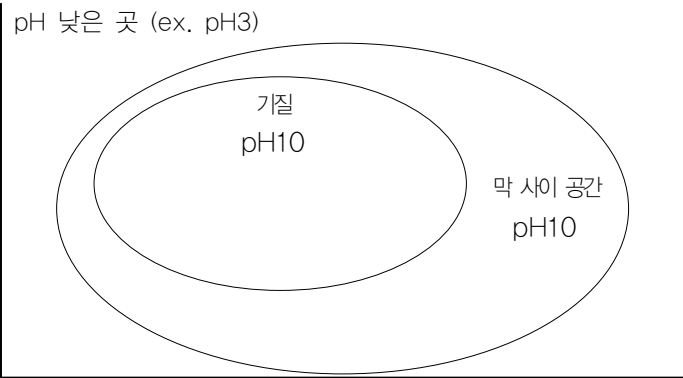
① 미토콘드리아

(1)



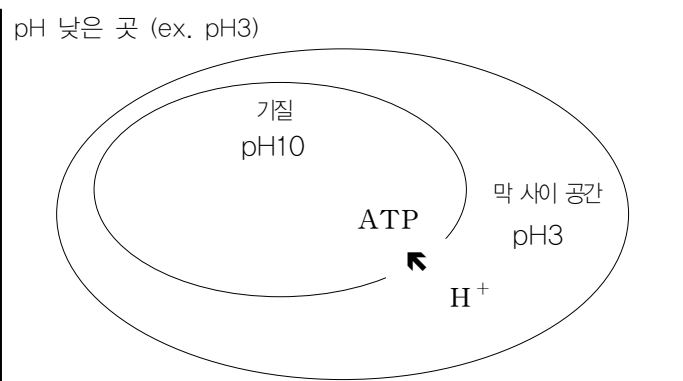
비커에 미토콘드리아를 넣어 수용액의 pH와 같아질 때까지 둔다.

(2)



(1)에 있는 미토콘드리아를 pH가 낮은 수용액이 담긴 비커에 옮겨 둔다.

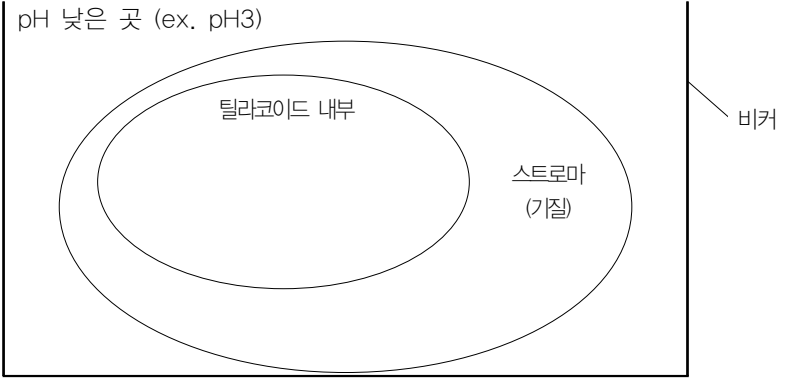
(3)



막 사이 공간이 더 바깥쪽에 존재하므로 막 사이 공간의 pH가 먼저 낮아지게 된다. ⇨ 수소 농도 기울기 형성 및 ATP 합성
 • [참고] 미토콘드리아를 분리하여 진행한 실험이므로 포도당을 첨가하여도 이를 직접적으로 사용하지 못한다. 따라서 포도당 첨가 시 ATP 추가 생성 X

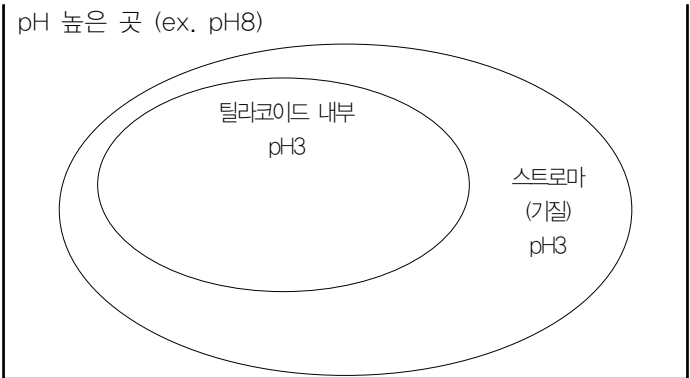
② 엽록체

(1)



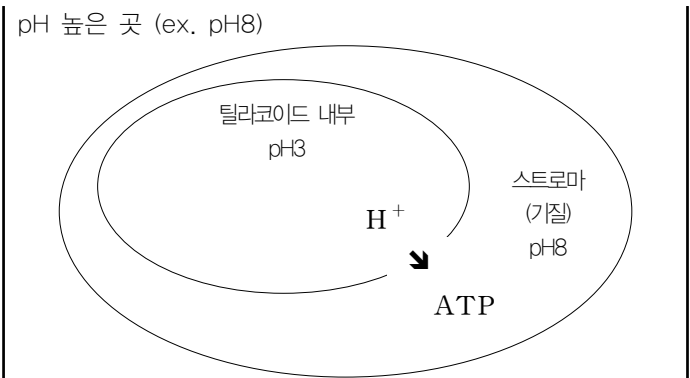
비커에 엽록체를 넣어 수용액의 pH와 같아질 때까지 둔다.

(2)



(1)에 있는 엽록체를 pH가 높은 수용액이 담긴 비커에 옮겨 둔다.

(3)



틸라코이드 내부가 더 안쪽에 존재하므로 스트로마(기질)의 pH가 먼저 높아지게 된다. ⇨ 수소 농도 기울기 형성 및 ATP 합성

[결론] ATP합성되기 위한 조건 - 암기

- 미토콘드리아: pH 높은 곳 → 낮은 곳
- 엽록체: pH 낮은 곳 → 높은 곳

[기술분석자료1] 2017년 10월 학력평가 3번 - 세포호흡 & 광합성 실험

다음은 세포 소기관 ㉠과 ㉡을 암실에서 수행한 실험이다. ㉠과 ㉡은 각각 엽록체와 미토콘드리아 중 하나이다.

- (가) ㉠과 ㉡을 pH 5인 완충 용액에 넣고 ㉠과 ㉡의 내부가 모두 pH 5가 되게 한다.
- (나) (가)의 ㉠과 ㉡을 pH 8인 완충 용액에 넣고 ADP와 P_i 을 첨가하였더니 ㉠에서만 ATP가 합성된다.
- (다) (나)에서 충분한 시간이 지난 후 ㉠과 ㉡을 pH 5의 완충 용액에 넣고 ADP와 P_i 을 첨가한다.

[실험 분석]

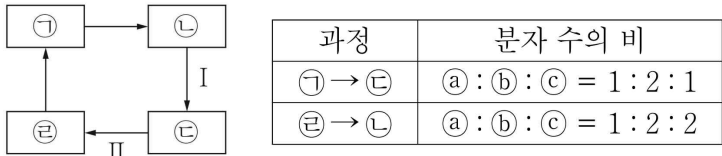
- 암실에서 진행하였으므로 엽록체의 경우 명반응 발생 X
- [보충 설명]의 명제에 의하여 pH 낮은 곳에서 높은 곳으로 옮겼을 때 ㉠에서 ATP가 합성되었으므로 ㉠이 엽록체이다.

[선지 분석]

- ㄱ. ㉡(엽록체)에는 크리스타가 존재하지 않는다.
- ㄴ. 명반응 발생 X → O_2 발생 X
- ㄷ. (다)의 결과에서 pH 높은 곳 → 낮은 곳이므로 ATP 합성 O

세포호흡 고난도

1. 그림은 TCA 회로의 일부를, 표는 TCA 회로를 1회 거치는 동안 물질 전환 과정의 일부에서 생성되는 물질 ㉠~㉢의 분자 수의 비를 나타낸 것이다. ㉠~㉢은 4탄소 화합물, 5탄소 화합물, 시트르산, 옥살아세트산을 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 있는 대로 고른 것은? [3점]
[2022년 4월 학력평가18] ②

보기

- ㄱ. 과정 I에서 기질 수준 인산화가 일어난다.
- ㄴ. 과정 II에서 ㉢가 생성된다.
- ㄷ. 1분자당 $\frac{\text{㉠의 탄소 수}}{\text{㉡의 탄소 수}}$ 는 1분자당 $\frac{\text{㉢의 탄소 수}}{\text{㉣의 탄소 수}}$ 보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

2. 표는 TCA 회로에서 1분자의 A와 C가 각각 1분자의 B와 D로 전환되는 과정에서 생성되는 ㉠과 ㉡의 분자수의 합과 ㉢과 ㉣의 분자 수의 합을 나타낸 것이다. A~D는 시트르산, 옥살아세트산, 4탄소 화합물, 5탄소 화합물을 순서 없이 나타낸 것이고, ㉠~㉣은 ATP, CO₂, NADH를 순서 없이 나타낸 것이다. 1분자당 탄소 수는 B와 D가 같다.

과정	㉠의 분자수 + ㉡의 분자수	㉢의 분자수 + ㉣의 분자수
A → B	4	3
C → D	3	2

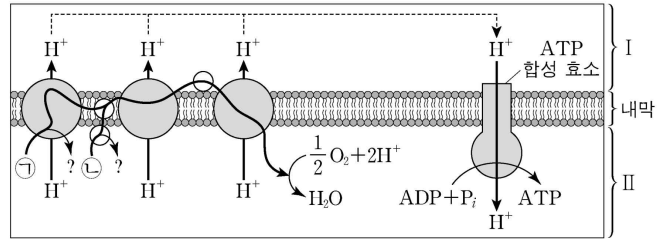
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 있는 대로 고른 것은? [3점]
[2021년 4월 학력평가18] ②

보기

- ㄱ. ㉡은 NADH이다.
- ㄴ. 1분자당 탄소 수는 A가 C보다 많다.
- ㄷ. 1분자의 A가 1분자의 D로 전환되는 과정에서 생성되는 ㉠과 ㉢의 분자 수의 합은 3이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

3. 그림은 전자 전달이 활발하게 일어나고 있는 미토콘드리아 내막의 전자 전달계를 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡은 각각 FADH₂와 NADH 중 하나이고, I과 II는 각각 미토콘드리아 기질과 막 사이 공간 중 하나이다. 물질 A는 미토콘드리아 내막에 있는 인지질을 통해 H⁺을 새어 나가게 하여 ATP 합성을 저해한다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 있는 대로 고른 것은?
[2022학년도 6월 모의평가18] ③

보기

- ㄱ. ㉠은 NADH이다.
- ㄴ. $\frac{\text{I의 pH}}{\text{II의 pH}}$ 는 물질 A를 처리한 후가 처리하기 전보다 작다.
- ㄷ. ㉠ 1분자와 ㉡ 1분자로부터 각각 전자 전달계를 거쳐 $\frac{1}{2}\text{O}_2$ 로 전달되는 전자의 개수는 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

4. 다음은 효모의 알코올 발효에 대한 실험이다.

[실험 과정 및 결과]

(가) 플라스크 I ~ III에 알코올 발효에 필요한 효모, 포도당, 배지를 표와 같이 첨가한다.

플라스크	I	II	III
첨가물	효모 3g 포도당 20g 배지 100 mL	효모 6g 포도당 20g 배지 100 mL	효모 6g 포도당 10g 배지 100 mL

(나) (가)의 I ~ III을 밀폐시킨 후 O₂가 없는 조건으로 만든다.
(다) (나)의 I ~ III에서 시간에 따른 CO₂ 생성량을 측정한다.
(라) 그림은 (다)의 결과를 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡은 I과 III을 순서 없이 나타낸 것이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 제시된 조건 이외의 다른 조건을 동일하다.) [3점]
[2022학년도 9월 모의평가10] ②

보기

- ㄱ. ㉠은 III이다.
- ㄴ. II의 구간 a에서 탈수소 반응이 일어난다.
- ㄷ. ㉡에서 단위 시간당 생성되는 아세트알데하이드의 양은 구간 b에서가 구간 a에서보다 많다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

5. 다음은 리포솜을 이용한 ATP 합성 실험이다.

- 단백질 X는 빛에 반응하여 H⁺ 을 수송하는 단백질이고, 단백질 Y는 미토콘드리아에서 분리한 ATP 합성 효소이다.
- ㉠과 ㉡는 각각 X와 Y 중 하나이다.
- 물질 Z는 리포솜의 인지질 막을 통해 H⁺ 이 새어 나가게 한다.
- ATP, ADP, P_i는 리포솜의 인지질 막을 통과하지 못한다.

[실험 과정 및 결과]

- (가) 리포솜 막에 ㉠을 삽입시켜 리포솜 ㉠을, ㉡를 삽입시켜 리포솜 ㉡을 만들고, ㉢의 막에 ㉠을 삽입시켜 리포솜 ㉢을 만든다. ㉠~㉢ 내부의 pH는 서로 같다.
- (나) ㉠~㉢ 내부와 pH가 같은 수용액이 들어 있는 시험관 I~IV를 준비한다.
- (다) (나)의 I~IV에 ㉠, ㉡, ㉢, ADP, P_i, Z를 표와 같이 넣고 시험관에 빛을 비춘 후, 특정 시점에 리포솜 외부의 pH 변화와 ATP 합성 여부를 측정한다. 결과는 표와 같다.

시험관	I	II	III	IV
리포솜	㉠	㉡	㉢	㉢
첨가물	ADP, P _i	ADP, P _i	ADP, P _i	ADP, P _i , Z
리포솜 외부의 pH	변화 없음	증가함	?	?
ATP 합성	합성 안 됨	합성 안 됨	합성됨	합성 안 됨

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 제시된 조건 이외의 다른 조건을 동일하다.) [3점]
[2019학년도 9월 모의평가8] ②

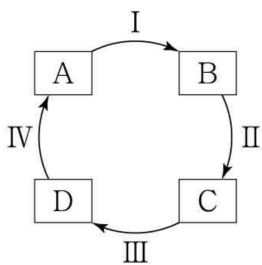
보기

- ㄱ. ㉠은 X이다.
- ㄴ. (다)의 결과에서 리포솜 외부의 pH는 II에서가 IV에서보다 높다.
- ㄷ. (다)의 III에서 ATP는 ㉢ 내부에서 합성된다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

[고난도·신유형] - 분자 수 합계기

1. 그림은 세포 호흡이 일어나고 있는 미토콘드리아의 TCA 회로의 일부를, 표는 1분자의 아세틸 CoA가 TCA 회로를 거쳐 분해되는 과정 I~IV에서 생성되는 물질 ㉠~㉣ 중 2가지의 분자 수를 더한 값을 나타낸 것이다. A~D는 4탄소 화합물, 5탄소 화합물, 시트르산, 옥살아세트산을 순서 없이 나타낸 것이고, ㉠~㉣은 CO₂, FADH₂, NADH를 순서 없이 나타낸 것이다.



과정	분자 수를 더한 값		
	㉠+㉡	㉠+㉢	㉡+㉢
I	2	1	㉠
II	1	㉡	2
III	0	0	0
IV	2	1	1

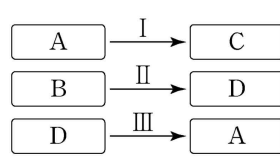
이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]
[2023년 10월 학력평가10] ③

보기

- ㄱ. ㉡는 NADH이다.
- ㄴ. IV에서 ATP가 생성된다.
- ㄷ. ㉠과 ㉡는 각각 1이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

2. 그림은 세포 호흡에서 일어나고 있는 미토콘드리아의 TCA 회로에서 물질 전환 과정 I~III을, 표는 I~III에서 생성되는 물질 ㉠~㉣ 중 2개의 분자 수를 더한 값을 나타낸 것이다. A~D는 시트르산, 4탄소 화합물, 5탄소 화합물, 옥살아세트산을 순서 없이 나타낸 것이고, ㉠~㉣은 CO₂, FADH₂, NADH를 순서 없이 나타낸 것이다. 1분자당 $\frac{A \text{의 탄소 수}}{B \text{의 탄소 수} + D \text{의 탄소 수}} = \frac{3}{4}$ 이다.



과정	분자 수를 더한 값		
	㉠+㉡	㉠+㉢	㉡+㉢
I	2	?	1
II	?	1	2
III	0	?	?

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?
[2023학년도 수능13] ③

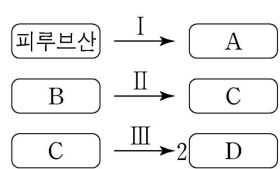
보기

- ㄱ. ㉠은 CO₂ 이다.
- ㄴ. III에서 ATP가 생성된다.
- ㄷ. TCA 회로에서 1분자의 C가 1분자의 D로 전환되는 과정에서 생성되는 ㉡의 분자 수는 2이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

[알코올 발효]

3. 그림은 효모의 알코올 발효에서 물질 전환 과정 I~III을, 표는 I~III에서 생성되는 물질 ㉠~㉣ 중 2개의 분자 수를 더한 값을 나타낸 것이다. A~D는 과당 2인산, 아세트알데하이드, 에탄올, 포도당을 순서 없이 나타낸 것이고, ㉠~㉣은 ADP, ATP, CO₂, NAD⁺ 를 순서 없이 나타낸 것이다.



과정	분자 수를 더한 값		
	㉠+㉡	㉠+㉢	㉡+㉢
I	2	?	1
II	?	2	0
III	0	2	4

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?
[2024학년도 수능7] ⑤

보기

- ㄱ. ㉡는 NAD⁺ 이다.
- ㄴ. 1분자당 $\frac{C \text{의 탄소 수}}{B \text{의 탄소 수} + D \text{의 탄소 수}} = \frac{3}{4}$ 이다.
- ㄷ. III에서 탈수소 반응이 일어난다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ