

기술
PICK

정답과 해설

세포와 물질대사

01 생물체의 구성 물질

빈출 자료 보기

4쪽

001 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ×

- 001 (가)는 인지질, (나)는 녹말, (다)는 단백질, (라)는 핵산이다.
 (2) 인지질(가)은 친수성 머리와 소수성 꼬리로 구성되어 있어 생체막에서 이중층을 형성한다.
 (4) 단백질(다)은 우리 몸을 구성하는 주성분으로 탄소(C), 수소(H), 산소(O), 질소(N)로 구성되며, 황(S)을 함유하는 것도 있다.
바로알기 | (1) 인지질(가)은 세포막이나 핵막 등 생체막을 구성하는 주요 성분이다. 동물의 체온 유지에 중요한 역할을 하는 것은 중성지방이다.
 (3) 녹말(나)은 식물 세포 속에 저장되어 있다가 에너지원으로 이용된다. 동물의 에너지 저장 물질은 글라이코젠이다.
 (5) 핵산(라)의 단위체는 뉴클레오타이드이며, 뉴클레오타이드는 인산, 당, 염기가 1 : 1 : 1로 결합되어 있다.

난이도별 필수 기출

5쪽~8쪽

002 ⑤ 003 ⑤ 004 해설 참조 005 ③ 006 ②
 007 해설 참조 008 ② 009 ③ 010 ④ 011 ①
 012 해설 참조 013 ②, ⑦ 014 ④ 015 ⑤, ⑦ 016 ②
 017 ⑤ 018 ②, ⑥ 019 ③ 020 ②

- 002 ① 탄수화물은 생물의 주요 에너지원이다.
 ②, ③ 탄수화물은 단당류, 이당류, 다당류로 구분되며, 단당류에는 과당, 포도당, 갈락토스가 있다.
 ④ 이당류는 2개의 단당류가 결합한 물질로, 설탕, 엿당, 젖당 등이 있다.
바로알기 | ⑤ 글라이코젠은 동물의 에너지 저장 물질이며, 식물의 에너지 저장 물질은 녹말이다.
 003 ㄱ. (가)는 단당류가 두 개 결합한 이당류이며, 설탕이다.
 ㄴ. (나)는 다당류인 녹말이며, 식물 세포에서 에너지를 저장하는 물질이다.
 ㄷ. (다)는 단당류인 포도당으로, 생명체에서 주된 에너지원으로 이용된다.

- 004 **모범 답안** 녹말, 글라이코젠, 셀룰로스, 녹말은 식물의 에너지 저장 물질이고, 글라이코젠은 동물의 에너지 저장 물질이며, 셀룰로스는 식물 세포의 세포벽을 구성하는 물질이다.

채점 기준	배점
다당류의 예와 각각의 기능을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
다당류의 예는 모두 옳게 썼으나 기능은 일부만 옳게 서술한 경우	50 %
다당류의 예만 모두 옳게 쓴 경우	30 %

- 005 ㄱ. 인지질은 1분자의 글리세롤, 2분자의 지방산, 1분자의 인산 등이 결합한 물질이며, 세포막의 주성분이다.

ㄴ. 스테로이드는 탄소로 구성된 고리 화합물 4개가 연결된 물질이며, 콜레스테롤은 스테로이드에 속한다.

바로알기 | ㄷ. 중성지방은 글리세롤 1분자와 지방산 3분자가 결합한 물질이며, 생명체의 에너지원으로 이용되거나 체온을 유지하는 역할을 한다.



ㄷ. 콜레스테롤(C)은 탄소로 구성된 고리 화합물 4개를 갖는 스테로이드에 속한다.

바로알기 | ㄱ. 중성지방(A)은 글리세롤과 지방산이 결합한 물질이다.
 ㄴ. 인지질(B)은 세포막의 주성분이며, 동물의 체온 유지에 중요한 역할을 하는 물질은 중성지방(A)이다.

- 007 **모범 답안** 에너지원으로 이용된다, 탄소(C), 수소(H), 산소(O)로 구성되어 있다.

채점 기준	배점
공통점을 두 가지 모두 옳게 서술한 경우	100 %
공통점을 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

008 ㄴ. 단백질은 항체의 주성분으로 방어작용을 담당한다.

바로알기 | ㄱ. 생물의 체온 유지에 중요한 역할을 하는 것은 중성지방이며, 단백질은 몸을 구성하는 주성분이다.
 ㄷ. 아미노산의 종류와 수, 배열 순서에 따라 단백질의 입체 구조가 달라진다.

009 ㄱ, ㄷ. 한 아미노산의 카복실기와 다른 아미노산의 아미노기 사이에서 물(H₂O) 1분자가 빠져나오면서 이루어지는 결합을 펩타이드 결합(㉠)이라고 한다.

바로알기 | ㄴ. 수많은 아미노산이 펩타이드결합(㉠)으로 연결되어 폴리펩타이드가 만들어진다. 폴리뉴클레오타이드는 수많은 뉴클레오타이드가 연결되어 만들어진다.

010 ㄱ. 1차 구조(가)는 단백질의 단위체인 아미노산이 펩타이드 결합으로 연결되어 폴리펩타이드를 형성한 것이다.

ㄴ. (나)는 폴리펩타이드가 나선처럼 꼬이거나 병풍처럼 접힌 2차 구조이다.

ㄷ. (라)는 4차 구조를 형성한 단백질로, 단백질의 기능은 입체 구조에 의해 결정된다.

바로알기 | ㄷ. (다)는 3차 구조이며, 폴리펩타이드가 2개 이상 모여 형성된 구조는 4차 구조(라)이다.

011 ② 핵산의 단위체는 인산, 당, 염기가 1 : 1 : 1로 결합한 뉴클레오타이드이다.

③ 핵산 중 DNA는 유전정보를 저장하고, RNA는 유전정보를 전달하고 유전자로부터 단백질이 합성되는 데 관여한다.

④ DNA와 RNA를 구성하는 염기에는 아데닌(A), 사이토신(C), 구아닌(G)이 있다. 타이민(T)은 DNA에만 있는 염기이고, 유라실(U)은 RNA에만 있는 염기이다.

⑤ DNA를 구성하는 당은 디옥시라이보스, RNA를 구성하는 당은 라이보스이다.

바로알기 | ① RNA는 단일 가닥 구조이고, DNA는 이중나선구조이다.

012 **모범 답안** ㉠은 당, ㉡은 염기이다. DNA의 염기(㉡)는 아데닌(A), 구아닌(G), 사이토신(C), 타이민(T)이고, RNA의 염기(㉡)는 아데닌(A), 구아닌(G), 사이토신(C), 유라실(U)이다.

채점 기준	배점
㉠과 ㉡을 옳게 쓰고, DNA와 RNA의 차이점을 옳게 서술한 경우	100 %
㉠과 ㉡만 옳게 쓴 경우	30 %

013 (가)는 중성지방, (나)는 글라이코젠, (다)는 DNA이다.
 ② 중성지방(가)은 지방산 3분자와 글리세롤 1분자가 결합한 물질이다.
 ⑦ DNA(다)의 단위체는 뉴클레오타이드이다.
바로알기 | ① 중성지방(가)은 주요 저장 에너지원이다.
 ③ 글라이코젠(나)은 수많은 단당류가 결합한 다당류이다.
 ④ 글라이코젠(나)은 동물 세포의 에너지 저장 물질이다.
 ⑤ DNA(다)는 이중나선구조이다.
 ⑥ DNA(다)는 유전정보를 저장한다. 유전자로부터 단백질이 합성되는 데 관여하는 것은 RNA이다.

014 (가)는 스테로이드, (나)는 RNA, (다)는 단백질이다.
 ㄱ. 스테로이드(가)의 한 종류인 콜레스테롤은 동물의 세포막을 구성하는 성분이다.
 ㄴ. ㉠은 단백질(다)의 단위체인 아미노산이며, 아미노산(㉠)에는 질소(N)가 포함되어 있다.
바로알기 | ㄴ. RNA(나)를 구성하는 염기의 종류에는 아데닌(A), 구아닌(G), 사이토신(C), 유라실(U)이 있다.

015 (가)는 단백질, (나)는 인지질, (다)는 엽당이다.
 ① 단백질(가)은 효소, 호르몬, 항체, 근육 등의 주성분으로, 생물의 몸을 구성하고 생명체에서 일어나는 대부분의 생명활동에 관여한다.
 ② 단백질(가)은 아미노산의 수, 종류, 배열 순서에 따라 입체 구조가 달라지며, 단백질의 입체 구조에 따라 기능이 달라진다.
 ③ 인지질(나)의 ㉠에는 인산이 있어 친수성을 나타낸다.
 ④ 인지질(나)의 ㉡은 지방산으로 소수성이다.
 ⑥ 이당류인 엽당(다)은 탄수화물이다.
바로알기 | ⑤ 인지질(나)은 세포막의 주성분이다. 콜레스테롤로부터 사람의 성호르몬이 만들어진다.
 ⑦ 아미노산은 단백질(가)의 단위체이다.

016 A는 중성지방, B는 셀룰로스, C는 단백질이다.
 ㄴ. ㉠은 포도당이며, 포도당(㉠)은 생명체의 가장 대표적인 에너지원이다.
바로알기 | ㄱ. 중성지방(A)은 지방산 3분자와 글리세롤 1분자로 구성된다. 인산, 지방산, 글리세롤로 구성된 것은 인지질이다.
 ㄴ. 단백질(C)은 지질에 속하지 않는다.

017 ㄴ. B는 단백질, 인지질, 글라이코젠이 모두 갖는 공통된 특성이자, 단백질, 인지질, 글라이코젠은 모두 탄소 화합물에 속하므로 '탄소 화합물이다.'는 B에 해당된다.
 ㄴ. C는 단백질과 인지질이 모두 갖는 공통된 특성이자, 단백질과 인지질은 모두 세포막의 구성 성분으로 '세포막의 구성 성분이다.'는 C에 해당된다.
바로알기 | ㄱ. '단위체의 종류와 수, 배열 순서에 따라 입체 구조가 달라진다.'는 단백질에만 해당하는 특징이다.

018 RNA, 녹말, 스테로이드 중 지질에 속하는 것은 스테로이드이므로 A는 스테로이드이며, RNA와 녹말 중 에너지 저장 물질인 것

은 녹말이므로 B는 녹말이고, C는 RNA이다.
 ① A는 지질에 속하는 스테로이드이다.
 ③ 녹말(B)은 다당류로 탄수화물에 속한다.
 ④ 녹말(B)의 구성 원소는 탄소(C), 수소(H), 산소(O)이다.
 ⑤ RNA(C)를 구성하는 염기에는 아데닌(A), 구아닌(G), 사이토신(C), 유라실(U)이 있다.
바로알기 | ② 글라이코젠은 다당류로 탄수화물에 속한다.
 ⑥ RNA(C)는 유전정보를 전달하고 단백질합성에 관여한다.

019 ㉠은 뉴클레오타이드, ㉡은 아미노산, ㉢은 포도당이며, (나)는 DNA이다.
 ㄱ. 뉴클레오타이드(㉠)를 구성하는 원소에는 탄소(C), 수소(H), 산소(O), 질소(N), 인(P)이 있으며, 아미노산(㉡)을 구성하는 원소에는 탄소(C), 수소(H), 산소(O), 질소(N) 등이 있다.
 ㄴ. DNA(나)의 단위체는 인산, 당, 염기가 1 : 1 : 1로 결합한 뉴클레오타이드이므로 DNA(나)의 구성 물질에 당이 포함된다.
바로알기 | ㄴ. DNA(나)의 단위체는 뉴클레오타이드(㉠)이다.

특징				특징(㉠~㉢)
물질	㉠	㉡	㉢	
단백질	㉠ ×	○	? ×	• 펩타이드결합이 있다. ㉡ • 구성 원소에 인(P)이 있다. ㉠ • 구성 물질에 단당류가 포함된다. ㉢
DNA A	○	㉡ ×	○	
설탕 B	? ×	? ×	○	

(○: 있음, ×: 없음)

(가) (나)
 '펩타이드결합이 있다.'는 단백질에만 해당하는 특징이므로 ㉡이며, ㉠은 '×'이다. '구성 물질에 단당류가 포함된다.'는 설탕과 DNA에 해당하는 특징이므로 ㉢이며, ㉠은 '구성 원소에 인(P)이 있다.'이다. 따라서 ㉠은 '×'이며, A는 DNA이고 B는 설탕이다.
 ㄴ. ㉠은 '구성 원소에 인(P)이 있다.', ㉡은 '펩타이드결합이 있다.', ㉢은 '구성 물질에 단당류가 포함된다.'이다.
바로알기 | ㄱ. ㉠과 ㉢은 모두 '×'이다.
 ㄴ. DNA(A)의 단위체는 뉴클레오타이드이다.

최고 수준 도전 기출				9쪽
021 ①	022 ①	023 ④	024 ②	

021 ㄱ. 단백질 X는 3차 구조를 이룬 4개의 폴리펩타이드가 모여서 4차 구조를 형성하고 있다. 따라서 (가)는 하나의 폴리펩타이드이다.
바로알기 | ㄴ. ㉠과 ㉡은 단백질을 구성하고 있는 단위체이므로 아미노산이다. 아미노산인 ㉠과 ㉡이 결합할 때 한 아미노산의 카복실기와 다른 아미노산의 아미노기 사이에서 물 1분자가 빠져나오면서 펩타이드결합이 형성된다.
 ㄴ. X는 3차 구조의 폴리펩타이드가 여러 개 모여 형성된 4차 구조의 단백질이다.

구성 원소		㉠ P	㉡ H	㉢ N
물질				
I 단백질		×	㉠ ○	? ○
II 핵산		? ○	○	? ○
III 중성지방		×	㉡ ○	×

(○: 있음, ×: 없음)

수소(H)는 핵산, 단백질, 중성지방에 모두 있는 구성 원소이므로 ㉠이며, ㉡와 ㉢는 모두 '○'이다. 중성지방에는 수소(H)만 있으므로 ㉢는 중성지방이며, 핵산에는 수소(H), 질소(N), 인(P)이 모두 있으므로 ㉡는 핵산이고, I는 단백질이다. 따라서 ㉠은 핵산(II)에만 있는 원소이므로 인(P)이고, ㉢는 질소(N)이다.

ㄱ. 수소(H)는 핵산, 단백질, 중성지방에 모두 있는 구성 원소이므로 ㉡와 ㉢는 모두 '○'이다.

바로알기 | ㄴ. ㉠은 인(P), ㉡은 수소(H), ㉢는 질소(N)이다.

ㄷ. 중성지방(가)은 ㉢, 단백질(나)은 I, 핵산(다)은 II이다.

023

특징	물질	특징의 개수
• 항체의 주성분이다. 단백질	RNA	2
• 호르몬을 생성하는 데 사용된다. 단백질, 콜레스테롤	㉠ 포도당	1
• 구성 원소에 탄소(C)가 있다. RNA, 단백질, 포도당, 콜레스테롤	㉡ 단백질	3
• ㉢	㉢ 콜레스테롤	2

(가) RNA에만 해당하는 특징 (나)

포도당은 '구성 원소에 탄소(C)가 있다.'는 특징만을 가지므로 ㉠은 포도당이다. 단백질은 '항체의 주성분이다.', '호르몬을 생성하는 데 사용된다.', '구성 원소에 탄소(C)가 있다.'는 특징을 모두 가지므로 ㉡는 단백질이다. 콜레스테롤은 '호르몬을 생성하는 데 사용된다.'와 '구성 원소에 탄소(C)가 있다.'는 특징을 모두 가지므로 ㉢는 콜레스테롤이다.

ㄱ. RNA가 갖는 특징의 개수는 2개이므로 '구성 원소에 탄소(C)가 있다.'와 ㉢가 RNA의 특징에 해당한다. 따라서 '단위체가 뉴클레오타이드이다.'는 ㉢에 해당한다.

ㄷ. 단백질(㉡)과 콜레스테롤(㉢)은 모두 동물 세포막의 구성 성분이다.

바로알기 | ㄴ. 포도당(㉠)은 탄수화물에 속한다.

024

구분	㉠ 콜레스테롤	㉡ 단백질	㉢ 셀룰로스	㉣ DNA
세포막	○	㉠ ○	? ×	×
염색체	×	㉡ ○	×	○

(○: 있음, ×: 없음)

㉠은 세포막에는 있지만 염색체에는 없으므로 콜레스테롤이고, ㉡은 세포막에는 없지만 염색체에는 있으므로 DNA이다. 단백질은 세포막과 염색체에 모두 있으므로 ㉡이며, ㉢와 ㉣는 모두 '○'이다. 나머지 ㉣는 셀룰로스이다.

ㄷ. DNA(㉣)의 단위체는 뉴클레오타이드이다.

바로알기 | ㄱ. 단백질(㉡)은 세포막과 염색체 모두에 있으므로 ㉢와 ㉣는 모두 '○'이다.

ㄴ. 단백질(㉡)과 셀룰로스(㉣)의 구성 원소에는 모두 인(P)이 포함되지 않는다. DNA(㉣)의 구성 원소에 인(P)이 포함된다.

02 세포의 연구 방법

빈출 자료 보기

11쪽

025 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) × (6) ○ (7) ○ (8) ×

025 A는 핵, B는 미토콘드리아, C는 소포체이다.

(1) 핵(A)은 DNA를 갖는다.

(2) ㉠에는 미토콘드리아, 소포체, 라이보솜 등이 있으며, 미토콘드리아는 DNA를 갖는다.

(4) ㉡에는 소포체, 라이보솜 등이 있으며, 라이보솜은 RNA를 갖는다.

(6) 핵(A)과 미토콘드리아(B)는 모두 이중막을 갖는다.

(7) 핵(A)이 가장 무거워 가장 먼저 침전되어 분리된다.

바로알기 | (3) 미토콘드리아(B)에서 세포호흡이 일어난다.

(5) C는 소포체이다.

(8) ㉠에는 미토콘드리아가 있지만 ㉡에는 미토콘드리아가 없다.

난이도별 필수 기출

12쪽~15쪽

026 ①	027 ⑤	028 ②	029 ③, ④	030 ①
031 해설 참조	032 ①	033 ③	034 ⑤	
035 ③, ⑥	036 ①	037 ①	038 ②	039 ③
040 ⑤	041 ①			

026 ① 광학 현미경으로 살아 있는 세포를 관찰할 수 있으므로 쥘 신벌레의 움직임을 관찰할 수 있다.

바로알기 | ② 전자 현미경의 상은 흑백이므로 색깔이 구분되지 않는다.

③ 시료 준비 과정에서 세포가 죽기 때문에 전자 현미경으로 살아 있는 생물을 관찰할 수 없다.

④ 투과 전자 현미경(TEM)으로 시료의 내부 구조 관찰이 가능하다.

⑤ 대물렌즈와 접안렌즈를 통해 가시광선을 굴절시켜 확대된 상을 얻는 것은 광학 현미경이다.

027 A는 전자 현미경, B는 광학 현미경이다.

ㄱ. 전자 현미경의 광원인 전자선은 광학 현미경의 광원인 가시광선보다 파장이 짧아 전자 현미경(A)은 광학 현미경(B)보다 해상력이 높기 때문에 높은 배율에서도 선명한 상을 얻을 수 있다.

ㄴ. 미토콘드리아는 전자 현미경(A)과 광학 현미경(B) 모두를 이용해 관찰할 수 있다.

ㄷ. 개구리 알은 광학 현미경(B)으로 관찰할 수 있다.

028 A는 주사 전자 현미경(SEM), B는 광학 현미경, C는 투과 전자 현미경(TEM)이다.

ㄷ. 투과 전자 현미경(C)은 전자선이 시료의 얇은 단면을 투과하여 시료 단면의 영상을 형성하므로 투과 전자 현미경(C)을 통해 시료의 내부 구조를 관찰할 수 있다.

바로알기 | ㄱ. A는 주사 전자 현미경이다.

ㄴ. 그림은 세포소기관의 내부 구조가 자세히 나타나므로 ㉠은 투과 전자 현미경(C)이다.

029 B는 광원이 가시광선이므로 광학 현미경이다. A는 전자 현미경 중 시료 표면을 입체적으로 관찰할 수 있는 주사 전자 현미경(SEM)이고, C는 전자 현미경 중 시료의 내부 구조를 관찰할 수 있는 투과 전자 현미경(TEM)이다.

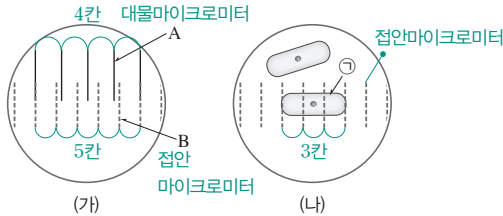
① ㉢는 주사 전자 현미경(A)의 광원인 전자선이다.

② 전자선(㉢)은 가시광선보다 파장이 짧다.

⑤ 광학 현미경(B)으로 살아 있는 세포의 관찰이 가능하므로 광학 현미경(B)은 살아 있는 세포의 움직임을 관찰하기에 적합하다.

- ⑥ 투과 전자 현미경(C)은 시료의 단면에 전자선을 투과시켜 단면의 영상을 관찰하므로 세포 내부의 미세 구조를 연구하는 데 적합하다.
 ⑦ 시료의 표면을 입체적으로 관찰하는 데는 주사 전자 현미경(A)이 광학 현미경(B)보다 적합하다.
바로알기 | ③ 전자 현미경은 광학 현미경보다 해상력이 높으므로 ⑥는 0.2보다 작다.
 ④ A는 주사 전자 현미경(SEM)이다.

030



- ㄱ. 접안미크로미터 눈금 한 칸의 길이=

$$\frac{\text{대물미크로미터 눈금의 칸 수}}{\text{접안미크로미터 눈금의 칸 수}} \times 10 \mu\text{m} = \frac{4}{5} \times 10 \mu\text{m} = 8 \mu\text{m}$$
이다.
 ①의 크기=접안미크로미터 한 눈금의 크기×세포와 겹치는 접안미크로미터 눈금의 칸 수=8 μm×3칸=24 μm이다.
바로알기 | ㄴ, ㄷ. 대물미크로미터(A) 눈금 한 칸의 길이는 항상 10 μm이며, 접안미크로미터(B) 눈금의 길이는 현미경의 배율에 따라 달라진다.

031

모범 답안 대물미크로미터,

- 접안미크로미터 눈금 한 칸의 길이=

$$\frac{\text{대물미크로미터 눈금의 칸 수}}{\text{접안미크로미터 눈금의 칸 수}} \times 10 \mu\text{m} = \frac{20}{50} \times 10 \mu\text{m} = 4 \mu\text{m}$$
이며, 세포의 크기(ℓ)=4 μm×20칸=80 μm이다.

채점 기준	배점
대물미크로미터라고 쓰고, 접안미크로미터 눈금 한 칸의 길이와 세포의 크기를 구하는 과정을 포함하여 옳게 쓴 경우	100 %
대물미크로미터라고 쓰고, 접안미크로미터 눈금 한 칸의 길이와 세포의 크기만 옳게 쓴 경우	50 %
대물미크로미터라고만 쓴 경우	20 %

032

현미경 배율	접안미크로미터 눈금 한 칸의 길이(μm)	A와 겹치는 접안미크로미터 눈금 칸 수
100배	8	? 2
200배	① 4	4
400배	② 2	③ 8

- 현미경 배율이 200배일 때, 접안미크로미터 눈금 한 칸의 길이=

$$\frac{\text{대물미크로미터 눈금의 칸 수}}{\text{접안미크로미터 눈금의 칸 수}} \times 10 \mu\text{m} = \frac{20}{50} \times 10 \mu\text{m} = 4 \mu\text{m}$$
이며, 현미경 배율이 200배일 때 접안미크로미터 눈금 한 칸의 길이는 4 μm이므로 세포의 크기는 4 μm×4칸=16 μm이다.
 ㄱ. 현미경 배율이 200배일 때 접안미크로미터 눈금 한 칸의 길이는 4 μm이므로 ①은 4이다. 현미경 배율이 200배에서 400배로 2배 증가하면 접안미크로미터 눈금 한 칸의 길이는 $\frac{1}{2}$ 배가 되므로 2 μm이다. 따라서 ②는 2이다. 세포의 크기는 현미경 배율에 상관없이 16 μm이고, 현미경 배율이 400배일 때 접안미크로미터 눈금 한 칸의 길이가 2 μm이므로 A와 겹치는 접안미크로미터 눈금 칸 수는 $16 \mu\text{m} \div 2 \mu\text{m} = 8$ 이다. 따라서 ③은 8이다.

바로알기 | ㄴ. 세포의 크기는 16 μm이다.

- ㄷ. 현미경의 배율이 2배로 변하면 접안미크로미터 눈금 한 칸의 길이는 $\frac{1}{2}$ 배로 변한다.

- 033** ①, ② 자기방사법은 방사성 동위원소로 표시된 화합물을 세포에 공급한 후 방사성 동위원소에서 방출되는 방사선을 추적하여 세포 내 물질의 이동 경로를 알아내는 방법이다.

- ④ ¹⁴C로 표시된 이산화 탄소를 식물 세포에 공급하여 포도당이 합성되는 과정을 알 수 있다.

- ⑤ ³⁵S으로 표시된 아미노산을 세포에 공급하여 단백질의 합성과 분비 경로를 알 수 있다.

바로알기 | ③ 크기와 밀도에 따라 세포소기관을 분리하는 것은 세포 분획법이다.

034

- ㄱ. 방사성 동위원소에서 방출되는 방사선을 추적하는 방법을 자기방사법이라고 한다.

- ㄴ. 초기에는 방사성 아미노산을 이용해 합성된 단백질이 거친면소포체에 모여 거친면소포체에서의 방사선 양이 높게 나타났으며, 시간이 지나면서 거친면소포체의 방사선 양은 감소하고 골지체의 방사선 양이 증가하는 것으로 보아, 합성된 단백질이 거친면소포체에서 골지체로 수송되고 있음을 알 수 있다. 따라서 합성된 단백질은 거친면소포체 → 골지체 → 운반 소낭으로 이동한다.

- ㄷ. 시간이 지남에 따라 거친면소포체, 골지체, 운반 소낭의 방사선 양이 변화하는 것은 세포 내에서 방사성 아미노산이 이동하기 때문이다.

035

- A는 핵, B는 미토콘드리아, C는 소포체이다.

- ①, ② 세포를 균질기로 부순 다음 원심분리기를 이용하여 세포소기관을 밀도와 크기에 따라 단계적으로 분리해 내는 세포분획법이다.

- ④ 핵, 미토콘드리아, 소포체 순으로 세세포기관이 분리되므로 A는 핵, B는 미토콘드리아이다. 핵(A)과 미토콘드리아(B)는 모두 DNA를 갖는다.

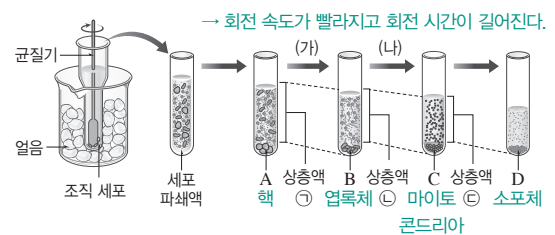
- ⑤ 미토콘드리아(B)에서 세포호흡이 일어난다.

- ⑦ 소포체(C)가 침전된 시험관의 상층액(㉠)에는 소포체보다 밀도와 크기가 작은 라이보솜이 있다.

바로알기 | ③ 원심분리기의 회전 속도가 느리고 회전 시간이 짧으면 비교적 크고 무거운 세포소기관이 침전되어 분리된다.

- ⑥ 소포체(C)는 단일막을 갖는다.

036



- ② 핵(A)과 엽록체(B)는 모두 DNA를 갖는다.
 ③ 엽록체(B)와 미토콘드리아(C)는 모두 이중막을 갖는다.
 ④ (나)에서는 (가)에서보다 회전 속도와 회전 시간을 증가시킨다.
 ⑤ A는 핵, B는 엽록체, C는 미토콘드리아, D는 소포체이다.

바로알기 | ① ㉠에는 엽록체, 미토콘드리아, 소포체, 라이보솜, ㉡에는 미토콘드리아, 소포체, 라이보솜, ㉢에는 소포체, 라이보솜이 들어 있다.

037

세포소기관	㉠ 핵(A)	㉡ 미토콘드리아(C)	㉢ 엽록체(B)
O ₂ 소비량(%)	4	86	10
CO ₂ 소비량(%)	5	2	92
DNA 함량(%)	95	3	2

ㄱ. ④는 핵, 미토콘드리아, 엽록체 중 DNA 함량이 가장 높은 세포 소기관이므로 핵이다.

바로알기 | ㄴ. O₂ 소비량이 많은 ⑥는 미토콘드리아이며, 미토콘드리아(⑥)는 C이다.

ㄷ. CO₂ 소비량이 많은 ③은 엽록체이며, 엽록체(③)는 동물 세포에는 없고 식물 세포에는 있다.

038 핵, 미토콘드리아, 소포체가 모두 갖는 특징

세포소기관	① 핵	② 미토콘드리아	③ 소포체
특징			
(가)	○	○	○
미토콘드리아만 (나)	×	○	×
갖는 특징 DNA를 갖는다.	○	○	④ ×

(○: 있음, ×: 없음)

ㄷ. (나)는 미토콘드리아만 갖는 특징이므로 '세포호흡으로 ATP를 합성한다.'는 (나)에 해당한다.

바로알기 | ㄱ. 소포체(③)는 DNA를 갖지 않는다. 따라서 ④는 '×'이다.

ㄴ. (가)는 핵, 미토콘드리아, 소포체가 모두 갖는 특징이다. 소포체(③)는 단일막 구조이므로 '이중막 구조이다.'는 (가)에 해당하지 않는다.

039 ㄱ. 광학 현미경으로 세포의 모양과 크기 및 핵, 엽색체, 엽록체 등을 관찰할 수 있으며, 시료의 색깔 구분이 가능하다.

ㄴ. 자기방사법을 통해 ¹⁴C로 표지된 이산화 탄소를 식물 세포에 공급하고 추적하면 광합성으로 포도당이 합성되는 과정을 알 수 있다. 캘빈은 자기방사법을 통해 광합성의 탄소고정반응의 경로를 밝혀냈다.

바로알기 | ㄷ. 핵이 라이보솜보다 크고 무거우므로 세포분획법에서 원심분리 속도는 핵을 분리할 때가 라이보솜을 분리할 때보다 느리다.

040 (가)는 현미경을 이용한 방법, (나)는 세포분획법, (다)는 자기방사법이다.

ㄴ. 세포분획법(나)을 이용하여 식물 세포에서 엽록체를 분리할 수 있다.

ㄷ. 자기방사법(다)을 이용하여 세포에서 광합성으로 포도당이 합성되는 과정을 알 수 있다.

바로알기 | ㄱ. (가)는 주사 전자 현미경으로 세포를 관찰하는 연구이며, 주사 전자 현미경으로 세포를 관찰할 경우 시료를 제작하는 과정에서 세포가 죽기 때문에 살아 있는 세포를 관찰할 수 없다.

041 ㄱ. 세포벽을 제거한 식물 세포 파쇄액으로부터 세포소기관을 분리하면 핵, 엽록체, 미토콘드리아, 소포체, 라이보솜의 순으로 분리된다. 따라서 ①은 소포체, ②는 라이보솜이다.

바로알기 | ㄴ. 라이보솜(②)은 DNA의 유전정보에 따라 단백질을 합성하는 장소이다.

ㄷ. (가)에서 세포분획법이, (다)에서 자기방사법이 사용되었다.

042 (3) 엽록체(B)는 빛에너지를 화학 에너지로 전환하고, 미토콘드리아(F)는 유기물 속 화학 에너지를 ATP의 화학 에너지로 전환하므로 엽록체(B)와 미토콘드리아(F)는 모두 에너지전환에 관여한다.

(5) 거친면소포체(D)의 표면에 라이보솜이 붙어 있다.

(6) 중심체(E)는 미세소관 다발로 이루어진 중심립 2개가 직각으로 배열되어 있다.

(7) 골지체(G)는 납작한 주머니인 시스터나가 쌓여 있는 모양으로 단일막 구조이다.

바로알기 | (1) (가)는 식물 세포, (나)는 동물 세포이다.

(2) 세포벽(A)은 물과 용질을 모두 통과시키므로 물질 출입을 조절하지 못한다.

(4) 액포(C)는 단일막 구조이다.

난이도별 필수 기출

18쪽~25쪽

043 ④	044 ⑤	045 ④	046 ⑤	047 해설 참조
048 ①	049 ②, ⑥		050 ③	051 ① 052 ②
053 해설 참조		054 ②, ⑥		055 ② 056 ①
057 ②, ⑦		058 ② 059 ③		060 해설 참조
061 ④ 062 ④	063 ②, ⑤		064 ② 065 ③	
066 ③ 067 ④	068 ① 069 ②	070 ①, ③		
071 해설 참조	072 ① 073 ①	074 ③		
075 해설 참조				

043 ㄴ. 핵 속에는 유전물질인 DNA가 있어 핵은 생명활동을 조절한다.

ㄷ. 핵 속의 DNA는 히스톤 단백질과 결합하여 염색질을 이루며, 분열기에 염색질이 응축하여 염색체를 형성한다.

바로알기 | ㄱ. 핵은 핵막으로 둘러싸여 있고, 핵막은 외막과 내막의 이중막 구조이다.

044 ㄴ. 라이보솜은 크기가 다른 2개의 단위체인 대단위체와 소단위체로 구성되며, 세포 내에서 거친면소포체에 붙어 있거나 세포질에 흩어져 있다.

ㄷ. 라이보솜은 유전정보에 따라 단백질을 합성하므로 단백질합성이 활발한 세포에 특히 많다.

바로알기 | ㄱ. 라이보솜은 rRNA와 단백질로 구성된 작은 알갱이 모양이며, 막으로 둘러싸여 있지 않은 2개의 단위체가 결합한 형태이다.

045 ① 소포체는 납작한 주머니와 관이 복잡하게 연결되어 있는 모양의 세포소기관으로, 단일막 구조이다.

②, ③ 거친면소포체는 표면에 라이보솜이 붙어 있으며, 라이보솜에서 합성한 단백질을 가공한 후 소포체 막의 일부로 둘러싸 운반 소낭을 만든다. 이 운반 소낭은 소포체에서 떨어져 나와 골지체로 이동한다.

⑤ 매끈면소포체는 인지질과 스테로이드를 합성하고, 독성 물질 해독 등의 기능을 한다.

바로알기 | ④ 거친면소포체의 표면에 라이보솜이 붙어 있고, 매끈면소포체의 표면에 라이보솜이 붙어 있지 않다.

046 A는 인, B는 핵막, C는 핵공이다.

ㄱ, ㄴ. 인(A)에서 rRNA가 합성되며, 핵막(B)은 내막과 외막의 이중막이며 외막의 일부는 소포체 막과 연결되어 있다.

03 세포의 구조와 기능

빈출 자료 보기

17쪽

042 (1) × (2) × (3) ○ (4) × (5) ○ (6) ○ (7) ○

ㄷ. 핵공(C)을 통해 RNA, 단백질 등의 물질이 출입한다.

047 **모범 답안** A에서는 M형 것이 재생되고, B에서는 C형 것이 재생된다. 이는 재생되는 것의 모양이 핵이 있는 헛뿌리에 따라 결정되기 때문이다.

채점 기준	배점
재생되는 것 모양을 옳게 쓰고, 까닭에 대해 옳게 서술한 경우	100 %
재생되는 것 모양만 옳게 쓴 경우	30 %

048 A는 핵, B는 라이보솜, C는 매끈면소포체이다.

ㄱ. 핵(A)을 이루는 핵막의 주성분은 인지질과 단백질이다. 이 중 인지질은 매끈면소포체(C)에서 생성된다.

바로알기 | ㄴ. 라이보솜(B)은 막으로 이루어져 있지 않으며, 매끈면소포체(C)는 단일막으로 이루어져 있다.

ㄷ. 매끈면소포체(C)는 인지질과 스테로이드 합성에 관여하며, 단백질의 합성 및 이동에 관여하지 않는다.

049 ① 핵(㉠)에는 DNA와 RNA가 있다.

③ 거친면소포체(㉡)와 골지체(㉢)의 막은 모두 인지질 2중층으로 이루어진 단일막 구조이다.

④ 골지체(㉢)는 시스terna가 쌓여 있는 모양이다.

⑤ 골지체(㉢)는 소포체로부터 운반된 단백질을 가공한 후 세포의 다른 곳으로 수송하거나 세포 밖으로 분비한다. 따라서 분비 작용이 활발한 세포에 발달해 있다.

바로알기 | ② 거친면소포체(㉡)와 골지체(㉢)는 모두 단일막 구조이다.

⑥ ㉣은 골지체에서 나온 운반 소낭이다.

050 A는 라이보솜, B는 소포체, C는 골지체이다.

ㄱ. 라이보솜(A)은 단백질과 rRNA로 구성되어 있다.

ㄷ. ㉠의 이동 경로 추적에는 방사성 동위원소를 세포에 공급한 후 방사성 동위원소에서 방출되는 방사선을 추적하는 자기방사법이 사용되었다.

바로알기 | ㄴ. 라이보솜(A)에서 합성된 단백질은 소포체(B)에서 가공된 후 골지체(C)로 이동한다.

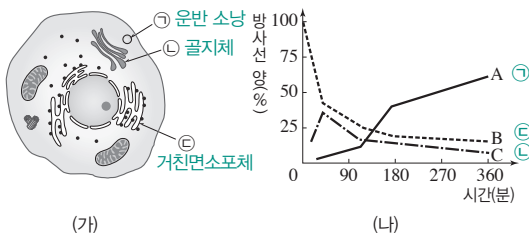
051 초기에는 방사성 아미노산을 이용해 합성된 단백질이 A에 모여 있다가 시간이 지나면서 B에서의 방사선 양이 증가하는 것으로 보아, 합성된 단백질이 A에서 B로 이동하고 있음을 알 수 있다. 그 후 C에서의 방사선 양이 증가하므로 A는 거친면소포체, B는 골지체, C는 운반 소낭이다.

ㄱ. 거친면소포체(A)의 표면에 라이보솜이 결합되어 있다.

바로알기 | ㄴ. 단백질의 이동 경로는 거친면소포체(A) → 골지체(B) → 운반 소낭(C)이다.

ㄷ. 골지체(B)는 소포체와 달리 내부가 서로 연결되어 있지 않다.

052



(가) 단백질 이동 경로: B(㉡) → C(㉢) → A(㉠)

단백질의 방사선 양이 B → C → A 순으로 증가하므로 B는 거친면소포체(㉢), C는 골지체(㉡), A는 운반 소낭(㉠)이다.

ㄷ. 골지체(C)는 시스terna가 쌓여 있는 모양이다.

바로알기 | ㄱ. ㉠은 A, ㉡은 C, ㉢은 B이다.

ㄴ. 단백질의 이동 경로는 거친면소포체(㉢, B) → 골지체(㉡, C) → 운반 소낭(㉠, A)이다.

053 **모범 답안** 엽록체(가)에서는 광합성이 일어나 빛에너지를 유기물의 화학 에너지로 전환하며, 미토콘드리아(나)에서는 세포호흡이 일어나 유기물의 화학 에너지를 ATP의 화학 에너지로 전환한다.

채점 기준	배점
(가)와 (나)에서 일어나는 에너지전환을 옳게 서술한 경우	100 %
(가)와 (나)에서 일어나는 에너지전환 중 하나만 옳게 서술한 경우	50 %

054 ① 미토콘드리아(가)는 세포호흡의 장소로 유기물의 화학 에너지를 ATP의 화학 에너지로 전환한다.

③ 엽록체(나)는 광합성의 장소로 빛에너지를 화학 에너지로 전환한다.

④, ⑦ 미토콘드리아(가)와 엽록체(나)는 자체 DNA와 라이보솜이 있어 스스로 복제하고 증식할 수 있으며, DNA와 라이보솜은 바탕질(㉡)과 스트로마(㉢)에 있다.

⑤ 그라나(㉣)는 타이라코이드가 쌓여 층을 이룬 것이다.

바로알기 | ② 크리스타를 형성하는 것은 미토콘드리아(가)의 내막이다.

⑥ 미토콘드리아(가)는 동물 세포와 식물 세포에, 엽록체(나)는 광합성을 하는 모든 식물 세포에 있다.

055

구분	특징(㉠~㉣)		
	㉠	㉡	㉢
핵	○	×	×
엽록체	○	×	○
미토콘드리아	○	○	○

(○: 있음, ×: 없음)

(가)

(나)

㉠은 핵, 엽록체, 미토콘드리아가 모두 갖는 특징이므로 '이중막을 갖는다.'이고, ㉡은 '○'이다. ㉢은 미토콘드리아만 갖는 특징이므로 '크리스타를 갖는다.'이며, ㉣은 '라이보솜이 있다.'이다.

ㄷ. 핵은 유전물질인 DNA가 있어 세포의 생명활동을 조절하며, 엽록체와 미토콘드리아는 자체 DNA가 있어 스스로 복제하고 증식할 수 있다. 따라서 핵, 엽록체, 미토콘드리아는 모두 DNA를 갖는다.

바로알기 | ㄱ. ㉡은 '○'이다.

ㄴ. ㉠은 '이중막을 갖는다.', ㉡은 '크리스타를 갖는다.', ㉢은 '라이보솜이 있다.'이다.

056 액포는 식물 세포의 형태 유지에 관여하며, 세포 내 수분량과 삼투압을 조절하고 영양소나 노폐물, 색소 등을 저장한다.

바로알기 | ① 액포는 막으로 둘러싸인 주머니 모양의 단일막 구조이다.

057 ㉠은 거친면소포체, ㉡은 골지체, ㉢은 라이보솜이다.

① 거친면소포체(㉠)의 표면에 라이보솜이 붙어 있다.

③ 골지체(㉡)는 시스terna가 쌓여 있는 모양으로 단일막 구조이다.

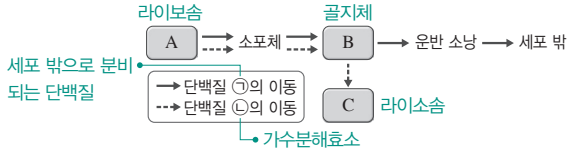
④, ⑤ 골지체(㉡)는 소포체로부터 운반된 단백질을 가공한 후 세포의 다른 곳으로 수송하거나 세포 밖으로 분비하므로 분비 작용이 활발한 내분비세포에 발달해 있다.

⑥ 라이소솜(㉔)은 다양한 가수분해효소가 들어 있어 세포내소화를 담당한다.

바로알기 | ② 라이소솜은 골지체(㉑)의 일부가 떨어져 나와 만들어진 것이다.

⑦ 라이소솜(㉔)에 들어 있는 가수분해효소는 거친면소포체(㉑)에 붙어 있는 라이보솜에서 합성된 후 소포체를 거쳐 골지체(㉑)로 이동한 것이다.

058



㉔. 라이소솜(C)은 다양한 가수분해효소가 들어 있어 세포내소화 작용을 한다.

바로알기 | ㉑. 단백질은 라이보솜(A)에서 합성되며 소포체를 거쳐 골지체(B)로 이동한다. 골지체(B)는 단백질을 운반 소낭을 통해 세포 밖으로 분비하거나 가수분해효소를 포함한 라이소솜(C)을 만든다.

㉒. 라이소솜(C)은 골지체(B)의 일부가 떨어져 나와 만들어진 것이다.

059 ㉑. ㉑에 있는 효소에 의해 물질이 분해되므로 ㉑은 라이소솜이다.

㉒. 라이소솜(㉔)에 들어 있는 가수분해효소는 DNA에 저장된 유전정보에 따라 라이보솜에서 합성되어 소포체를 거쳐 골지체로 이동한 후 라이소솜(㉔)을 형성한다.

바로알기 | ㉔. 라이소솜(㉔)은 골지체의 일부가 떨어져 나와 만들어진 세포소기관으로, 단일막 구조이다.

060 **모범 답안** 식물 세포의 액포는 물, 노폐물, 영양소, 색소 등 다양한 물질을 저장하는데, 식물 세포가 성숙할수록 노폐물이 증가하고, 세포의 성숙에 필요한 영양분과 색소의 저장도 증가하기 때문에 액포의 부피비가 증가한다.

채점 기준	배점
액포의 부피비가 큰 까닭을 액포의 기능과 관련지어 옳게 서술한 경우	100 %
세포가 성숙할수록 액포의 부피가 증가하기 때문이라고만 서술한 경우	30 %

061 A는 1차 세포벽, B는 2차 세포벽, C는 세포막이다.

㉒. B는 1차 세포벽(A)과 세포막(C) 사이에 형성되는 2차 세포벽이다.

㉔. 세포막(C)은 물질을 선택적으로 투과시켜 물질의 출입을 조절한다. 반면 세포벽은 물과 용질을 모두 통과시켜 물질 출입을 조절할 수 없다.

바로알기 | ㉑. 식물 세포가 성숙하면서 1차 세포벽과 세포막 사이에 1차 세포벽(A)보다 두껍고 단단한 2차 세포벽(B)이 형성된다.

062 ㉑. A는 세포골격을 구성하는 단백질 섬유 중 굵기가 가장 굵은 미세소관이며, B는 중간섬유, C는 미세섬유이다.

㉔. 미세섬유(C)는 세포골격을 구성하는 단백질 섬유 중 가장 가늘다.

㉒. 미세소관(A), 중간섬유(B), 미세섬유(C)는 모두 세포골격으로, 세포를 지지하거나 모양을 유지하는 역할을 한다.

바로알기 | ㉒. 섬모, 편모 등을 구성하는 것은 미세소관(A)이다.

063 A는 세포벽, B는 액포, C는 거친면소포체, D는 중심체, E는 골지체이다.

① (가)는 세포벽, 엽록체 등이 있으므로 식물 세포, (나)는 세포벽과 엽록체가 없으므로 동물 세포이다.

③ 액포(B)는 성숙한 식물 세포에서 크게 발달해 있으며, 물을 흡수하여 세포 내의 수분량과 삼투압을 조절하고, 식물 형태의 유지에 관여한다.

④ 거친면소포체(C)의 막 일부는 핵막과 연결되어 있다.

⑥ 골지체(E)는 분비 작용이 활발한 세포에 발달해 있다.

바로알기 | ② 세포벽(A)은 물과 용질을 모두 통과시켜 물질 출입을 선택적으로 조절하지 않는다.

⑤ 중심체(D)는 미세소관으로 이루어진다.

064 (가)는 미토콘드리아, (나)는 미세소관, (다)는 라이보솜이다. ㉔. 라이보솜(다)은 RNA와 단백질로 구성된 작은 알갱이 모양의 세포소기관이다.

바로알기 | ㉑. 미토콘드리아(가)에는 크리스타 구조가 있으며, 그라나는 엽록체에서 타이라코이드가 쌓여서 층을 이룬 구조이다.

㉒. 미세소관(나)은 세포소기관, 염색체의 이동에 관여한다.

065

세포소기관	막 구조	기능
A 라이소솜	㉑ 단일막	가수분해효소를 가지고 있다.
B 매끈면소포체	㉑ 단일막	? 인지질과 스테로이드를 합성한다.
C 엽록체	㉒ 이중막	빛에너지를 화학 에너지로 전환한다.

가수분해효소를 가지고 있는 A는 라이소솜이고, 막 구조는 단일막이므로 ㉑은 '단일막'이다. 빛에너지를 화학 에너지로 전환하는 C는 엽록체이고, 막 구조는 이중막이므로 ㉒은 '이중막'이다. 나머지 B는 매끈면소포체이다.

㉑. A는 라이소솜, B는 매끈면소포체, C는 엽록체이다.

㉔. 매끈면소포체(B)는 라이보솜이 붙어 있지 않는 소포체로, 인지질과 스테로이드를 합성한다.

바로알기 | ㉒. 라이소솜(A)과 매끈면소포체(B)는 모두 단일막 구조이다.

066 ㉑. 핵에는 유전물질인 핵산이 있으므로 B는 핵이고, A는 미세섬유이다. 미세섬유(A)는 세포골격을 구성한다.

㉒. 핵(B)에는 물질이 출입하는 구멍인 핵공이 있다.

바로알기 | ㉔. 미세섬유(A)는 단백질의 분비에 관여하지 않고, 골지체는 단백질의 분비에 관여하므로 '단백질의 분비에 관여하는가?'는 (가)에 해당하지 않는다.

067

특징	㉑	㉒	㉔
세포소기관			
핵	×	○	?×
액포	○	⑧×	?×
거친면소포체	○	×	○

(○: 있음, ×: 없음)

(가)

(나)

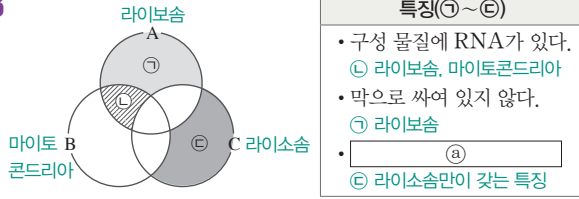
특징 ㉑~㉔ 중 액포는 단일막 구조에만 해당하므로 ㉑은 '단일막 구조이다.'이고, ⑧는 '×'이다. 거친면소포체는 단일막 구조이며, 단백질의 가공 및 운반에 관여하므로 ㉔은 '단백질의 가공 및 운반에 관여한다.'이고, 핵에만 해당하는 특징인 ㉒은 'DNA가 있다.'이다.

㉒. ㉑은 '단일막 구조이다.', ㉒은 'DNA가 있다.', ㉔은 '단백질의 가공 및 운반에 관여한다.'이다.

㉔. 거친면소포체는 이자세포와 같이 단백질이 활발하게 합성되는 세포에서 많이 발견된다.

바로알기 | ㄱ. ㉔는 '×'이다.

068



‘구성 물질에 RNA가 있다.’는 라이보솜과 마이트콘드리아가 모두 갖는 특징이므로 A와 B의 공통점인 ㉑에 해당한다. 따라서 A와 B는 각각 라이보솜과 마이트콘드리아 중 하나이고, C는 라이소솜이다. ‘막으로 싸여 있지 않다.’는 라이보솜만이 갖는 특징이므로 ㉒에 해당하고, A는 라이보솜이고, B는 마이트콘드리아이다. ㉔는 라이소솜만이 갖는 특징이다.

ㄴ. 마이트콘드리아(B)는 세포호흡으로 생명활동에 필요한 에너지를 만드는데, 이 과정에서 유기물의 화학 에너지가 ATP의 화학 에너지로 전환된다.

바로알기 | ㄱ. A는 라이보솜, B는 마이트콘드리아, C는 라이소솜이다.
ㄷ. ㉔는 라이소솜만이 갖는 특징이므로 ‘크리스타가 있다.’는 ㉔에 해당하지 않는다.

069 ① 진핵세포인 시금치의 공변세포는 핵이 있어 유전물질이 핵 속에 있다.
③ 원핵세포인 세균은 주로 펩티도글리칸으로 구성된 세포벽이 있다.
④, ⑤ 세균과 시금치의 공변세포는 모두 유전물질, 세포막, 라이보솜을 갖는다.

바로알기 | ② 원핵세포인 세균은 막으로 둘러싸인 세포소기관인 골지체를 갖지 않는다.

070 ② 대장균(가)은 유전물질로 원형 DNA를 갖는다.
④ 시금치의 율타리조식 세포(나)의 세포벽에는 셀룰로스가 있다.
⑤ 시금치의 율타리조식 세포(나)의 핵 안에 있는 선형의 DNA는 히스톤 단백질을 감아 뉴클레오솜을 이루며 염색체를 구성한다.
⑥ 생쥐의 간세포(다)에는 미체소관으로 이루어진 세포소기관인 중심체가 있다.
⑦ 대장균(가), 시금치의 율타리조식 세포(나), 생쥐의 간세포(다)는 모두 세포막을 갖는다.
바로알기 | ① 대장균(가)은 원핵세포, 시금치의 율타리조식 세포(나)와 생쥐의 간세포(다)는 진핵세포에 해당한다.
③ 대장균(가)에는 라이보솜이 있다.

071 **모범 답안** • 공통점: 유전물질을 갖는다. 라이보솜을 갖는다. 세포막을 갖는다. 등

• 차이점: 진핵세포(가)에는 핵막과 막으로 둘러싸인 세포소기관이 있고, 원핵세포(나)에는 없다. 진핵세포(가)에는 선형의 DNA가 있고, 원핵세포(나)에는 원형의 DNA가 있다. 진핵세포(가)에는 주로 셀룰로스로 구성된 세포벽이 있고, 원핵세포(나)에는 주로 펩티도글리칸으로 구성된 세포벽이 있다. 등

채점 기준	배점
공통점과 차이점을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
공통점과 차이점 중 하나만 옳게 서술한 경우	50 %

072 대장균과 사람의 간세포 중 세포벽이 있는 것은 대장균이므로 A는 대장균이고, B는 사람의 간세포이다.
ㄱ. 대장균(A)의 세포벽 성분은 펩티도글리칸이다.

바로알기 | ㄴ. A는 대장균, B는 사람의 간세포이다.

ㄷ. ㉑은 시금치의 공변세포에만 해당하는 특징이어야 하는데, 시금치의 공변세포와 사람의 간세포 모두 핵막이 있으므로 ‘핵막이 있는가?’는 ㉑에 해당하지 않는다.

073

특징	구분	특징의 개수
• 핵막이 있다. 공변세포, 신경세포	A 공변세포	3
• 세포벽이 있다. 공변세포, 남세균	B 신경세포	2
• 라이보솜이 있다. 공변세포, 신경세포, 남세균	남세균	㉔ 2

(가)

(나)

ㄱ. 시금치의 공변세포에는 핵막, 세포벽, 라이보솜이 모두 있으므로 A는 시금치의 공변세포이고, B는 사람의 신경세포이다.

바로알기 | ㄴ. 남세균은 원핵세포이므로 핵막은 없고 세포벽과 라이보솜이 있다. 따라서 ㉔는 ‘2’이다.

ㄷ. 사람의 신경세포(B)는 진핵세포이므로 핵막이 있어 유전물질이 핵 속에 들어 있다.

074 A와 B는 모두 소포체가 있으므로 각각 식물 세포와 동물 세포 중 하나인데, A가 세포벽을 가지므로 A는 식물 세포이고, B는 동물 세포이며, C는 원핵세포이다.

ㄱ. (가)는 식물 세포(A)만이 갖는 특징이므로 ‘엽록체가 있다.’는 (가)에 해당한다.

ㄴ. (나)는 식물 세포(A), 동물 세포(B), 원핵세포(C)가 모두 갖는 특징이므로 ‘유전물질이 있다.’는 (나)에 해당한다.

바로알기 | ㄷ. (다)는 원핵세포만이 갖는 특징이다. ‘세포막이 있다.’는 (나)에 해당한다.

075

세포	핵막	세포벽	라이보솜	마이트콘드리아
(가) 간세포	○	㉑ ×	○	○
(나) 대장균	㉑ ×	○	㉒ ○	㉑ ×
(다) 공변세포	㉒ ○	㉒ ○	○	○

(○: 있음, ×: 없음)

모범 답안 사람의 간세포에는 핵막이 있고 세포벽이 없으며 대장균에는 핵막이 없고 세포벽이 있다. 시금치의 공변세포에는 핵막과 세포벽이 모두 있으므로 ㉑은 ‘×’이고, ㉒은 ‘○’이다. 따라서 핵막이 있고 세포벽이 없는 (가)는 사람의 간세포, 핵막과 마이트콘드리아가 없는 (나)는 대장균, 핵막과 세포벽이 모두 있는 (다)는 시금치의 공변세포이다.

채점 기준	배점
㉑과 ㉒, (가)~(다)가 무엇인지 까닭을 포함하여 모두 옳게 서술한 경우	100 %
㉑과 ㉒, (가)~(다)가 무엇인지만 옳게 쓴 경우	30 %

04 세포막을 통한 물질 이동(1)

빈출 자료 보기

27쪽

076 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) ○ (6) ○ (7) ×

076 A는 인지질 이중층을 직접 통과하므로 단순확산에 의해, B는 막단백질을 통해 이동하므로 촉진확산에 의해 이동한다.

㉠은 일정 농도 이상에서는 물질의 이동 속도가 일정해지므로 촉진확산으로 이동하는 물질이며, ㉡은 세포 안과 밖의 농도 차에 비례하여 물질의 이동 속도가 계속 증가하므로 단순확산에 의해 이동하는 물질이다. 따라서 ㉠은 B, ㉡은 A이다.

(1) 산소, 이산화 탄소와 같이 크기가 작고 극성이 약한 물질은 단순확산으로 이동하므로 산소는 A에 해당한다.

(2) Na^+ 과 같이 전하를 띠는 물질은 촉진확산으로 이동하므로 Na^+ 은 B에 해당한다.

(5), (6) ㉠은 촉진확산으로 이동하는 물질이므로 B, ㉡은 단순확산으로 이동하는 물질이므로 A이다.

바로알기 | (3) A의 이동 방식은 단순확산이다.

(4) B는 농도가 높은 세포 밖에서 농도가 낮은 세포 안으로 이동한다.

(7) A와 B가 세포막을 이동하는 방식은 확산이므로 이동할 때 ATP를 소모하지 않는다.

난이도별 필수 기출

28쪽~33쪽

- 077 ⑤ 078 ⑥ 079 ③ 080 ⑤ 081 해설 참조
082 ① 083 해설 참조 084 ①, ④ 085 ①
086 해설 참조 087 ⑤ 088 해설 참조 089 ①
090 ② 091 ② 092 ④, ⑤ 093 ③ 094 ③
095 ② 096 ④, ⑥ 097 ① 098 ④ 099 ②
100 ③

077 ①, ③ 세포막을 구성하는 주요 성분은 인지질과 단백질이다. 세포 안과 밖은 모두 수용성 환경이므로 인지질의 머리 부분은 바깥쪽으로, 꼬리 부분은 안쪽으로 마주 보며 배열되어 인지질 이중층을 형성한다.

② 세포막은 세포 안팎의 물질 출입을 조절한다.

④ 세포막을 구성하는 인지질은 특정 위치에 고정되어 있지 않고 유동성을 가진다.

바로알기 | ⑤ 세포막을 구성하는 인지질과 막단백질은 일반적으로 특정 위치에 고정되어 있지 않고 어느 정도 자유롭게 움직이는 유동성을 가진다.

078 ①, ②, ③ A는 인지질 이중층을 관통하거나 인지질 이중층에 파묻혀 있는 막단백질이며, 펩타이드결합이 있다.

④ B는 인지질이며, 인산을 포함하고 있는 머리 부분은 친수성을 띠고, 지방산으로 되어 있는 꼬리 부분은 소수성을 띤다.

⑤ 세포막을 구성하는 인지질(B)과 막단백질(A)은 특정 위치에 고정되어 있지 않고 유동성이 있어 이동할 수 있다.

바로알기 | ⑥ 인지질(B)은 매킨소포체에서 합성된다. 라이보솜에서 합성되는 것은 막단백질(A)이다.

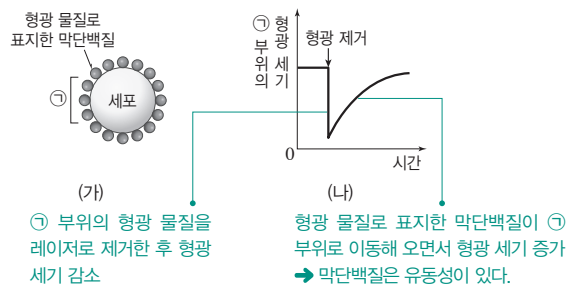
079 A는 탄수화물, B는 콜레스테롤, C는 막단백질, D는 인지질이다.

ㄱ. 막단백질에 붙어 있는 탄수화물(A)은 세포를 인식하는 데 관여한다.

ㄴ. 콜레스테롤(B)과 인지질(D)은 모두 지질에 속한다.

바로알기 | ㄷ. 막단백질(C)을 통해 포도당, Na^+ 등의 물질이 이동하며, 인지질(D) 이중층을 통해 산소, 이산화 탄소 등의 물질이 이동한다.

080



ㄱ, ㄴ. 세포막을 구성하는 인지질과 막단백질은 특정 위치에 고정되어 있지 않고 어느 정도 자유롭게 움직이는 유동성을 갖고 있으며, 이러한 특성을 가지는 세포막의 구조를 유동모자이크막이라고 한다.

ㄷ. 막단백질은 유동성이 있기 때문에 형광 물질로 표지한 막단백질이 ㉠ 부위로 이동해 오면서 형광 세기가 회복된 것이다.

081

모범 답안 세포막을 구성하는 막단백질은 특정 위치에 고정되어 있지 않고 유동성이 있어 이동할 수 있다.

채점 기준	배점
막단백질의 특성을 옳게 서술한 경우	100 %
막단백질이 고정되어 있지 않다고만 서술한 경우	50 %

082

(가)는 물질이 세포막의 인지질 이중층을 직접 통과하므로 단순확산이고, (나)는 물질이 세포막에 있는 수송단백질을 통해 이동하므로 촉진확산이다.

ㄱ. 산소는 단순확산으로 세포막을 이동하므로 A에 해당한다.

바로알기 | ㄴ. (가)는 단순확산, (나)는 촉진확산이다.

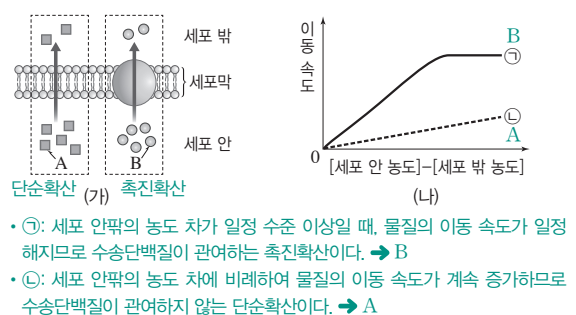
ㄷ. 확산은 물질 이동에 에너지를 사용하지 않는다.

083

모범 답안 • 공통점: 물질이 농도 기울기에 따라 고농도에서 저농도로 이동한다. 물질 이동에 에너지가 사용되지 않는다. 등
• 차이점: 촉진확산(㉠)은 수송단백질을 통해 물질이 이동하지만, 단순확산(㉡)은 수송단백질이 관여하지 않는다. 등

채점 기준	배점
㉠과 ㉡의 이동 방식의 공통점과 차이점을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
㉠과 ㉡의 이동 방식의 공통점과 차이점 중 하나만 옳게 서술한 경우	50 %

084



② A와 B가 모두 세포 안에서 밖으로 이동하므로 A와 B의 농도는 세포 안에서가 세포 밖에서보다 높다.

③ 확산은 세포 안과 밖의 물질의 농도 차이로 일어나며, 에너지를 사용하지 않는다.

⑤ ㉠의 이동 속도가 일정 수준 이상으로 증가하지 않는 까닭은 세포막에 있는 수송단백질의 수가 한정되어 있어 세포 안과 밖의 물질의 농도 차이가 어느 수준 이상으로 커지면 모든 수송단백질이 수송에 관여하기 때문이다.

⑥ 뉴런의 세포막을 통한 K^+ 의 유출은 세포막의 수송단백질을 통해 일어나므로 ㉠의 이동 방식과 같다.

⑦ 허파파리와 모세혈관 사이에서 일어나는 이산화 탄소의 이동 방식은 세포막의 인지질 이중층을 통해 일어나므로 ㉠의 이동 방식과 같다.
바로알기 | ① 포도당은 크기가 크고 친수성 물질이어서 수송단백질을 통해 세포막을 통과하므로 B의 이동 방식(촉진확산)으로 이동한다.
 ④ ㉠은 B, ㉡은 A이다.

085 ㄱ. 신경세포에서 Na^+ 통로를 통한 Na^+ 의 이동은 촉진확산에 해당하며, 통로단백질인 막단백질이 관여한다.

바로알기 | ㄴ. 산소는 크기가 작고 극성이 없는 물질이므로 세포막의 인지질 이중층을 직접 통과할 수 있다. 따라서 산소는 단순확산으로 이동하며, 이 과정에서 에너지를 사용하지 않는다.
 ㄷ. 포도당은 크기가 크고 극성을 띠는 물질이므로 세포막의 인지질 이중층을 직접 통과하지 못하고 막단백질을 통해 이동한다.

086 **모범 답안** (1) A와 C는 크기가 비슷하지만, A는 친수성 물질이고 C는 소수성 물질이기 때문이다.

(2) B와 D는 친수성 물질이라 세포막을 직접 통과하기 어렵지만 D는 세포막에 D의 수송단백질이 있기 때문에 세포막을 통해 이동할 수 있고, B는 세포막에 B의 수송단백질이 없기 때문에 세포막을 통해 이동할 수 없다.

해설 A와 C는 크기가 비슷하지만 A는 친수성 물질, C는 소수성 물질이므로 A는 세포막을 통해 이동하지 못하고 C는 세포막을 통해 이동할 수 있다. B와 D는 A와 C보다 크고 친수성 물질이므로 세포막을 직접 통과하지 못하지만, 세포막에 D가 이동할 수 있는 막단백질이 있으므로 D는 막단백질을 통해 세포막을 통해 이동할 수 있다.

채점 기준		배점
(1)	A와 C를 비교하여 C가 세포막을 통해 이동할 수 있는 까닭을 옳게 서술한 경우	50 %
	A와 C를 비교하지 않고 C가 소수성 물질이라고만 서술한 경우	20 %
(2)	B와 D를 비교하여 D가 세포막을 통해 이동할 수 있는 까닭을 옳게 서술한 경우	50 %
	B와 D를 비교하지 않고 D가 막단백질을 통해 이동한다라고만 서술한 경우	20 %

087 ㄱ, ㄴ. 삼투는 반투과성막을 사이에 두고 물의 농도가 높은 쪽(용액의 농도가 낮은 쪽)에서 물의 농도가 낮은 쪽(용액의 농도가 높은 쪽)으로 물이 확산하는 현상이며, 에너지가 사용되지 않는다.
 ㄷ. 삼투가 일어날 때 반투과성막에 작용하는 압력을 삼투압이라고 하며, 삼투압은 세포 안으로 물이 들어오려는 힘이다.

088 **모범 답안** 일정 시간이 지난 후 반투과성막을 사이에 두고 U자관의 A 쪽 용액의 높이가 높아지고, B 쪽 용액의 높이가 낮아진 것으로 보아 물은 삼투에 의해 B 쪽에서 A 쪽으로 이동한 것을 알 수 있다. 따라서 ㉠은 20 % 설탕 용액, ㉡은 10 % 설탕 용액이다.

채점 기준		배점
까닭을 포함하여 ㉠과 ㉡이 무엇인지 옳게 서술한 경우		100 %
㉠과 ㉡이 무엇이지만 옳게 쓴 경우		30 %

089

U자관	A에 넣는 포도당 용액	B에 넣는 포도당 용액	A-B
I	㉠	㉡	-10
II	㉢	㉠	0
III	㉣	㉠	25

- I: A에서 B로 물이 이동 → 농도: ㉠ < ㉡
- II: 양쪽으로 이동한 총 물의 양이 동일 → 농도: ㉢ = ㉠
- III: B에서 A로 물이 이동 → 농도: ㉣ > ㉠

ㄱ. ㉠ < ㉡, ㉢ = ㉠, ㉣ > ㉠이며, A-B의 절댓값이 III에서가 I에서보다 크므로 ㉢ < ㉣이다. 따라서 종합하면 ㉠ ~ ㉢의 농도는 ㉠ = ㉢ < ㉣이다.

바로알기 | ㄴ. II의 A에서 B로 이동하는 물의 양과 B에서 A로 이동하는 물의 양이 같다.

ㄷ. 포도당은 반투과성막을 이동하지 못하므로 III에서 A와 B의 용액 높이가 더 이상 변하지 않을 때 포도당의 양은 A에서가 B에서보다 많다.

090

특징
㉠ 고농도 용액에서 저농도 용액으로 용질이 이동한다. 단순확산, 촉진확산
㉡ 에너지가 사용되지 않는다. 단순확산, 촉진확산, 삼투
㉢ 혈액에서 세포로의 포도당 유입이 여기에 해당한다.

구분	특징의 개수
A 촉진확산	3
B 단순확산 ㉡ 2	
C 삼투	1

(가) 촉진확산

(나)

고농도 용액에서 저농도 용액으로 용질이 이동하는 것은 단순확산과 촉진확산이고, 에너지가 사용되지 않는 것은 단순확산, 촉진확산, 삼투이며, 혈액에서 세포로의 포도당 유입은 촉진확산이다. 따라서 특징의 개수가 3인 A는 촉진확산이고, 특징의 개수가 1인 C는 삼투이며, 나머지 B는 단순확산이다.

ㄴ. 단순확산(B)은 특징 ㉠과 ㉡이 해당하므로 ㉡은 2이다.

바로알기 | ㄱ. A는 촉진확산, B는 단순확산, C는 삼투이다.

ㄷ. 단순확산(B)에는 수송단백질이 관여하지 않는다.

091

- ① 적혈구를 저장액인 증류수에 넣으면 적혈구 안으로 물이 들어오는 속도가 세포 밖으로 물이 빠져나가는 속도보다 빨라 적혈구의 부피가 점점 커지다가 결국 세포막이 터지는 용혈 현상이 일어난다.
 ③ 양파의 표피세포를 등장액에 넣으면 세포 안으로 들어오는 물의 속도와 세포 밖으로 물이 빠져나가는 속도가 같아 세포의 부피가 변하지 않는다.
 ④ 양파의 표피세포를 저장액인 증류수에 넣으면 세포 안으로 물이 들어오는 속도가 세포 밖으로 물이 빠져나가는 속도보다 빨라 세포의 부피가 커지는 팽윤이 일어난다.
 ⑤ 양파의 표피세포를 고장액에 넣으면 세포 밖으로 물이 빠져나가는 속도가 세포 안으로 물이 들어오는 속도보다 빨라 세포질의 부피가 줄어들면서 세포막이 세포벽으로부터 떨어지는 원형질분리가 일어난다.
바로알기 | ② 원형질분리는 세포질의 부피가 줄어들면서 세포막이 세포벽에서 떨어지는 현상으로, 세포벽이 없는 동물 세포에서는 일어나지 않는다.

092

- ①, ② 식물 세포를 저장액에 넣으면 세포 안으로 물이 들어오는 속도가 세포 밖으로 물이 빠져나가는 속도보다 빨라 세포의 부피가 커지는 팽윤이 일어나므로 (가)는 식물 세포를 저장액에 넣었을 때의 상태이다.
 ③ (나)는 세포의 부피 변화가 없으므로 식물 세포를 등장액에 넣어 세포 안과 밖으로 물이 이동하는 속도가 같아 모양의 변화가 없는 상태이다.
 ⑥ (다)는 식물 세포를 고장액에 넣어 세포 밖으로 물이 빠져나가는 속도가 세포 안으로 물이 들어오는 속도보다 빨라 세포질의 부피가 줄어들면서 세포막이 세포벽으로부터 떨어지는 원형질분리가 일어난 상태이다.
바로알기 | ④ (나)는 식물 세포를 등장액에 넣은 상태로, 세포의 부피 변화가 없다. 식물 세포 안으로 들어오는 물이 세포 밖으로 빠져나가는 물보다 많을 때 식물 세포는 팽윤상태가 되며, 이때 팽압이 발생한다.

⑤ (다)에서는 세포 밖으로 빠져나가는 물의 양이 세포 안으로 들어오는 물의 양보다 많다.

093 ㄱ. (가)에 들어 있을 때 ㉠은 세포막이 세포벽에서 떨어지는 원형질분리가 일어났다.

ㄴ. $t_1 \rightarrow t_2$ 에서 t_1 일 때의 ㉠의 부피보다 t_2 일 때 ㉠의 부피가 더 크므로 ㉠ 안으로 물이 들어오는 속도는 ㉠ 밖으로 물이 빠져나가는 속도보다 빠르다.

바로알기 | ㄴ. (가)에 들어 있을 때 ㉠은 원형질분리가 일어난 상태이므로 (가)는 고장액이다. ㉠을 (나)로 옮긴 뒤 시점 t_1 과 t_2 일 때 ㉠은 팽윤상태이므로 소금물의 농도는 (가)가 (나)보다 높다.

094 ㄱ. $t_1 \sim t_2$ 에서 적혈구의 부피가 증가하였으므로 용액 A에서 적혈구 안으로 물이 유입되었다.

ㄴ. 용액 A에서 적혈구 안으로 물이 유입되었으므로 적혈구 내부의 농도가 A의 농도보다 높다.

바로알기 | ㄴ. 삼투에 의해 용액의 농도가 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 물 분자가 이동한다.

095 ㄴ. 적혈구를 저장액에 넣으면 적혈구 안으로 물이 들어와 적혈구의 부피가 점점 커지다가 결국 세포막이 터지는 용혈 현상이 일어난다. (나)에서 소금물의 농도가 C_2 일 때 용혈된 적혈구의 비율이 0%이므로 농도가 C_2 인 소금물은 등장액이거나 고장액이다. 소금물 농도가 C_1 일 때 용혈된 적혈구의 비율이 50%이므로 농도가 C_1 인 소금물은 저장액이다. 따라서 소금물의 농도는 C_2 일 때가 C_1 일 때보다 높다.

바로알기 | ㄱ. A에서 적혈구의 부피가 커졌으므로 A는 저장액, B에서 적혈구가 쪼그라들었으므로 B는 고장액이다. 따라서 소금물의 농도는 $A < \text{등장액} < B$ 이다.

ㄴ. 소금물의 농도가 C_1 일 때 적혈구의 50%가 용혈되었으므로 이 용액은 등장액이 아니다.

096 ① A는 식물 세포의 부피가 증가할수록 감소하므로 삼투압이다.

② 팽압이 최대일 때 세포는 최대 팽윤상태가 되며, 흡수력이 0이다.

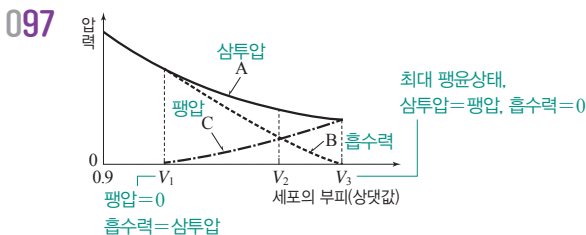
③ 세포의 부피가 증가할수록 액포의 크기는 커지므로 액포의 크기는 V_1 일 때가 V_2 일 때보다 작다.

⑤ 흡수력은 삼투압과 팽압의 차이이며, V_2 일 때 팽압이 0보다 크므로 삼투압은 흡수력보다 크다.

⑦ 흡수력은 V_2 일 때가 V_3 일 때보다 크고, 팽압은 V_2 일 때가 V_3 일 때보다 작으므로 X의 $\frac{\text{흡수력}}{\text{팽압}}$ 은 V_2 일 때가 V_3 일 때보다 크다.

바로알기 | ④ V_1 일 때 X의 부피는 1보다 작으므로 원형질분리가 일어난 상태이며, X의 부피가 1보다 클 때 팽윤상태이다.

⑥ V_3 일 때가 V_2 일 때보다 삼투압은 작아지고 팽압은 커지므로 X의 $\frac{\text{팽압}}{\text{삼투압}}$ 은 V_2 일 때가 V_3 일 때보다 작다.



ㄱ. 흡수력은 식물 세포가 물을 흡수하려는 힘이며, 삼투압(A)과 팽압(C)의 차이이다.

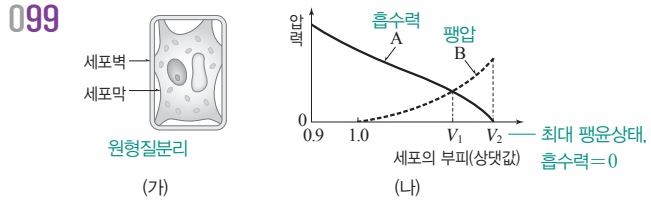
바로알기 | ㄴ. V_1 일 때 팽압은 0이므로, 흡수력과 삼투압은 같다.

ㄴ. X가 최대 팽윤상태일 때 흡수력(B)은 0이다.

098 ㄴ. 팽압은 식물 세포 안으로 물이 들어올 때 세포 내부로부터 세포벽이 받는 압력으로, 세포의 부피가 커질수록 팽압은 커진다. 따라서 X의 팽압은 $V_1 \sim V_3$ 중 V_3 일 때가 가장 크다.

ㄴ. 흡수력은 식물 세포가 삼투로 물을 흡수할수록 작아진다. 따라서 X의 흡수력은 V_2 일 때가 V_3 일 때보다 크다.

바로알기 | ㄱ. 고장액에 넣어 원형질분리가 일어난 상태의 식물 세포를 저장액으로 옮기면 최대 팽윤상태까지 식물 세포가 물을 흡수하면서 부피가 증가하고 삼투압은 감소한다. (나)는 팽윤상태이므로 V_3 일 때의 상태이다.



ㄴ. A가 흡수력이므로 V_2 일 때 이 세포의 흡수력은 0이다.

바로알기 | ㄱ. (가)에서 식물 세포를 설탕 용액 ㉠에 넣은 후 충분한 시간이 지났을 때 원형질분리가 일어났으므로 ㉠은 고장액이다. (나)에서 설탕 용액 ㉠에 있던 식물 세포를 설탕 용액 ㉡에 옮긴 후 세포의 부피가 1.0보다 증가하므로 ㉡은 저장액이다. 따라서 설탕 용액의 농도는 ㉡이 ㉠보다 낮다.

ㄴ. 흡수력은 삼투압에서 팽압을 뺀 값이다. V_1 일 때 이 세포의 흡수력은 0보다 크므로 삼투압은 팽압보다 큰 값을 가진다. 따라서 V_1 일 때 이 세포의 삼투압은 0보다 크다.

100

세포의 부피 (상댓값)	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3
흡수력(기압)	8	7.5	6	2.5	0
팽압(기압)	—	① 0	1	2.5	4
삼투압(기압)	8	7.5	7	5	4

ㄱ. 식물 세포의 부피가 1일 때는 세포 안으로 들어오는 물의 양과 세포 밖으로 빠져나가는 물의 양이 같아 세포의 부피 변화가 없는 시점이다. 이때의 팽압은 0이므로 ①은 0이다.

ㄴ. 세포의 부피가 1.3일 때 흡수력이 0이므로 삼투압과 팽압이 같은 시점이며, 이때 세포는 최대 팽윤상태이다.

바로알기 | ㄴ. 삼투압 = 흡수력 + 팽압이다. 세포의 부피가 1.2일 때 흡수력과 팽압은 각각 2.5(기압)이므로 세포의 삼투압은 5(기압)이다.

05 세포막을 통한 물질 이동(2)

빈출 자료 보기

101 (1) ○ (2) × (3) × (4) × (5) ○ (6) ○

101 I은 저농도에서 고농도로 물질이 이동하므로 능동수송이고, II는 막단백질을 이용하고 저농도에서 고농도로 물질이 이동하지 않으므로 촉진확산이며, 나머지 III는 단순확산이다.

- (1) 능동수송(I)은 막단백질을 이용하므로 ㉔는 '○'이다.
 (5) I은 능동수송, II는 촉진확산, III는 단순확산이다.
 (6) 허파꽂리에서 모세혈관으로 세포막을 통한 O_2 의 이동은 단순확산(III)에 의해 일어난다.
바로알기 | (2) 시간이 지남에 따라 ㉔의 세포 안팎의 농도 차가 증가하므로 ㉔의 이동 방식은 저농도에서 고농도로 물질이 이동하는 능동수송(I)이다.
 (3) 신경세포에서 Na^+ 통로를 통한 Na^+ 의 이동은 촉진확산(II)에 의해 일어난다.
 (4) 촉진확산(II)에는 에너지가 사용되지 않는다.

난이도별 필수 기출

35쪽~37쪽

102 ④	103 ⑤, ⑦	104 ①	105 ⑤	106 ①
107 ②	108 ③, ⑤	109 해설 참조	110 ⑤	
111 ④	112 ③	113 ④		

102 ①, ②, ③ 능동수송은 세포막의 특정 운반체단백질을 통해 물질을 농도 기울기를 거슬러 이동시키며 에너지가 사용된다.

⑤ 능동수송의 예로 $Na^+ - K^+$ 펌프에 의한 Na^+ 과 K^+ 의 이동이 있다.

바로알기 | ④ 능동수송에는 에너지가 사용되므로 ATP 생성을 저해하는 세포호흡 저해제를 처리하면 능동수송이 억제된다.

103 ① $Na^+ - K^+$ 펌프는 ATP를 사용하여 3개의 Na^+ 을 세포 밖으로 내보내고, 2개의 K^+ 을 세포 안으로 이동시키므로 ㉔는 Na^+ , ㉕는 K^+ 이다.

② ㉔는 운반체단백질인 $Na^+ - K^+$ 펌프이다.

③ $Na^+ - K^+$ 펌프(㉔)의 구조는 ATP가 ADP와 인산기로 분해되면서 변하고, 이 과정에서 Na^+ 이 세포 밖으로 방출된다.

④ 능동수송은 물질을 농도가 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 이동시키는 방식으로 에너지가 사용된다.

⑥ Na^+ 은 $Na^+ - K^+$ 펌프에 의해 세포 밖으로 방출되므로 Na^+ 의 농도는 세포 안에서보다 세포 밖에서 높게 유지된다.

바로알기 | ⑤ K^+ (㉕)은 농도가 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 이동한다.

⑦ $Na^+ - K^+$ 펌프는 ATP를 사용하여 3개의 Na^+ 을 세포 밖으로 내보내고, 2개의 K^+ 을 세포 안으로 이동시켜 Na^+ 농도는 세포 밖에서가 안에서보다 높게 유지되고, K^+ 농도는 세포 안에서가 밖에서보다 높게 유지되도록 한다.

104 ㄱ. 세포내섭취는 세포 밖의 물질을 세포막으로 감싸 소낭을 만들어 세포 안으로 끌어들이는 물질 이동 방식으로 에너지가 사용된다.

바로알기 | ㄴ. 액체 상태의 물질을 세포 안으로 이동시키는 음세포작용은 세포내섭취에 해당한다.

ㄷ. 세포내섭취가 일어나면 세포막으로 물질을 둘러싸서 세포 안으로 끌어들이므로 세포막의 표면적이 줄어든다.

105 (가)는 세포 밖의 물질을 세포막으로 감싸 소낭을 만들어 세포 안으로 끌어들이므로 세포내섭취이고, (나)는 세포 안에 있는 소낭이

세포막과 융합하여 소낭 속 물질을 세포 밖으로 내보내므로 세포외배출이다.

ㄱ. 세포내섭취(가)에서 소낭이 만들어지는 만큼 세포막의 표면적이 감소한다.

ㄴ. 세포에서 만들어진 신경전달물질, 효소, 호르몬 등은 세포외배출(나)을 통해 소낭에 담아 세포막과 융합하는 방식으로 세포 밖으로 내보낸다.

ㄷ. 세포내섭취(가)와 세포외배출(나)이 일어날 때 소낭 형성과 세포막의 융합, 세포 안에서의 이동 등에 에너지가 사용된다.

106 ㄱ. I ~ III 과정은 세포외배출과 세포내섭취에 해당하며, 세포외배출과 세포내섭취는 에너지를 사용하여 큰 분자나 다량의 물질을 막으로 감싼 소낭으로 만들어 세포 안과 밖으로 이동시킨다. 따라서 I ~ III 과정에서 모두 에너지가 사용된다.

바로알기 | ㄴ. 백혈구의 식세포작용은 세포내섭취(II)에 해당한다.

ㄷ. 모세혈관 벽을 구성하는 세포에서 혈액의 액체 성분을 흡수하는 작용은 음세포작용으로 세포내섭취(III)에 해당한다.

107 ㄷ. 리포솜의 막(㉔)은 인지질 이중층으로 이루어져 있으며, 인지질로 이루어진 다른 막과 쉽게 융합할 수 있다.

바로알기 | ㄱ, ㄴ. 리포솜은 인지질 이중층으로 이루어진 막으로 둘러싸인 인공 구조물이다. 리포솜의 막(㉔)은 세포막과 같이 유동성이 있지만, 막단백질은 없어 물질의 선택적 출입은 불가능하다.

108 (가)와 (나)는 물질이 농도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 이동하므로 확산이며, (가)는 물질이 세포막을 직접 통과하므로 단순확산이고, (나)는 물질이 세포막의 수송단백질을 통해 이동하므로 촉진확산이다. (다)는 물질이 농도가 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 이동하며 에너지를 소모하므로 능동수송이다.

①, ④ (가)는 단순확산, (나)는 촉진확산이다.

② 허파꽂리와 모세혈관 사이에서 일어나는 산소의 이동 방식은 단순확산(가)에 해당한다.

⑥ $Na^+ - K^+$ 펌프에 의한 Na^+ 과 K^+ 의 이동 방식은 능동수송(다)에 해당한다.

⑦ 촉진확산(나)과 능동수송(다)에는 모두 세포막의 수송단백질이 관여한다.

바로알기 | ③ 촉진확산(나)에서는 에너지가 사용되지 않는다.

⑤ 능동수송(다)에서 물질이 농도가 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 이동한다.

109

구분	물질의 농도 차에 따른 물질의 이동 방향	막단백질의 관여 여부
I 촉진확산	? 고농도 → 저농도	○
II 단순확산	? 고농도 → 저농도	? ×
III 능동수송	저농도 → 고농도	? ○

(○: 있음, ×: 없음)

모범 답안 III은 물질이 저농도에서 고농도로 이동하므로 능동수송이고, I은 막단백질이 관여하므로 촉진확산이며, 나머지 II는 단순확산이다.

채점 기준	배점
I ~ III에 해당하는 세포막을 통한 물질의 이동 방식을 그렇게 판단한 까닭을 포함하여 옳게 서술한 경우	100 %
I ~ III에 해당하는 세포막을 통한 물질의 이동 방식만 옳게 쓴 경우	30 %

110 (가)는 물질이 고농도에서 저농도로 세포막을 직접 통과해 이동하므로 단순확산, (나)는 저농도에서 고농도로 물질이 세포막의 수송

단백질을 통해 이동하므로 능동수송, (다)는 세포 밖의 고체 물질을 세포막으로 감싸 소낭을 만들어 세포 안으로 끌어들이므로 세포내섭취(식세포작용)이다.

ㄴ. 능동수송(나)에는 막단백질인 운반체단백질이 관여한다.

ㄷ. 능동수송(나)과 세포내섭취(나)에서 모두 에너지가 사용된다.

바로알기 | ㄱ. (가)는 단순확산, (나)는 능동수송, (다)는 세포내섭취이다.

111

구분	㉠	㉡	㉢	특징(㉠~㉢)
A 촉진확산	○	○	?×	• ATP를 소모한다. ㉢ 능동수송
B 단순확산	㉠×	○	×	• 막단백질이 관여한다. ㉠ 능동수송, 촉진확산
C 능동수송	○	?×	○	• 물질의 농도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동한다. ㉡ 촉진확산, 단순확산

(○: 있음, ×: 없음)

(가)

(나)

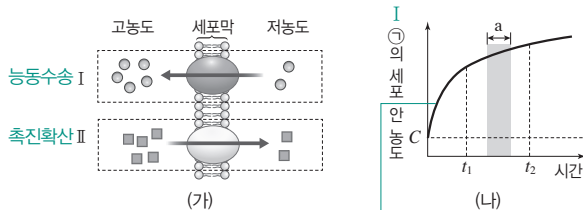
‘ATP를 소모한다.’는 능동수송에만 해당하므로 ㉢이고, C는 능동수송이다. ‘막단백질이 관여한다.’는 능동수송과 촉진확산에 해당하므로 ㉠이고, A는 촉진확산이다. 나머지 ‘물질의 농도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동한다.’는 ㉡이고, B는 단순확산이다.

ㄴ. ㉠은 ‘막단백질이 관여한다.’, ㉡은 ‘물질의 농도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동한다.’, ㉢은 ‘ATP를 소모한다.’이다.

ㄷ. 작은창자에서 포도당과 아미노산이 흡수되는 방식은 능동수송(C)에 해당한다.

바로알기 | ㄱ. ㉠은 ‘×’이다.

112



시간이 지남에 따라 ㉠의 세포 안팎의 농도 차가 증가한다.

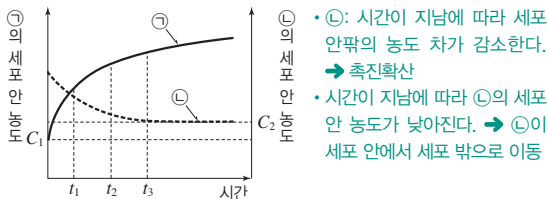
→ ㉠의 이동 방식은 능동수송(I)이다.

ㄱ. 시간이 지남에 따라 ㉠의 세포 안팎의 농도 차가 증가하므로 ㉠의 이동 방식은 저농도에서 고농도로 물질이 이동하는 능동수송(I)이다.

ㄷ. 세포 안의 ㉠ 농도는 t_2 일 때가 t_1 일 때보다 높으므로 세포 밖인 배양액의 ㉠ 농도는 t_2 일 때가 t_1 일 때보다 낮다.

바로알기 | ㄴ. 인슐린은 세포외배출 방식으로 세포 밖으로 분비된다.

113



• ㉠: 시간이 지남에 따라 세포 안팎의 농도 차가 증가한다. → 능동수송

• 시간이 지남에 따라 ㉠의 세포 안 농도가 높아진다. → ㉠이 세포 밖에서 세포 안으로 이동

① ㉠의 이동 방식은 물질이 농도가 낮은 곳에서 높은 곳으로 이동하는 능동수송이다.

② ㉠은 세포 안으로 유입되므로 시간이 지남에 따라 배양액에서의 농도는 감소한다. 따라서 배양액의 ㉠ 농도는 t_2 일 때가 t_3 일 때보다 높다.

③ 뿌리털에서 무기양분이 흡수되는 방식은 능동수송이므로 ㉠의 이동 방식에 해당한다.

⑤ 세포막을 통한 ㉠의 이동 속도는 그래프 곡선의 기울기와 같으므로 t_1 일 때가 t_2 일 때보다 빠르다.

바로알기 | ④ ㉠은 세포 안의 농도가 밖보다 높았다가 세포 안과 세포 밖의 농도가 같아진다. 따라서 ㉠은 촉진확산을 통해 세포 안에서 밖으로 이동한다.

최고 수준 도전 기술

38쪽~39쪽

114 ③	115 ④	116 ⑤	117 ④	118 ①	119 ②
120 ③	121 ④				

114

(가) 접안렌즈에 접안마이크로미터를 끼우고, 대물마이크로미터를 재물대 위에 놓는다.

(나) 현미경 배율을 100배로 하고 관찰하였더니 접안마이크로미터 5눈금과 대물마이크로미터 1눈금이 일치하였다.

→ 접안마이크로미터 눈금 한 칸의 길이 = $2 \mu\text{m}$

(다) 대물마이크로미터를 제거한 후, 재물대에 세포 A가 있는 표본을 올려놓고 관찰하였더니 세포 A와 접안마이크로미터 ㉠눈금이 겹쳤다. A의 크기 = $2 \mu\text{m} \times \text{㉠눈금}$, ㉠ = 10

(라) 대물렌즈의 배율만 4배 증가시켜 세포 A를 관찰하였더니 세포 A와 접안마이크로미터 40눈금이 겹쳤다.

→ 접안마이크로미터 눈금 한 칸의 길이 = $2 \mu\text{m} \times \frac{1}{4} = 0.5 \mu\text{m}$, A의 크기 = $0.5 \mu\text{m} \times 40\text{눈금} = 20 \mu\text{m}$

ㄱ, ㄴ.

접안마이크로미터 눈금 한 칸의 길이는

$\frac{\text{대물마이크로미터 눈금의 칸 수}}{\text{접안마이크로미터 눈금의 칸 수}} \times 10 \mu\text{m} = \frac{1}{5} \times 10 \mu\text{m} = 2 \mu\text{m}$ 이다.

(라)에서 대물렌즈 배율만 4배로 증가시키면 접안마이크로미터 눈금 한 칸의 길이는 $\frac{1}{4}$ 배가 되어 $0.5 \mu\text{m}$ 이다. 따라서 세포 A의 크기

= $0.5 \mu\text{m} \times 40\text{눈금} = 20 \mu\text{m}$ 이다.

(다)에서 세포 A의 크기는 $20 \mu\text{m}$, 접안마이크로미터 눈금 한 칸의 길이는 $2 \mu\text{m}$ 이므로 세포 A와 겹치는 접안마이크로미터 눈금의 수인 ㉠은 10이다.

바로알기 | ㄷ. (나)에서 접안마이크로미터 눈금 한 칸의 길이는 $\frac{1}{5} \times 10 \mu\text{m} = 2 \mu\text{m}$ 이다. (라)에서 대물렌즈의 배율을 4배로 증가시키면

접안마이크로미터 눈금 한 칸의 길이는 $\frac{1}{4}$ 배가 되어 $0.5 \mu\text{m}$ 이다.

115

구분	㉠ 엽록체, B	㉡ 핵, C	㉢ 마이트콘드리아, A
핵산	○	?○	○
그라나	○	?×	×
크리스타	?×	?×	○
이중막	㉠○	○	?○

(○: 있음, ×: 없음)

세포벽을 제거한 식물 세포의 경우 핵, 엽록체, 마이트콘드리아, 세포막과 소포체 등 내부 막 조각, 라이보솜 순으로 가라앉아 분리된다. 따라서 A는 마이트콘드리아, B는 엽록체, C는 핵이다. ㉠은 핵산과 그라나가 있으므로 엽록체(B)이고, ㉢은 핵산과 크리스타가 있으므로 마이트콘드리아(A)이며, 나머지 ㉡은 핵(C)이다.

ㄴ. ㉠은 엽록체(B), ㉡은 핵(C), ㉢은 마이트콘드리아(A)이다.

ㄷ. 미토콘드리아(A, ㉔)에서 세포호흡이 일어난다.

바로알기 | ㄱ. 엽록체(B, ㉑)는 외막과 내막의 이중막 구조이므로 ㉑는 ‘○’이다.

116 세포 I은 A, B, C에서 방사선이 검출되지만 세포 밖에서 검출되지 않으므로 단백질을 세포 밖으로 분비하는 골지체에 이상이 있는 세포이다. 세포 II는 A에서만 방사선이 검출되므로 라이보솜에서 합성된 단백질이 거친면소포체로 이동하지 못하는 것이므로 라이보솜에 이상이 있는 세포이다. 세포 III은 A와 C에서만 방사선이 검출되므로 라이보솜에서 합성된 단백질이 거친면소포체로 이동한 후 골지체로 이동하지 못하는 것이므로 거친면소포체에 이상이 있는 세포이다. 따라서 A는 라이보솜, B는 골지체, C는 거친면소포체이다.

ㄱ. A는 라이보솜, B는 골지체, C는 거친면소포체이다.

ㄴ. 세포 I은 골지체에 이상이 있고, 세포 II는 라이보솜에 이상이 있으며, 세포 III은 거친면소포체에 이상이 있다.

ㄷ. 단백질의 이동 경로는 라이보솜(A) → 거친면소포체(C) → 골지체(B)이다.

세포소기관	특징	구분	I B	II A
골지체 A	?	식물 세포	?○	○
엽록체 B	㉑	동물 세포	×	㉑○
라이소솜 C	세포내소화를 담당한다.			

(○: 있음, ×: 없음)

세포내소화를 담당하는 세포소기관은 라이소솜이므로 C는 라이소솜이다. A와 B는 각각 골지체와 엽록체 중 하나이며, A는 단일막 구조이므로 A는 골지체, B는 엽록체이다. I은 동물 세포에 없으므로 엽록체(B)이고, II는 골지체(A)이다.

ㄱ. 골지체(A, II)는 식물 세포와 동물 세포 모두에 있으므로 ㉑는 ‘○’이다.

ㄷ. 엽록체(B)에서 광합성이 일어나므로 ‘광합성이 일어난다.’는 ㉑에 해당한다.

바로알기 | ㄴ. 골지체(A)는 핵막에 부분적으로 연결되어 있지 않다. 핵막에 부분적으로 연결되어 있는 세포소기관은 소포체이다.

구분	A	B	C	특징(A~C)
신경세포와 공변세포 중 하나	○	○	×	• 핵막이 있다. A 신경세포, 공변세포
II	○	○	㉑ ×	• 펩티도글리칸 성분의 세포벽이 있다. C 대장균
III	×	○	○	• ㉑ B 대장균, 신경세포, 공변세포

(○: 있음, ×: 없음)

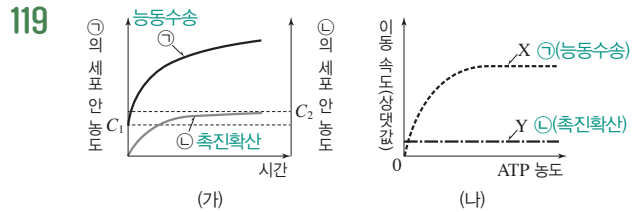
‘핵막이 있다.’는 사람의 신경세포와 시금치의 공변세포에 해당하는 특징이므로 A는 ‘핵막이 있다.’이며, I과 II는 각각 사람의 신경세포와 시금치의 공변세포 중 하나이고, III은 대장균이다. ‘펩티도글리칸 성분의 세포벽이 있다.’는 대장균에만 해당하는 특징이므로 C는 ‘펩티도글리칸 성분의 세포벽이 있다.’이며, 나머지 B는 ㉑이며, ㉑는 대장균, 사람의 신경세포, 시금치의 공변세포에 모두 해당하는 특징이다.

ㄱ. ‘펩티도글리칸 성분의 세포벽이 있다.’는 대장균에만 해당하는 특징이므로 ㉑는 ‘×’이다.

바로알기 | ㄴ. A는 ‘핵막이 있다.’, C는 ‘펩티도글리칸 성분의 세포벽이 있다.’이다.

ㄷ. ㉑는 대장균, 사람의 신경세포, 시금치의 공변세포 모두가 갖는 특징인데, 소포체는 진핵세포인 사람의 신경세포와 시금치의 공변세포에

만 있으므로 ‘소포체가 있다.’는 ㉑에 해당하지 않는다.

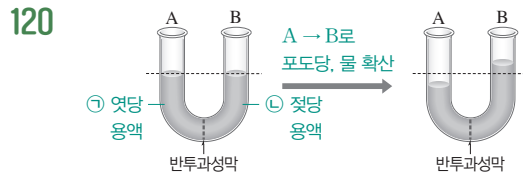


㉑ 시간이 지남에 따라 세포 안팎의 농도 차가 증가한다. → 능동수송
시간이 지남에 따라 ㉑의 세포 안 농도가 높아진다. → ㉑이 세포 밖에서 세포 안으로 이동
㉒ 시간이 지남에 따라 세포 안팎의 농도 차가 감소한다. → 촉진확산
시간이 지남에 따라 ㉒의 세포 안 농도가 높아진다. → ㉒이 세포 밖에서 세포 안으로 이동

ㄴ. (가)에서 시간이 지남에 따라 ㉑의 세포 안 농도가 높아지므로 ㉑은 세포 밖에서 세포 안으로 이동한다.

바로알기 | ㄱ. X의 이동에 ATP가 사용되므로 X의 이동 방식은 능동수송이다. 따라서 X는 ㉑이다.

ㄷ. (나)에서 Y의 이동 방식은 ATP가 소모되지 않으므로 촉진확산이다. $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ 펌프에 의한 Na^+ 과 K^+ 의 이동 방식은 능동수송이므로 Y의 이동 방식(촉진확산)과 $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ 펌프에 의한 Na^+ 과 K^+ 의 이동 방식은 같지 않다.



(라)에서 엽당분해효소를 넣어 주면 엽당이 있는 곳에서 엽당이 분해되어 포도당 2분자가 생성되고 젖당이 있는 곳으로 포도당이 확산된다. 젖당이 있는 곳으로 포도당이 확산되면 용액의 농도가 높아지므로 젖당이 있는 곳으로 물이 확산되는 삼투가 일어난다. 실험 결과 A의 수면 높이는 내려가고 B의 수면 높이는 올라갔으므로 A에 엽당 용액(㉑)을 넣고, B에 젖당 용액(㉒)을 넣은 것이다.

ㄱ, ㄴ. (마)에서 A의 수면 높이는 내려가고 B의 수면 높이는 올라갔으므로 ㉑은 엽당 용액, ㉒은 젖당 용액이며, 물은 A에서 B로 확산하였다.

바로알기 | ㄷ. (마)에서 포도당은 A에서 B로 확산하였다.

시간	부피	A 삼투압	B 흡수력	C 팽압
t_1	1.2	3	㉑ 2	1
t_2	0.8	5	?	0
t_3	1.4	㉒ 2	0	2
t_4	1.0	4	4	㉓ 0

고장액에 있던 식물 세포를 저장액으로 옮기면 세포 안으로 물이 들어 오면서 세포의 부피가 증가한다. 시간이 흐를수록 세포의 부피는 0.8 → 1.0 → 1.2 → 1.4로 변하므로 시간의 흐름은 $t_2 \rightarrow t_4 \rightarrow t_1 \rightarrow t_3$ 순이다. 세포 안으로 물이 들어와 부피가 증가할수록 삼투압과 흡수력은 감소하며, 삼투압은 0이 될 수 없으므로 A는 삼투압이고, B는 흡수력이며, 나머지 C는 팽압이다. 흡수력 = 삼투압 - 팽압이므로 ㉑은 2, ㉒은 2, ㉓은 0이다.

ㄴ. ㉑ + ㉒ + ㉓ = 2 + 2 + 0 = 4이다.

ㄷ. 고장액에 있던 식물 세포를 저장액으로 옮겼으므로 시간이 흐를수록 세포의 부피는 증가한다. 따라서 시간은 $t_2 \rightarrow t_4 \rightarrow t_1 \rightarrow t_3$ 순으로 흐른다.

바로알기 | ㄱ. A는 삼투압, B는 흡수력, C는 팽압이다.

빈출 자료 보기

41쪽

122 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○

123 (1) × (2) ○ (3) × (4) × (5) ○ (6) ○

122 (1) 물질대사가 일어날 때 에너지의 출입이 함께 일어난다.

(4) 물질대사는 생명체에서 일어나는 모든 화학 반응으로, 효소에 의해 촉매된다.

바로알기 | (2) (가)는 생성물의 에너지양이 반응물의 에너지양보다 많으므로 (가)에서는 에너지가 흡수된다.

(3) 녹말이 엿당으로 분해되는 것은 큰 분자를 작은 분자로 분해하는 이화작용에 해당하므로 (나)의 예에 해당한다.

123 (2) 기초대사량은 호흡운동, 심장박동, 체온 유지 등 생명활동을 유지하는 데 필요한 최소한의 에너지양이다. 기초대사량은 성별, 체중, 나이 등에 따라 다르다.

(5) 음식물에서 섭취하는 에너지양이 활동으로 소비하는 에너지양보다 많으면 사용하고 남은 에너지가 대부분 지방의 형태로 저장된다.

(6) 건강한 생활을 하기 위해서는 음식물에서 섭취하는 에너지양과 활동으로 소비한 에너지양 사이에 균형이 이루어져야 한다.

바로알기 | (1) 활동대사량은 기초대사량 외에 다양한 활동을 하는 데 필요한 에너지양이다. 호흡운동, 심장박동에 사용되는 에너지양은 기초대사량에 포함된다.

(3) 에너지 부족 상태가 일정 기간 이상 지속되면 체중이 감소하고, 심하면 영양실조나 성장 장애 등의 이상이 나타난다.

(4) 음식물의 소화·흡수에 필요한 에너지양은 기초대사량에 포함되지 않는다.

난이도별 필수 기출

42쪽~45쪽

124 ⑤ 125 ②, ③ 126 해설 참조 127 ③
128 ① 129 ③ 130 ④ 131 ② 132 ⑤ 133 ②
134 ③ 135 ① 136 ③ 137 ① 138 ④ 139 ④
140 해설 참조

124 ㄱ. 물질대사에는 반응을 촉매하는 효소가 관여한다.

ㄴ. 물질대사는 동화작용과 이화작용으로 구분된다. 사람의 몸에서 녹말이 포도당으로 분해되는 것은 큰 분자인 녹말이 작은 분자인 포도당으로 분해되는 이화작용에 해당한다.

ㄷ. 물질대사가 여러 단계에 걸쳐 일어날 때, 각 단계에 효소가 작용하고 각 단계의 생성물은 다음 단계의 반응물로 이용된다.

125 ① 물질대사는 생명체에서 생명을 유지하기 위해 일어나는 모든 화학 반응이다.

④ 동물 세포는 물질대사를 통해 뉴클레오타이드를 핵산으로 합성한다.

⑤ 생명체는 물질대사를 통해 생명 유지에 필요한 에너지와 물질을 얻는다.

⑥ 물질대사가 일어날 때에는 반드시 에너지 출입이 함께 일어난다.

⑦ 작은 분자인 포도당을 큰 분자인 글라이코젠으로 합성하는 과정은 동화작용에 해당한다.

바로알기 | ② 광합성은 작은 분자인 이산화 탄소와 물을 큰 분자인 포도당으로 합성하는 동화작용에 해당한다.

③ 동화작용이 일어날 때 에너지가 흡수되고, 이화작용이 일어날 때 에너지가 방출된다.

126 **모범 답안** (가)는 동화작용, A는 아미노산, B는 단백질이다. 작고 간단한 물질을 크고 복잡한 물질로 합성하는 동화작용에서 에너지가 흡수되기 때문이다.

해설 반응물(A)이 생성물(B)로 전환되는 과정에서 에너지를 흡수하므로 그림은 동화작용을 나타낸 것이고, A는 아미노산, B는 단백질이다.

채점 기준	배점
(가), A, B가 무엇인지 모두 옳게 쓰고, 그 까닭을 동화작용에서 에너지의 출입과 관련지어 옳게 서술한 경우	100 %
(가), A, B가 무엇인지만 옳게 쓴 경우	30 %

127 ㄱ. 식물의 잎에서 포도당을 녹말로 합성하는 과정은 동화작용이며, 동화작용에서 에너지가 흡수된다.

ㄷ. 사람의 소화기관에서 큰 분자인 지방이 작은 분자인 지방산과 모노글리세리드로 분해되는 반응은 이화작용에 해당하며, 효소가 이용된다.

바로알기 | ㄴ. 사람의 간에서 글라이코젠이 포도당으로 분해되는 반응은 이화작용에 해당한다.

128 ㄱ. (가)는 작고 단순한 물질을 크고 복잡한 물질로 합성하는 동화작용이다.

바로알기 | ㄴ. 광합성은 동화작용(가)에 해당한다.

ㄷ. 이화작용(나)에서 에너지가 방출되므로, 반응물의 에너지양은 생성물의 에너지양보다 많다.

129 그림은 이화작용이 일어날 때의 에너지 변화를 나타낸 것이다.

ㄷ. 효모가 포도당을 분해하면서 알코올이 생성되는 반응은 이화작용으로, 에너지가 방출되는 발열 반응이다.

바로알기 | ㄱ. 이산화 탄소와 물로부터 포도당을 합성하는 반응은 동화작용으로, 에너지가 흡수되는 흡열 반응이다.

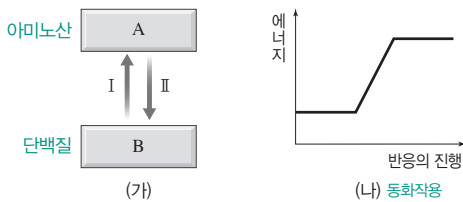
ㄴ. 뉴클레오타이드가 결합하여 RNA가 합성되는 반응은 동화작용으로, 에너지가 흡수되는 흡열 반응이다.

130 ㄴ. 포도당이 녹말로 전환되는 반응은 동화작용에 해당되므로 (가)와 같은 에너지 변화가 나타난다.

ㄷ. (가)는 동화작용이 일어날 때의 에너지 변화이고, (나)는 이화작용이 일어날 때의 에너지 변화이다.

바로알기 | ㄱ. 세포호흡은 이화작용에 해당하므로 (나)와 같은 에너지 변화가 나타난다.

131



과정 II에서 에너지가 흡수되므로 과정 II는 동화작용이다.

ㄴ. 아미노산(A)이 단백질(B)로 합성되는 과정 II는 동화작용에 해당한다.

바로알기 | ㄱ. I은 단백질(B)이 아미노산(A)으로 분해되는 이화작용으로 에너지가 방출된다.

ㄷ. 녹말이 포도당으로 전환되는 반응은 이화작용이다. 이화작용이 일어날 때 에너지가 방출되므로 (나)와 같은 에너지 변화가 나타나지 않는다.

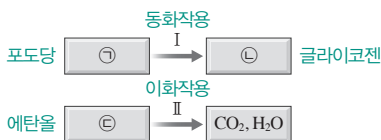
132 ㉠은 포도당, ㉡은 아미노산이다.

ㄱ. (가) 과정은 포도당(㉠)이 물(H_2O)과 이산화 탄소(CO_2)로 분해되는 반응으로 이화작용에 해당한다.

ㄴ. 식물 세포에서 아미노산(㉡)을 결합하여 단백질이 합성되는 반응이 일어난다.

ㄷ. (나) 과정은 아미노산(㉡)이 단백질로 합성되는 반응으로 동화작용에 해당한다. 단백질은 아미노산(㉡)에 비해 크고 복잡한 물질이다.

133



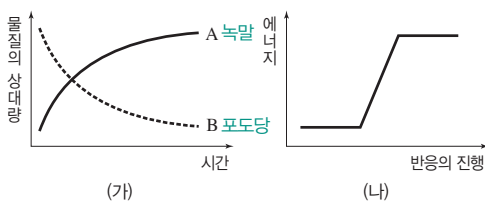
한 분자당 에너지량이 ㉡ > ㉠ > ㉢이므로 ㉠은 포도당, ㉡은 글라이코젠, ㉢은 에탄올이다.

ㄷ. I은 포도당(㉠)이 글라이코젠(㉡)으로 합성되는 동화작용이고, II는 에탄올(㉢)이 CO_2 와 H_2O 로 분해되는 이화작용이다. 동화작용과 이화작용에서 모두 효소가 이용된다.

바로알기 | ㄱ. I은 동화작용이다.

ㄴ. II는 이화작용으로 에너지가 방출된다.

134



ㄱ. P에서 반응이 진행됨에 따라 에너지가 증가하므로 P는 에너지를 흡수하는 동화작용에 해당한다.

ㄴ. 광합성은 이산화 탄소와 물을 포도당으로 합성하는 반응으로 동화작용에 해당한다. 따라서 광합성이 일어날 때 (나)와 같은 에너지 변화가 나타난다.

바로알기 | ㄷ. P가 일어날 때 에너지가 흡수되므로 한 분자당 에너지량은 녹말(A)이 포도당(B)보다 많다.

135

ㄱ. 움직이지 않고 명상을 하는 동안에도 심장박동, 호흡운동, 체온 유지 등 생명 현상을 유지하는 데 에너지가 소비된다.

바로알기 | ㄴ. 1일 대사량은 하루에 필요한 에너지양으로, 기초대사량, 활동대사량, 음식물의 소화·흡수에 필요한 에너지양의 합이다.

ㄷ. 기초대사량은 생명 현상을 유지하는 데 필요한 최소한의 에너지양으로, 성별, 나이, 체중에 따라 달라진다.

136

ㄱ. 축구를 할 때 소비되는 에너지양은 활동대사량에 포함되므로, A는 기초대사량, B는 활동대사량이다.

ㄷ. 1일 대사량은 하루에 필요한 에너지양으로, 기초대사량, 활동대사량, 음식물의 소화·흡수에 필요한 에너지양이 모두 포함된다.

바로알기 | ㄴ. 심장박동에 소비되는 에너지양은 기초대사량(A)에 포함된다.

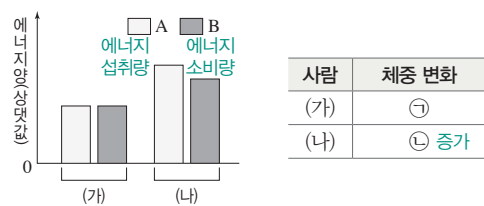
137

ㄱ. (가)는 에너지 섭취량과 에너지 소비량이 같아 에너지 균형을 이룬 상태이다.

바로알기 | ㄴ. (나)는 에너지 섭취량이 에너지 소비량보다 많은 에너지 과잉 상태이다. 이러한 상태가 오래 지속되면 체중이 증가하고 비만이 나타날 수 있다.

ㄷ. (다)는 에너지 소비량이 에너지 섭취량보다 많은 에너지 부족 상태이다.

138



• (가)는 A와 B의 양이 같으므로 에너지 섭취량과 에너지 소비량이 균형을 이루고 있다. → 체중 변화가 없으며, ㉠이 증가이다.

• (나)는 A의 양이 B의 양보다 많고 체중이 증가했으므로 A는 에너지 섭취량, B는 에너지 소비량이다.

ㄴ. (가)는 에너지 섭취량과 에너지 소비량이 균형을 이루고 있어 체중 변화가 없으며, ㉠과 ㉡ 중 하나는 '증가'이므로 ㉡이 '증가'이다.

ㄷ. (가)는 에너지 섭취량(A)과 에너지 소비량(B)이 균형을 이루고 있다.

바로알기 | ㄱ. (나)에서 체중이 증가했으므로 A는 에너지 섭취량, B는 에너지 소비량이다.

139

A의 1일 에너지 섭취량은 $(120 \times 4) + (400 \times 4) + (90 \times 9) = 2890(\text{kcal})$ 이고, 1일 대사량은 $1520 + 500 + 350 = 2370(\text{kcal})$ 이다. B의 1일 에너지 섭취량은 $(100 \times 4) + (300 \times 4) + (120 \times 9) = 2680(\text{kcal})$ 이고, 1일 대사량은 $1450 + 600 + 400 = 2450(\text{kcal})$ 이다.

ㄴ. 하루 동안 에너지 섭취량은 A가 2890 kcal이고, B가 2680 kcal이다.

ㄷ. B의 1일 에너지 섭취량은 2680 kcal이고, 1일 대사량은 2450 kcal이므로 에너지 섭취량이 에너지 소비량보다 많다. 따라서 이와 같은 상태가 지속되면 B의 체중은 증가할 것이다.

바로알기 | ㄱ. 호흡운동에 소비되는 에너지는 기초대사량에 포함된다.

140

모범 답안 비상이의 에너지 섭취량은 1600 kcal이고, 에너지 소비량은 1540 kcal이다. 비상이는 에너지 섭취량이 에너지 소비량보다 많으므로 에너지 과잉 상태이다.

해설 비상이가 하루 동안 섭취한 에너지양은 $700 + 800 + 100 = 1600(\text{kcal})$ 이다. 체중이 55 kg인 비상이가 하루 동안 소비한 에너지양은 $\{ (1.0 \times 8) + (1.5 \times 2) + (1.3 \times 8) + (1.1 \times 6) \} \times 55 = 1540 \text{ kcal}$ 이다.

채점 기준	배점
에너지 섭취량과 에너지 소비량을 모두 옳게 쓰고, 이와 관련지어 에너지대사의 균형 상태를 옳게 서술한 경우	100 %
에너지 섭취량과 에너지 소비량만 옳게 쓴 경우	50 %

빈출 자료 보기

47쪽

141 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ○

142 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○ (5) ○

141 (가)는 광합성, (나)는 세포호흡이다.

(1) 광합성(가)에서 태양의 빛에너지가 화학 에너지로 전환되어 유기물에 저장된다.

(4) 세포호흡(나)은 이화작용에 해당한다.

(5) 엽록체에서 광합성(가)이 일어나고, 미토콘드리아에서 세포호흡(나)이 일어난다.

바로알기 | (2) 광합성(가)은 동화작용으로 에너지가 흡수된다.

(3) 세포호흡(나)을 통해 포도당에 저장되어 있던 에너지가 방출되고, 방출된 에너지의 일부가 ATP에 저장된다.

142 (2) 미토콘드리아에서 ADP와 무기인산이 ATP로 합성되는 과정 ㉠이 일어난다.

(3) 물질대사에 효소가 이용되므로 과정 ㉠과 ㉡에서 모두 효소가 이용된다.

(4) 식물의 잎 세포에서 ATP가 ADP와 무기인산으로 분해되는 과정 ㉡이 일어난다.

(5) ATP가 ADP와 무기인산으로 분해되는 과정 ㉡에서 방출된 에너지는 생명활동에 이용된다.

바로알기 | (1) 과정 ㉠은 ADP와 무기인산이 ATP로 합성되는 과정으로 에너지가 흡수된다.

난이도별 필수 기출

48쪽~51쪽

143 ③ 144 ⑤ 145 ① 146 ② 147 ①
148 ④, ⑥ 149 ① 150 ③ 151 해설 참조
152 ① 153 ③ 154 ④ 155 ④ 156 ③ 157 ③
158 ② 159 ④

143 ㄱ. 광합성을 통해 빛에너지가 포도당의 화학 에너지 형태로 전환된다.

ㄴ. 포도당이 세포호흡을 통해 분해되는 과정에서 발생하는 에너지 중 일부는 ATP에 저장되고, 일부는 열에너지로 방출된다.

바로알기 | ㄷ. 세포호흡에서 생성된 CO₂는 모세혈관에서 허파꽂리로 확산한다. 확산이 일어날 때는 ATP가 사용되지 않는다.

144 ㄱ. (가)는 세포호흡, (나)는 광합성이다.

ㄴ. 광합성(나)에서 태양의 빛에너지가 포도당에 화학 에너지 형태로 전환되어 저장된다.

ㄷ. 식물 세포에서는 세포호흡(가)과 광합성(나)이 모두 일어난다.

145 ㄱ. 미토콘드리아에서 세포호흡이 일어나므로 X는 미토콘드리아이다.

바로알기 | ㄴ. 세포호흡은 이화작용으로 발열 반응에 해당한다.

ㄷ. 세포호흡을 통해 포도당이 분해되면서 방출되는 에너지의 일부가 ATP에 저장되고 나머지는 열로 방출된다.

146 (가)는 생명체 밖에서 포도당이 연소되는 과정, (나)는 세포호흡으로 포도당이 분해되는 과정이다.

ㄴ. 세포호흡으로 포도당이 분해되는 과정(나)은 물질대사 중 이화작용에 해당하며, 효소가 관여한다.

바로알기 | ㄱ. (가)는 생명체 밖에서 포도당이 연소되는 과정이다.

ㄷ. 같은 양의 포도당이 분해될 때 방출되는 총에너지량은 연소(가)와 세포호흡(나)이 같다.

147

구분	(가) 세포호흡	(나) 포도당의 연소
에너지 방출	단계적으로 소량씩 방출	한꺼번에 다량 방출
효소	㉠ 관여함	㉡ 관여하지 않음

ㄱ. (가)는 에너지가 단계적으로 소량씩 방출되므로 세포호흡이고, (나)는 에너지가 한꺼번에 다량 방출되므로 포도당의 연소이다.

바로알기 | ㄴ. 세포호흡(가)의 경우 체온 정도의 낮은 온도에서 일어나고, 포도당의 연소(나)의 경우 400 °C 이상의 높은 온도에서 일어난다.

ㄷ. 세포호흡(가)의 경우 효소가 관여하며, 포도당의 연소(나)의 경우 효소가 관여하지 않는다.

148 (가)는 광합성, (나)는 세포호흡이다.

④ 포도당이 세포호흡(나)을 통해 물과 이산화 탄소로 분해되면서 방출된 에너지의 일부는 ATP에 저장되고, 일부는 열에너지로 방출된다.

⑥ 광합성(가)과 세포호흡(나)은 생명체 내에서 일어나는 물질대사로, 모두 여러 단계에 걸쳐 일어난다.

바로알기 | ①, ② 광합성(가)은 동화작용에 해당하며, 엽록체에서 일어난다.

③, ⑤ (나)는 세포호흡이며, 세포호흡(나)에서 에너지의 일부가 ATP에 저장된다.

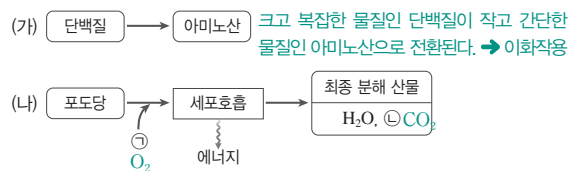
149 빛에너지를 흡수하여 CO₂(a)와 H₂O를 포도당으로 합성하는 과정인 ㉠은 광합성이고, O₂(b)를 소비하면서 포도당이 CO₂(a)와 H₂O로 분해되는 과정인 ㉡은 세포호흡이다.

ㄱ. 광합성(㉠)은 동화작용에 해당하며, 동화작용이 일어날 때 에너지가 흡수되어 (나)와 같은 에너지 변화가 나타난다.

바로알기 | ㄴ. 세포호흡(㉡)은 미토콘드리아에서 일어난다.

ㄷ. a는 CO₂, b는 O₂이다.

150



ㄱ. 포도당이 세포호흡을 통해 분해되면 최종 분해 산물로 H₂O와 CO₂가 발생하므로 ㉠은 O₂, ㉡은 CO₂이다.

ㄷ. 포도당이 세포호흡을 통해 H₂O와 CO₂로 분해되는 과정에서 방출되는 에너지의 일부가 ATP에 저장된다.

바로알기 | ㄴ. 단백질이 아미노산으로 전환되는 과정(가)은 이화작용이다. 이화작용에서는 에너지가 방출된다.

151 **모범 답안** 보온병 내부의 온도가 올라간다. 싹튼 콩은 세포호흡을 통해 생명활동에 필요한 에너지를 얻는데, 세포호흡은 이화작용으로 영양소가 분해되면서 에너지가 방출되기 때문이다.

채점 기준	배점
온도가 올라간다고 쓰고, 그 까닭을 물질대사와 관련지어 옳게 서술한 경우	100 %
온도가 올라간다고만 서술한 경우	30 %

152 발아 중인 콩에서는 세포호흡이 일어나 이산화 탄소가 발생한다. 실험 결과 I의 석회수가 뚜렷게 흐려졌으므로 A는 발아 중인 콩이고, II의 석회수는 변화가 없었으므로 B는 마른 콩이다.

ㄱ. 발아 중인 콩(A)에서 영양소가 세포호흡을 통해 분해되면서 이산화 탄소가 생성되었다.

바로알기 | ㄴ. A는 발아 중인 콩, B는 마른 콩이다.

ㄷ. 세포호흡과 같은 물질대사 과정에는 효소가 사용되며, 효소의 주성분은 단백질이다. 삶은 콩에서는 효소가 변성되어 세포호흡이 일어나지 않으므로 석회수가 뚜렷게 흐려지는 ㉠과 같은 결과를 얻을 수 없다.

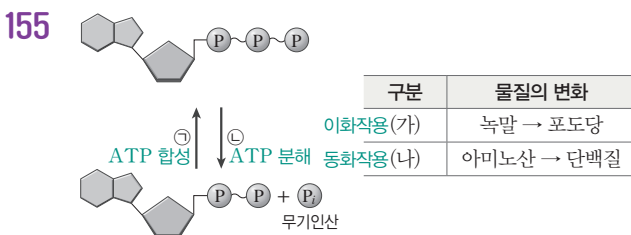
153 ㄱ, ㄴ. ATP는 아데닌에 라이보스가 결합한 아데노신에 인산기 3개가 일렬로 결합한 구조이다. 따라서 ㉠은 아데닌, ㉡은 라이보스이다.

바로알기 | ㄷ. 고에너지 인산 결합(가)이 끊어지면서 방출되는 에너지가 다양한 생명활동에 이용된다.

154 ㄱ. ATP는 ADP와 무기인산으로 분해되고, ADP는 무기인산과 결합하여 ATP로 합성된다. 따라서 (가)는 ATP, (나)는 ADP이다.

ㄴ. ATP(가)는 아데닌과 라이보스가 결합한 아데노신에 인산기 3개가 일렬로 결합한 구조이고, ADP(나)는 아데노신에 인산기 2개가 일렬로 결합한 구조이다. ATP(가)와 ADP(나)에 모두 인산기와 인산기 사이의 결합이 있다.

바로알기 | ㄷ. ATP(가)가 ADP(나)와 무기인산으로 분해되는 과정 II에서 방출되는 에너지 중 일부는 생명활동에 사용되고, 일부는 열에너지로 전환된다.



ㄱ. ATP는 생명활동에 직접적으로 사용되는 에너지원이다. 식물 세포에서 ADP와 무기인산이 결합하여 ATP가 합성되는 과정 ㉠과, ATP가 ADP와 무기인산으로 분해되는 과정 ㉡이 모두 일어난다.

ㄷ. 라이보솜에서 아미노산으로부터 단백질이 합성되는 (나)가 일어난다.

바로알기 | ㄴ. (가)는 녹말이 포도당으로 분해되는 이화작용이다. 이 화작용이 일어날 때 에너지가 방출되므로, ㉡에서 방출된 에너지가 (가)에서 사용되지 않는다.

156 ㄱ. ATP가 ADP와 무기인산으로 분해되므로 (가)는 ATP, (나)는 ADP이다.

ㄴ. 미토콘드리아에서 세포호흡을 통해 포도당과 같은 유기물을 분해하면서 방출되는 에너지의 일부를 ATP에 저장하는 반응(II)이 일어난다.

바로알기 | ㄷ. 세포막을 통한 물질의 이동이 농도 차에 따른 확산으로 일어나는 경우에는 에너지가 사용되지 않는다.

157 ㄱ. 포도당이 세포호흡을 통해 분해되는 과정에서 O_2 가 소비

되고, H_2O 과 CO_2 가 발생한다. 따라서 ㉠은 O_2 , ㉡은 CO_2 이다.

ㄷ. ATP가 ADP와 무기인산으로 분해되는 과정(가)에서 방출되는 에너지는 물질의 합성, 능동수송, 근육의 수축 등 다양한 생명활동에 이용된다.

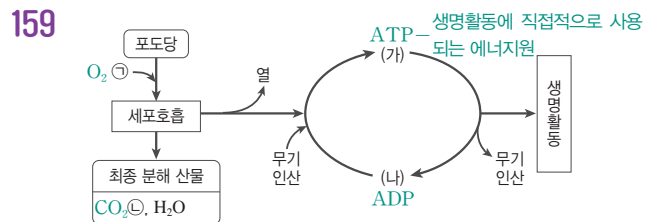
바로알기 | ㄴ. 세포호흡 과정에서 포도당에 저장된 에너지의 일부는 ATP에 저장되고, 나머지는 열로 방출된다.

158 (가)는 빛에너지를 흡수하여 이산화 탄소와 물을 포도당으로 합성하는 광합성, (나)는 포도당이 분해되어 이산화 탄소와 물이 생성되는 세포호흡이다.

ㄷ. 물질대사인 광합성(가)과 세포호흡(나)에 모두 효소가 관여한다.

바로알기 | ㄱ. 광합성(가)이 일어날 때 에너지가 흡수된다.

ㄴ. ADP와 무기인산이 결합하여 ATP가 합성될 때 세포호흡에서 발생한 에너지가 흡수되므로 1분자당 에너지량은 ATP가 ADP보다 많다.



ㄴ. ATP(가)는 생명활동에 직접적으로 사용되는 에너지원으로, ATP(가)에 저장된 에너지는 다양한 생명활동에 직접 이용된다.

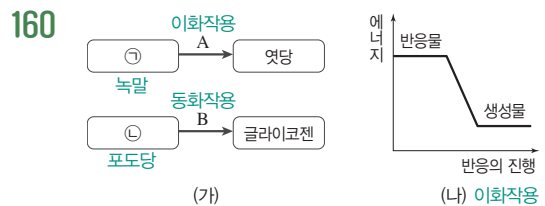
ㄷ. 무기인산과 (나)가 결합하여 (가)로 전환되므로 (가)는 ATP, (나)는 ADP이다. 1분자당 인산기 수는 ATP(가)가 3이고, ADP(나)가 2이다.

바로알기 | ㄱ. 단백질이 세포호흡을 통해 분해될 때 CO_2 (㉡)가 발생한다.

최고 수준 도전 기출

52쪽~53쪽

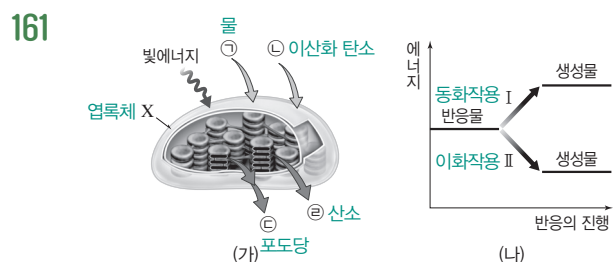
160 ① 161 ② 162 ④ 163 ③ 164 ④ 165 ⑤



ㄱ. A에서 (나)와 같은 에너지 변화가 나타났으므로 A는 이화작용이며, ㉠은 녹말이고, ㉡은 포도당이다.

바로알기 | ㄴ. 포도당(㉡)이 글라이코젠으로 합성되는 반응(B)은 동화작용이다.

ㄷ. 1분자당 에너지량은 포도당(㉡)이 글라이코젠보다 적다.



ㄴ. 식물의 엽록체(X)에서 빛에너지를 흡수하여 물과 이산화 탄소로부터 포도당을 합성하고 산소가 발생하는 광합성이 일어난다. 따라서 엽록체(X)에서 광합성이 일어날 때 I과 같은 에너지 변화가 나타난다.

바로알기 | ㄱ. 한 분자당 에너지량은 포도당(㉔)이 이산화 탄소(㉒)보다 많다. 따라서 ㉒의 한 분자당 에너지량 < 1이다.
㉔의 한 분자당 에너지량

ㄷ. ㉑은 물, ㉒은 이산화 탄소, ㉓은 포도당, ㉔은 산소이다.

162

• 1일 에너지 섭취량

학생	1일 에너지 섭취량(kcal)
A	2000+800+400=3200
B	2300+1020+300=3620

• A의 활동별 에너지 소비량

활동	에너지 소비량(kcal/kg·h)	활동한 시간(h)	하루 동안 활동별로 소비한 에너지량(kcal)
식사	1.6	3	$1.6 \times 3 \times 60 = 288$
공부	1.9	7	$1.9 \times 7 \times 60 = 798$
수면	0.9	7	$0.9 \times 7 \times 60 = 378$
걷기	3.0	3	$3 \times 3 \times 60 = 540$
대화	1.6	2	$1.6 \times 2 \times 60 = 192$
야구	8.0	2	$8 \times 2 \times 60 = 960$

→ A의 1일 에너지 소비량

$288+798+378+540+192+960=3156$ kcal

• B의 활동별 에너지 소비량

활동	에너지 소비량(kcal/kg·h)	활동한 시간(h)	하루 동안 활동별로 소비한 에너지량(kcal)
식사	1.6	4	$1.6 \times 4 \times 65 = 416$
공부	1.9	6	$1.9 \times 6 \times 65 = 741$
수면	0.9	8	$0.9 \times 8 \times 65 = 468$
걷기	3.0	2	$3 \times 2 \times 65 = 390$
대화	1.6	1	$1.6 \times 1 \times 65 = 104$
야구	8.0	3	$8 \times 3 \times 65 = 1560$

→ B의 1일 에너지 소비량

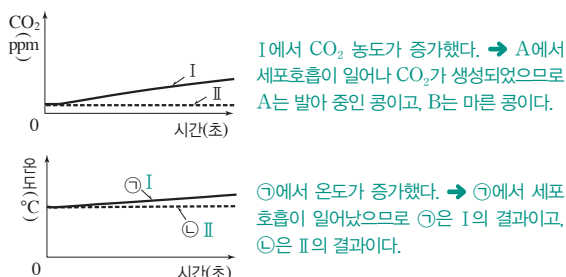
$416+741+468+390+104+1560=3679$ kcal

ㄴ. B가 하루 동안 각 활동에 소비한 에너지량은 식사 416 kcal, 공부 741 kcal, 수면 468 kcal, 걷기 390 kcal, 대화 104 kcal, 야구 1560 kcal이다. 따라서 B가 하루 동안 가장 많은 에너지를 소비한 활동은 야구이다.

ㄷ. 지방의 에너지량은 9 kcal/g, 단백질의 에너지량은 4 kcal/g이므로 A가 하루 동안 섭취한 지방의 양은 약 88.9 g($\approx 800 \div 9$)이고, B가 하루 동안 섭취한 단백질의 양은 75 g($= 300 \div 4$)이다.

바로알기 | ㄱ. A의 에너지 섭취량은 $2000+800+400=3200$ kcal이고, 에너지 소비량은 3156 kcal이다. A는 에너지 섭취량이 에너지 소비량보다 많으므로 에너지 과잉 상태이다. 에너지 과잉 상태가 지속되면 체중이 증가하고 비만이 나타날 확률이 높다.

163



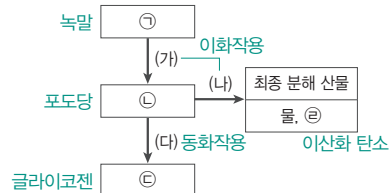
ㄱ. I에서 CO₂ 농도가 증가했으므로 A에서 세포호흡이 일어나 CO₂

가 생성되었음을 알 수 있다. 따라서 A는 발아 중인 콩, B는 마른 콩이다. ㉑에서 온도가 증가했으므로 ㉑에서 세포호흡이 일어났음을 알 수 있다. 따라서 ㉑은 I의 결과, ㉒은 II의 결과이다.

ㄴ. II의 결과 마른 콩(B)에서는 세포호흡이 일어나지 않음을 알 수 있다. 콩을 삶으면 효소가 기능을 잃게 되어 세포호흡이 일어나지 않는다. 따라서 II에 마른 콩(B) 대신 삶은 콩을 사용해도 (다)와 같은 결과를 얻을 수 있다.

바로알기 | ㄷ. 발아 중인 콩(A)에서 세포호흡이 일어나고, 이때 발생하는 에너지 중 일부가 열에너지로 방출된다.

164



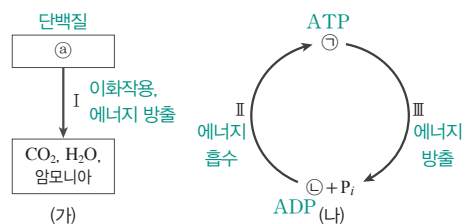
사람의 몸에서 녹말은 분해되어 포도당으로 전환(가)되고, 포도당은 세포호흡을 통해 최종 분해 산물인 물과 이산화 탄소로 전환(나)되거나 글라이코젠으로 전환(다)되어 저장된다. 따라서 ㉑은 녹말, ㉒은 포도당, ㉔은 글라이코젠, ㉓은 이산화 탄소이다.

ㄴ. 녹말이 포도당으로 전환되는 과정(가)과 포도당이 세포호흡을 통해 분해되는 과정(나)은 모두 이화작용이다.

ㄷ. 물질대사 과정에서 효소가 관여하므로 (가)~(다) 과정에 모두 효소가 이용된다.

바로알기 | ㄱ. ㉑은 녹말, ㉒은 포도당, ㉔은 글라이코젠, ㉓은 이산화 탄소이다.

165



ㄱ. 단백질이 세포호흡을 통해 분해되면 CO₂, H₂O, 암모니아가 생성되므로 ㉓은 단백질이다.

ㄴ. ATP는 ADP와 무기인산으로 분해되고, ADP는 무기인산과 결합하여 ATP로 합성되므로 ㉑은 ATP이고, ㉒은 ADP이다. ATP(㉑)와 ADP(㉒)는 모두 인산기를 갖는다.

ㄷ. 과정 I과 III에서 모두 에너지가 방출되고, 과정 II에서 에너지가 흡수된다.

08 효소의 작용 원리

빈출 자료 보기

55쪽

166 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) ○ (6) ×

167 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) × (6) ○

166 (1) ㉠은 반응물, ㉡은 생성물이다.

(2) 화학 반응이 일어나는 데 필요한 최소한의 에너지를 활성화에너지라고 하며, A는 효소가 없을 때의 활성화에너지이다.

(5) D는 반응물과 생성물의 에너지 차이인 반응열이며, 효소의 유무와 관계없이 일정하다.

바로알기 | (3) B+D가 효소가 있을 때의 활성화에너지이다.

(4) 반응열은 반응물과 생성물의 에너지 차이로 D이다.

(6) 반응이 진행될수록 반응물(㉠)의 농도는 감소하고, 생성물(㉡)의 농도는 증가한다.

167 (1) A는 효소에서 단백질 부분으로 주효소이다.

(3) 주효소(A)의 주성분은 단백질이다.

(4) 주효소(A)에 보조인자(B)가 결합하여 전효소(D)가 되어야 기질(C)이 결합해 효소기질복합체를 형성할 수 있다.

(6) 주효소(A)에 보조인자(B)가 결합하여 완전한 기능을 나타내는 효소를 전효소(D)라고 한다.

바로알기 | (2) 금속 이온과 조효소는 보조인자(B)에 해당한다.

(5) 보조인자(B)는 비단백질 성분이므로 열과 pH에 의해 쉽게 변성되지 않는다.

난이도별 필수 기출

56쪽~61쪽

168 ④	169 ⑤	170 해설 참조	171 ②
172 ⑤, ⑥	173 ③	174 ①	175 ④, ⑥
176 ②	177 ③	178 ②	179 ③
181 ④	182 ⑤	183 해설 참조	184 ④
186 ②	187 ③	188 ①	189 ②
191 ③	192 ③	190 ②, ③	

168 ① 효소의 주성분은 단백질이며, 일부 효소는 단백질로만 이루어져 있고, 단백질과 비단백질 부분으로 이루어진 효소도 있다.

②, ③ 효소는 기질과 결합하여 효소기질복합체를 형성하는데, 효소는 활성부위와 입체 구조가 들어맞는 기질과만 결합한다.

⑤ 효소는 화학 반응을 촉매하는 과정에서 반응물과 일시적으로 결합하여 활성화에너지를 낮추고, 이를 통해 화학 반응을 빠르게 일어나게 한다.

바로알기 | ④ 효소는 화학 반응 전후에 구조와 성질이 변하지 않으므로 화학 반응에 다시 사용될 수 있다.

169 ①, ②, ③ 효소는 활성화에너지를 낮추어 화학 반응을 빠르게 일어나게 하는 생체촉매이므로 A는 효소가 없을 때의 활성화에너지, B는 효소가 있을 때의 활성화에너지이다.

④ 화학 반응을 일으키는 데 필요한 최소한의 에너지를 활성화에너지라고 한다.

바로알기 | ⑤ C는 반응열이며, 반응물의 에너지와 생성물의 에너지의 차이이고 효소의 유무와 관계없이 크기가 일정하다.

170 **모범 답안** B, 효소는 활성화에너지를 낮추어 화학 반응을 빠르게 일어나게 하므로 활성화에너지가 낮은 B가 효소가 있을 때의 에너지 변화이다.

채점 기준	배점
B라고 쓰고, 그렇게 판단한 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
B라고만 쓴 경우	30 %

171 ㄴ. (가)에서 효소 A는 이화작용을 촉매하고, 효소 B는 동화작용을 촉매한다. (나)에서 반응물의 에너지량이 생성물의 에너지량보다 많으므로 (나)는 효소 A에 의한 촉매 반응에서의 에너지 변화이다.

바로알기 | ㄱ. (나)에서 E는 효소가 없을 때의 활성화에너지와 효소가 있을 때의 활성화에너지의 차이이다.

ㄷ. 효소의 농도와 상관없이 반응물의 에너지와 생성물의 에너지의 차이인 반응열은 같다.

172 ① B는 반응 전후에 구조나 성질이 변하지 않으므로 효소이고, 효소와 결합하는 A는 기질이다.

② 효소(B)의 주성분은 단백질이다.

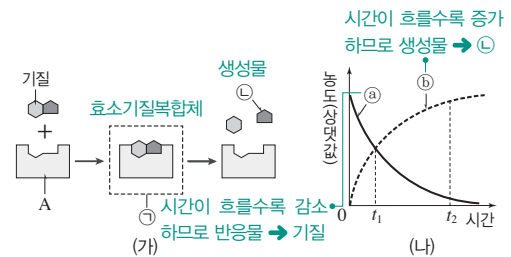
③ 기질(A)은 효소(B)의 활성부위에 결합하여 효소기질복합체(C)를 형성한다.

④ 효소(B)는 활성부위와 입체 구조가 들어맞는 기질(A)과만 결합하는데, 이를 기질특이성이라고 한다.

바로알기 | ⑤ 화학 반응 전후에 효소(B)의 구조와 성질이 달라지지 않으며, 생성물과 분리된 후 다시 화학 반응에 사용된다.

⑥ C는 효소와 기질이 결합한 효소기질복합체이며, 효소기질복합체(C)가 형성되면 활성화에너지가 낮아진다.

173



ㄱ. ㉠은 기질, ㉡은 생성물(㉢)이다.

ㄴ. t_1 일 때가 t_2 일 때보다 그래프의 곡선 기울기가 가파르므로 A에 의한 반응 속도가 빠르다. 효소기질복합체(㉢)의 농도가 높을수록 A에 의한 반응 속도가 빠르므로 효소기질복합체(㉢)의 양은 t_1 일 때가 t_2 일 때보다 많다.

바로알기 | ㄷ. A는 기질을 생성물(㉢)과 다른 물질로 분해한다. 따라서 A에 의해 기질이 생성물(㉢)로 분해된다.

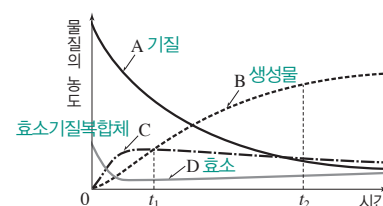
174 A는 효소, B는 기질이고, ㉠은 활성화에너지, ㉡은 반응열이다.

ㄱ. 활성화에너지(㉠)는 효소(A)의 유무에 따라 달라지지만, 효소(A)의 농도에 따라 달라지지는 않는다. 따라서 (가)에서 효소(A)의 농도가 증가하더라도 ㉠은 변화 없다.

바로알기 | ㄴ. 반응열(㉡)은 반응물의 에너지와 생성물의 에너지의 차이로 기질(B)의 농도가 증가하더라도 변화 없다.

ㄷ. 이 반응에서 활성화에너지의 크기는 ㉠이다.

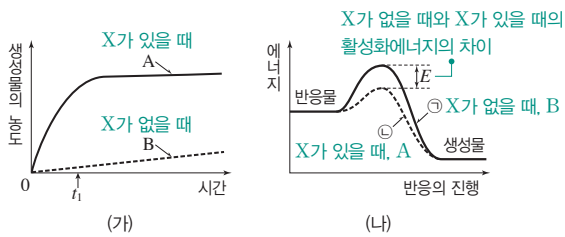
175



t_1 일 때가 t_2 일 때보다 효소기질복합체(C)의 농도가 높다. → 효소에 의한 반응 속도는 t_1 일 때가 t_2 일 때보다 빠르다.

- ① 반응 초기에 증가하다가 반응이 진행될수록 감소하므로 C는 효소 기질복합체이다.
- ② 반응 초기에 감소하다가 반응이 진행될수록 증가하므로 D는 효소이다.
- ③ 반응이 진행될수록 기질은 감소하고 생성물은 증가하므로 A는 기질, B는 생성물이다. 생성물(B)의 농도는 t_1 일 때가 t_2 일 때보다 낮다.
- ⑤ t_1 일 때가 t_2 일 때보다 효소기질복합체(C)의 농도가 높으므로 효소에 의한 반응 속도는 t_1 일 때가 t_2 일 때보다 빠르다.
- 바로알기 |** ④ t_2 일 때 효소(D)의 양이 0이 아니므로 기질과 결합하지 않은 효소(D)가 있다. 따라서 t_2 일 때 기질(A)이 모두 효소(D)와 결합한 것은 아니다.
- ⑥ 이 효소에 의한 반응의 활성화에너지는 항상 일정하다.

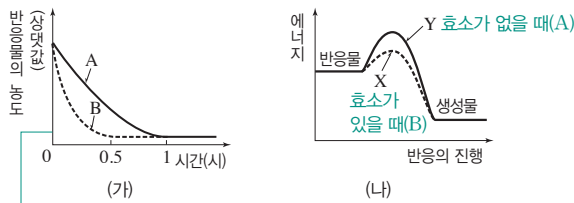
176



ㄷ. 반응 속도는 생성물이 증가하는 속도 또는 반응물이 감소하는 속도이므로 X가 있을 때(A)가 X가 없을 때(B)보다 반응물이 더 빠르게 감소한다. 따라서 t_1 일 때 반응물의 농도는 X가 없을 때(B)가 X가 있을 때(A)보다 높다.

바로알기 | ㄴ. ㉠은 X가 없을 때(B), ㉡은 X가 있을 때(A)이다.
ㄴ. E는 X가 없을 때(B)와 X가 있을 때(A)의 활성화에너지의 차이이다.

177



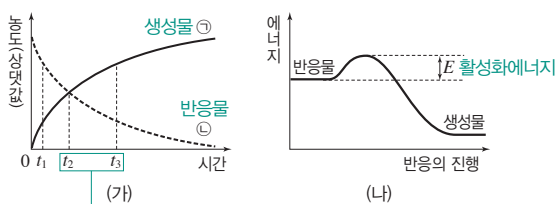
A보다 B에서 반응물의 농도가 더 빠르게 감소하므로 A는 효소가 없을 때이고 B는 효소가 있을 때이다.

ㄴ. (가)의 B에서 A에서보다 반응물의 농도가 더 빠르게 감소하므로 A는 효소가 없을 때이고 B는 효소가 있을 때이다. (나)의 Y에서 X에서보다 활성화에너지가 더 크므로 Y는 효소가 없을 때(A)이고 X는 효소가 있을 때(B)이다.

ㄴ. (가)에서 1시간 후 반응물의 농도가 A와 B에서 같으므로 생성물의 농도도 A와 B에서 같다.

바로알기 | ㄷ. 효소의 유무와 상관없이 반응물의 에너지량과 생성물의 에너지량의 차이인 반응열은 같으므로 효소가 없을 때(A)와 효소가 있을 때(B) 반응물의 에너지량과 생성물의 에너지량 차이는 같다.

178



t_2 일 때가 t_3 일 때보다 그래프의 곡선 기울기가 가파르다.
→ 반응 속도는 t_2 일 때가 t_3 일 때보다 빠르다.

ㄴ. E는 화학 반응이 일어나는 데 필요한 최소한의 에너지인 활성화에너지로, 효소의 유무에 따라 달라지지만 기질의 농도, 효소의 농도, 효

소기질복합체의 농도 변화에 영향을 받지 않는다. 따라서 E는 t_1 , t_2 , t_3 일 때 모두 같다.

바로알기 | ㄴ. ㉠은 생성물, ㉡은 반응물이다.

ㄷ. t_2 일 때가 t_3 일 때보다 그래프의 곡선 기울기가 가파르므로 반응 속도는 t_2 일 때가 t_3 일 때보다 빠르다.

179

①, ④ 효소에서 단백질 부분을 주효소, 효소의 작용을 도와주는 비단백질 부분을 보조인자라고 한다. 주효소와 보조인자가 결합하여 완전한 기능을 나타내는 전효소를 형성한다.

② 보조인자에는 아연, 철, 마그네슘 등의 금속 이온과 NAD^+ , FAD, $NADP^+$ 등과 같은 조효소가 있다.

⑤ NAD^+ , FAD와 같이 한 종류의 조효소가 여러 가지 주효소의 보조인자로 작용할 수 있다.

바로알기 | ③ 보조인자는 효소의 활성부위에 항상 결합되어 있는 것도 있고, 기질이 결합할 때 활성부위에 결합하는 것도 있다.

180

A는 보조인자, B는 기질, ㉠은 효소기질복합체이다.

① 보조인자(A)는 효소의 비단백질 부분이다.

③ X는 주효소이며, 주효소의 주성분은 단백질이다.

⑤ 보조인자(A)와 주효소(X)가 결합하여 완전한 기능을 나타내는 전효소를 이룬다.

⑥ 주효소(X)에 보조인자(A)가 결합해야 활성부위에 기질이 결합할 수 있는 형태가 된다. 따라서 보조인자(A)가 없으면 주효소(X)에 의한 반응은 일어나지 않는다.

⑦ 효소기질복합체(㉠)가 형성되면 활성화에너지가 감소한다.

바로알기 | ② 보조인자(A)는 비단백질 부분이므로 열과 pH에 의해 쉽게 변성되지 않는다.

④ 보조인자(A)는 주효소에 일시적으로 결합하여 활성부위의 구조를 기질과 결합하기 적합한 형태로 만들어 기질(B)의 분해를 촉진한다.

181

(가) X, Y, ㉠열처리한 X, ㉡열처리한 Y를 준비한다.
주효소 보조인자 변성 변성되지 않음

(나) 시험관 I~VI에 표와 같이 물질을 첨가한다.

(다) (나)의 시험관에 기질을 넣고 반응시킨 후 생성물 유무를 확인한다.

시험관	I	II	III	IV	V	VI
첨가물	X	Y	X, Y	X, ㉡	㉠, Y	㉠, ㉡
생성물	×	×	○	? ○	㉠ ×	㉡ ×

(○: 있음, ×: 없음)

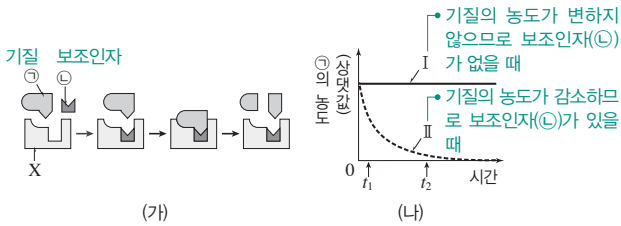
I과 II에서 생성물이 없으므로 주효소(X)만 또는 보조인자(Y)만 있을 때 효소는 작용을 하지 못하며, III에서 생성물이 있으므로 주효소(X)와 보조인자(Y)가 모두 있을 때 효소가 작용을 한다. IV에서 열처리한 보조인자(Y)는 변성되지 않으므로 효소가 작용을 하여 생성물이 있다. V와 VI에서 열처리한 주효소(X)는 변성되어 효소가 작용을 하지 못해 생성물이 없다.

ㄴ. X는 주효소이며, 단백질로 이루어져 있어 열과 pH에 의해 쉽게 변성된다. V와 VI에서는 열처리한 주효소(X)인 ㉠을 첨가하여 효소가 작용을 하지 못해 생성물이 없다. 따라서 ㉠과 ㉡은 모두 '×'이다.

ㄷ. 보조인자(Y)는 비단백질 성분으로 열에 의해 변성되지 않는다. 따라서 (다)의 IV에서 주효소(X)의 활성부위에 결합한 후 기질이 결합하여 효소기질복합체가 형성되었다.

바로알기 | ㄴ. 주효소(X)는 보조인자(Y)보다 열에 의한 영향을 많이 받는다.

[182~183]



182 ① ㉠은 기질, ㉢은 보조인자이다.

② 주효소(X)에 보조인자(㉢)가 결합해야 활성부위에 기질(㉠)이 결합할 수 있다.

③ 효소에 의한 반응에서 반응 속도는 기질(㉠)의 농도가 감소하는 속도이다. I에서 기질(㉠)의 농도가 변하지 않으므로 반응 속도는 0으로 일정하다.

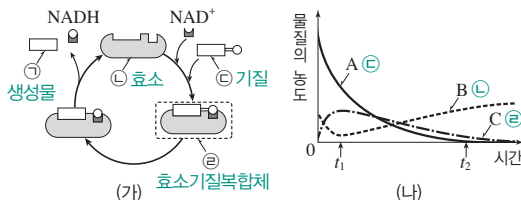
④ 기질(㉠)의 농도가 감소할수록 생성물의 농도가 증가하므로 II에서 생성물의 농도는 t_2 일 때가 t_1 일 때보다 높다.

바로알기 | ⑤ t_1 일 때가 t_2 일 때보다 그래프 곡선의 기울기가 가파르므로 II에서 반응 속도는 t_1 일 때가 t_2 일 때보다 빠르다.

183 **모범 답안** II, X와 보조인자가 결합하여 전효소가 되어야 기질을 생성물로 전환시킬 수 있다. I에서는 시간이 지나도 기질(㉠)의 농도가 변하지 않으므로 I은 보조인자(㉢)가 없을 때이고, II에서는 시간이 지남에 따라 기질(㉠)의 농도가 감소하므로 II는 보조인자(㉢)가 있을 때이다.

채점 기준	배점
II라고 쓰고 그렇게 판단한 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
II라고만 쓴 경우	30 %

184



기질이 생성물로 전환되므로 반응이 진행될수록 기질의 농도는 감소하므로 A는 기질(㉠)이며, 반응이 진행될수록 기질의 농도가 감소하면서 생성물과 분리된 효소의 농도는 증가하고 기질과 결합한 효소기질복합체는 감소하므로 B는 효소(㉢), C는 효소기질복합체(㉡)이다.

ㄴ. 생성물(㉡)의 농도는 반응이 진행될수록 증가하므로 t_2 일 때가 t_1 일 때보다 높다.

ㄷ. 주효소(㉢)와 NAD^+ 가 결합한 후 기질(㉠)이 결합하여 효소기질복합체(C)가 형성된다.

바로알기 | ㄱ. A는 기질(㉠), B는 효소(㉢), C는 효소기질복합체(㉡)이다.

185 ① 산화환원효소는 산화환원반응에서 수소나 산소 또는 전자를 다른 분자에 전달한다.

② 전이효소는 특정 기질에서 작용기를 떼어 다른 분자에 전달한다.

④ 제거효소는 가수분해와 산화 이외의 반응으로 작용기를 기질에서 제거하거나 기질에 첨가한다.

⑤ 연결효소는 에너지(ATP)를 사용하여 두 기질을 연결한다.

바로알기 | ③ 가수분해효소는 물을 첨가하여 기질을 분해하는 효소이며, 원자의 배열을 바꾸어 이성질체를 형성하는 데 관여하는 효소는 이성질화효소이다.

186 (가)는 전자를 이동시켜 물질의 산화, 환원을 촉진하는 효소이므로 산화환원효소이다. (나)는 물 분자를 첨가하여 기질을 분해하는 효소이므로 가수분해효소이다. (다)는 작용기를 제거하여 이중결합을 형성하거나 이중결합에 작용기를 첨가하여 결합을 촉진하는 효소이므로 제거효소이다.

187 ㄱ. (가)는 산화환원효소, (나)는 가수분해효소, (다)는 이성질화효소이다.

ㄴ. 라이소솜은 다양한 가수분해효소(나)가 들어 있어 세포 밖에서 들어온 이물질이나 세포 내 손상된 세포소기관, 노폐물 등을 분해한다.

바로알기 | ㄷ. 아밀레이스와 같은 대부분의 소화효소는 가수분해효소(나)에 해당한다.

188 ㄱ. (가)는 기질의 원자 배열을 바꾸어 성질이 다른 물질로 만드는 이성질화효소이다.

바로알기 | ㄴ. (나)는 작용기를 한 분자에서 다른 분자로 이동시키는 전이효소이다.

ㄷ. (다)는 에너지를 사용하여 두 기질 분자를 연결하는 연결효소이다.

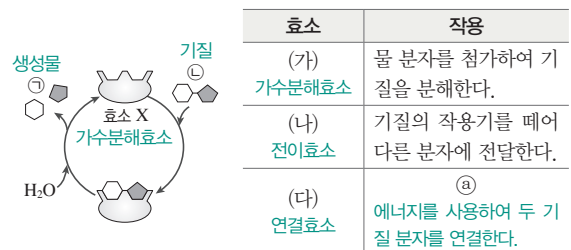
189 X에 의한 반응은 물이 첨가되며 고분자 물질이 저분자 물질로 분해되는 반응이며, 발열 반응에 해당한다. Y에 의한 반응은 저분자 물질에서 물이 빠져나오며 고분자 물질로 합성되는 반응이며, 흡열 반응에 해당한다.

ㄷ. (나)는 발열 반응에 해당하므로 X에 의한 반응에서의 에너지 변화이다.

바로알기 | ㄱ. X는 물 분자를 첨가하여 기질을 분해하므로 가수분해효소이다.

ㄴ. (나)에서 활성화에너지는 E_1 이다.

190



① ㉠은 생성물, ㉡은 기질이다.

④ 연결효소(다)의 주성분은 단백질이다.

⑤ (다)는 연결효소이므로 '에너지를 사용하여 두 기질 분자를 연결한다.'는 ④에 해당한다.

바로알기 | ② X는 가수분해효소(가)에 해당한다.

③ (가)는 가수분해효소, (나)는 전이효소, (다)는 연결효소이다.

191 (가)는 가수분해효소, (나)는 제거효소이다.

ㄱ. 라이소솜에는 여러 종류의 가수분해효소가 들어 있으므로 라이소솜에는 가수분해효소(가)가 있다.

ㄷ. ㉠은 반응열이며, 반응물의 에너지와 생성물의 에너지 차이이다. 반응열(㉡)은 효소의 농도와 상관없이 크기가 일정하므로 X의 농도가 증가해도 ㉠의 크기는 변하지 않는다.

바로알기 | ㄴ. X가 없을 때의 활성화에너지는 ㉠이다.

192 ㄱ. ㉠은 기질의 인산기를 떼어 ATP로 옮겨주는 전이효소이므로 ㉠은 전이효소(가)이다.

ㄴ. (가)는 전이효소, (나)는 연결효소이다.

바로알기 | ㄷ. 소화효소는 가수분해효소에 해당하므로 전이효소(가)에 해당하지 않는다.

09 효소의 작용에 영향을 미치는 요인

빈출 자료 보기

63쪽

193 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ○ (6) × (7) ×

193 S₁일 때 Ⅱ와 Ⅲ에서보다 I에서 초기 반응 속도가 빠르므로 I은 효소억제제가 없을 때이고, Ⅱ와 Ⅲ은 효소억제제가 있을 때이다. Ⅱ는 기질의 농도가 높아지면 초기 반응 속도가 효소억제제가 없을 때인 I에서와 같아지므로 경쟁적 억제제(㉔)가 있을 때이다. Ⅲ은 초기 반응 속도의 최댓값이 효소억제제가 없을 때인 I보다 작으므로 비경쟁적 억제제(㉕)가 있을 때이다.

(1) ㉔는 비경쟁적 억제제, ㉕는 경쟁적 억제제이다.

(3) Ⅱ는 경쟁적 억제제(㉔)가 있을 때, Ⅲ은 비경쟁적 억제제(㉕)가 있을 때이다.

(4) 기질의 농도가 높아지면 경쟁적 억제제(㉔)에 의한 억제 효과는 감소하다가 사라진다.

(5) I에서 효소기질복합체의 농도는 초기 반응 속도가 빠른 S₂일 때가 S₁일 때보다 높다.

바로알기 | (2) 비경쟁적 억제제(㉔)는 X의 활성부위가 아닌 다른 부위에 결합하고, 경쟁적 억제제(㉕)는 X의 활성부위에 결합한다.

(6) X에 의한 활성화에너지는 기질의 농도에 따라 달라지지 않으므로, S₁일 때와 S₂일 때가 동일하다.

(7) S₁일 때 I에서가 Ⅲ에서보다 초기 반응 속도가 빠르므로 기질과 결합하지 않은 X의 수는 I에서가 Ⅲ에서보다 적고, X의 총 수는 I과 Ⅲ에서 같다.

난이도별 필수 기출

64쪽~69쪽

194 ⑤	195 ④	196 ⑤	197 ①, ⑥	198 ③
199 ⑤	200 ②, ④	201 ②	202 ②	203 ①
204 ②	205 해설 참조	206 ④	207 ①	
208 해설 참조	209 ①	210 ③	211 ①	212 ⑤
213 ④	214 해설 참조	215 ③	216 ③	217 ⑤

194 ㄱ. (가)의 반응 속도가 최대일 때의 온도는 40℃ 정도이고, (나)의 반응 속도가 최대일 때의 온도는 80℃보다 높으므로 (가)와 (나)의 최적온도는 서로 다르다.

ㄴ. (나)의 최적온도는 80℃보다 높고, 이때 (가)의 반응 속도는 0이므로 (가)는 활성을 잃어 작용하지 않는다.

ㄷ. 효소의 주성분인 단백질은 온도에 따라 입체 구조가 달라지므로 60℃일 때 (가)의 입체 구조가 변한다.

195 ㄴ. pH 7일 때 효소의 반응 속도는 B에서가 C에서보다 빠르므로, pH 7일 때 효소의 활성은 B에서가 C에서보다 높다.

ㄷ. A의 최적 pH는 2, B의 최적 pH는 7, C의 최적 pH는 8이므로 효소의 최적 pH는 효소에 따라 다르다.

바로알기 | ㄱ. A의 최적 pH는 2이고, C의 최적 pH는 8이므로 A와 C는 같은 소화기관에서 작용하지 않는다.

196 최적 pH가 2인 A는 펩신, 최적 pH가 7인 B는 아밀레이스, 최적 pH가 8인 C는 트립신이다.

ㄱ. 최적 pH가 2인 펩신은 pH 8에서 입체 구조가 변해 기능을 잃는다.

ㄴ. A는 펩신, B는 아밀레이스, C는 트립신이다.

ㄷ. 펩신(A)과 아밀레이스(B)의 최적 pH가 서로 다르므로 펩신(A)과 아밀레이스(B)가 작용하는 소화기관은 서로 다르다.

197 ② 최적온도보다 높은 온도일 때 효소의 주성분인 단백질의 입체 구조가 변하여 효소기질복합체의 형성이 어려워져 반응 속도가 급격히 감소한다.

③ 효소의 활성은 온도의 영향을 받는다. A의 반응 속도는 30℃일 때가 10℃일 때보다 빠르므로 A는 10℃일 때보다 30℃일 때 기질과 더 잘 결합한다.

④ A의 반응 속도는 pH 2에서가 pH 1에서보다 빠르므로 A의 활성은 pH 2에서가 pH 1에서보다 높다.

⑤ B에서 반응 속도는 pH 7에서가 pH 5에서보다 빠르므로 B의 입체 구조는 pH 5에서와 pH 7에서가 서로 다르다.

바로알기 | ① 사람의 소화효소의 최적온도는 소화기관에 상관없이 체온 범위인 35℃~40℃이다.

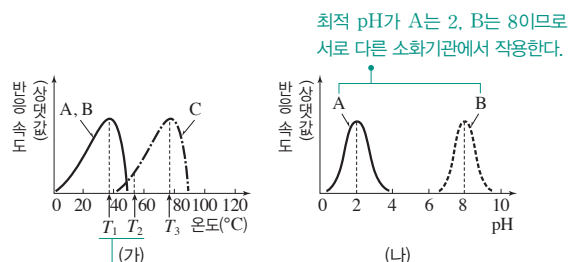
⑥ B의 최적 pH는 7이고, C의 최적 pH는 8이다. C의 최적 pH인 8에서 B의 반응 속도는 0보다 크므로 pH가 8일 때 B가 작용한다.

198 ㄱ. ㉔의 최적온도는 37℃ 정도이고, ㉕의 최적온도는 80℃ 정도이므로, ㉔은 사람의 효소이고 ㉕은 내열성 세균의 효소이다.

ㄴ. (가)에서 ㉔의 활성이 가장 높을 때의 온도는 반응 속도가 최대인 37℃ 정도이고, ㉕의 활성이 가장 높을 때의 온도는 반응 속도가 최대인 80℃ 정도이므로, (가)에서 ㉔의 활성이 가장 높을 때의 온도는 ㉕의 활성이 가장 높을 때의 온도보다 낮다.

바로알기 | ㄷ. (나)에서 ㉔의 반응 속도는 pH 2에서가 pH 4에서보다 빠르므로 단위 시간당 형성되는 효소기질복합체의 양은 pH 2에서가 pH 4에서보다 많다.

199



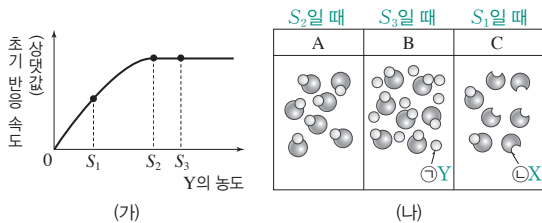
최적온도에서 효소의 반응 속도가 가장 빠르므로 B의 경우 T₁에서가 T₂에서보다 단위 시간당 분해되는 단백질의 양이 많다.

ㄱ. A와 B에 의한 반응에서 온도에 따른 반응 속도는 동일하지만, 최적 pH는 A가 2, B가 8이므로 A와 B는 서로 다른 소화기관에서 작용한다.

ㄴ. T_2 에서는 B를 구성하는 단백질의 입체 구조가 변해 기능을 상실하므로, B에 의한 반응이 일어날 때 단위 시간당 분해되는 단백질의 양은 T_1 에서가 T_2 에서보다 많다.

ㄷ. 효소기질복합체가 많을수록 효소의 반응 속도가 증가하므로, C와 결합한 기질의 양은 T_3 에서가 T_2 에서보다 많다.

200



S_1 일 때 기질과 결합하지 않은 X가 있고, S_2 일 때와 S_3 일 때 모든 X가 Y와 결합해 있다. → ㉠은 Y이고, ㉡은 X이다.

② X의 농도가 일정할 때 Y의 농도가 증가할수록 반응 속도가 증가하다가 Y의 농도가 일정 수준에 이르면 반응 속도가 더 이상 증가하지 않고 일정해진다. 따라서 ㉠은 Y이고, ㉡은 X이다.

④ S_3 일 때 X와 결합하지 못한 Y가 있는 상태이므로 X를 더 넣어 주면 초기 반응 속도가 증가할 것이다.

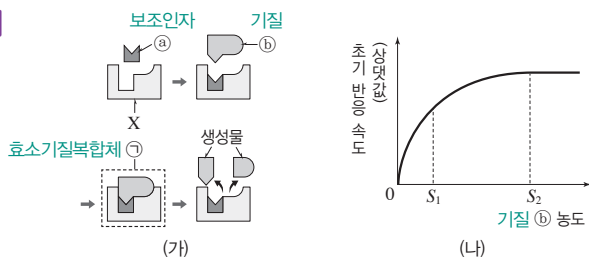
바로알기 | ① A는 모든 X(㉡)가 모든 Y(㉠)와 결합한 상태이므로 S_2 일 때 효소기질복합체의 생성 정도이고, B는 X(㉡)와 결합하지 못한 Y(㉠)가 있는 상태이므로 S_3 일 때 효소기질복합체의 생성 정도이며, C는 Y(㉠)와 결합하지 못한 X(㉡)가 있는 상태이므로 S_1 일 때 효소기질복합체의 생성 정도이다.

③ S_1 일 때 Y(㉠)와 결합하지 못한 X(㉡)가 있고 S_2 일 때 모든 X(㉡)가 모든 Y(㉠)와 결합한 상태이므로 효소기질복합체의 농도는 S_1 일 때가 S_2 일 때보다 낮다.

⑤ B(S_3)는 X(㉡)가 모두 Y(㉠)와 결합하여 효소기질복합체를 형성하고, X(㉡)와 결합하지 못한 Y(㉠)가 있는 상태이므로 Y(㉠)를 더 넣어 주어도 초기 반응 속도가 증가하지 않는다.

⑥ S_1 일 때가 S_2 일 때보다 초기 반응 속도가 느리므로 Y(㉠)와 결합하지 않은 X(㉡)의 수는 S_1 일 때가 S_2 일 때보다 많고, X(㉡)의 총 수는 S_1 일 때와 S_2 일 때가 같다.

201



효소기질복합체(㉠)의 농도는 S_2 일 때가 S_1 일 때보다 높다.

ㄷ. 효소기질복합체(㉠)가 많을수록 초기 반응 속도가 빠르므로, 효소기질복합체(㉠)의 농도는 S_2 일 때가 S_1 일 때보다 높다.

바로알기 | ㄱ. 보조인자(㉠)는 효소의 비단백질 부분이다.

ㄴ. X는 기질을 분해하는 효소이다. 이성질화효소는 기질의 원자 배열을 바꾸어 성질이 다른 물질로 만든다.

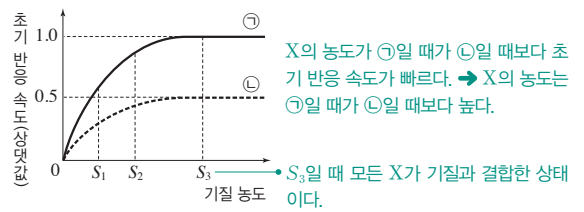
202 ㉠은 기질, ㉡은 X, ㉢은 효소기질복합체이다.

ㄴ. 효소기질복합체(㉢)의 농도가 높을수록 효소에 의한 반응 속도가 증가하므로 효소기질복합체(㉢)의 농도는 S_1 일 때가 S_2 일 때보다 낮다.

바로알기 | ㄱ. X는 기질을 분해하는 효소이다. 산화환원효소는 수소나 산소 또는 전자를 다른 분자에 전달하는 효소이다.

ㄷ. X에 의한 반응의 활성화에너지는 S_1 일 때와 S_2 일 때가 같다.

203



X의 농도가 ㉠일 때가 ㉡일 때보다 초기 반응 속도가 빠르다. → X의 농도는 ㉠일 때가 ㉡일 때보다 높다.

ㄴ. X의 농도가 ㉡일 때 초기 반응 속도는 S_2 일 때가 S_1 일 때보다 빠르므로, 단위 시간당 생성되는 생성물의 양은 S_2 일 때가 S_1 일 때보다 많다.

바로알기 | ㄱ. 효소에 의한 반응의 활성화에너지는 기질의 농도와 효소의 농도에 의해 달라지지 않으므로, S_2 일 때 X에 의한 반응의 활성화에너지는 ㉠일 때와 ㉡일 때가 같다.

ㄷ. 기질의 농도가 S_3 일 때, X의 농도가 ㉠일 때와 ㉡일 때 모든 X가 기질과 결합한 상태이다. 따라서 S_3 일 때 $\frac{\text{기질과 결합한 X의 수}}{\text{X의 총 수}}$ 는 ㉠일 때와 ㉡일 때 모두 1이다.

204

ㄷ. 감자즙을 문힌 거름종이를 과산화 수소수에 넣으면 감자즙에 들어 있는 카탈레이스가 과산화 수소를 물과 산소로 분해하는 반응을 촉진하고, 이때 발생하는 산소 기체에 의해 거름종이가 떠오른다. 거름종이가 떠오르는 데 걸린 시간은 반응 속도에 반비례하므로 카탈레이스에 의한 반응 속도는 $A > B > C$ 이다.

바로알기 | ㄱ. ㉠은 O_2 이다.

ㄴ. 카탈레이스에 의한 반응의 활성화에너지는 D에서와 A에서가 같다.

205

모범 답안 효소의 주성분인 단백질이 pH에 따라 입체 구조가 변하기 때문에 효소의 작용은 pH의 영향을 받는다.

해설 A, B, C를 비교하면 기질의 농도에 따른 반응 속도 차이를 알 수 있고, A, D, E를 비교하면 pH에 따른 반응 속도 차이를 알 수 있다.

채점 기준	배점
pH가 효소의 작용에 영향을 미치는 요인임을 효소의 주성분과 관련 지어 옳게 서술한 경우	100 %
pH가 효소의 작용에 영향을 미친다는 것만 서술한 경우	50 %

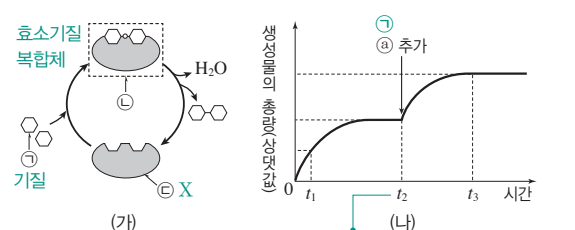
206

ㄱ. 구간 I에서 기질의 농도가 증가해도 초기 반응 속도가 증가하지 않으므로 모든 X가 기질과 결합한 상태이며, ㉠ 추가 후 기질의 농도가 증가함에 따라 초기 반응 속도가 증가하므로 ㉠은 X이다.

ㄷ. 효소기질복합체의 농도가 높을수록 초기 반응 속도가 빠르므로 효소기질복합체의 농도는 S_1 일 때가 S_2 일 때보다 낮다.

바로알기 | ㄴ. 구간 I에서 기질의 농도가 증가해도 초기 반응 속도가 더 이상 증가하지 않으므로 모든 X가 기질과 결합한 상태이다.

207



t_2 일 때 ㉠을 추가하면 생성물의 총량이 증가하므로 ㉠은 기질(㉠)이다.

ㄱ. (나)에서 t_2 일 때 생성물의 총량이 더 이상 증가하지 않고, ㉠을 추가한 후 생성물의 총량이 다시 증가했으므로 ㉠은 기질(㉡)이다.

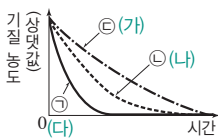
바로알기 | ㄴ. 전이효소는 특정 기질에서 작용기를 떼어 다른 분자에 전달하는 효소이다. 따라서 X는 전이효소가 아니다.

ㄷ. 효소기질복합체(㉢)의 농도가 높을수록 X에 의한 반응 속도가 빠르다. 반응 속도는 시간에 대한 생성물의 총량으로 나타낼 수 있으며, t_1 일 때는 생성물의 총량이 증가하고 있는 시점이므로 반응 속도가 증가하는 시점이고, t_3 일 때는 생성물의 총량이 더 이상 증가하지 않는 시점이므로 반응 속도가 0이다. 따라서 효소기질복합체(㉢)의 농도는 t_1 일 때가 t_3 일 때보다 높다.

208

실험	(가)	(나)	(다)
X의 농도(상댓값)	1	2	2
온도(°C)	10	10	35

- X의 최적온도가 35 °C이다. → 반응 속도는 (다) > (나)이다.
- X의 농도가 높을수록 반응 속도가 빠르다. → 반응 속도는 (나) > (가)이다.



기질 농도가 빠르게 감소할수록 X에 의한 반응 속도가 빠르다. → 반응 속도는 ㉠ > ㉡ > ㉢이다.

모범 답안 ㉠은 (다), ㉡은 (나), ㉢은 (가)의 결과이다. X에 의한 반응에서 반응 속도가 빠를수록 기질 농도가 빠르게 감소하고, 최적온도에서 반응 속도는 최대가 된다. 따라서 X의 농도가 2이고 온도가 35 °C인 (다)가 ㉠이고, X의 농도가 1이고 온도가 10 °C인 (가)가 ㉢이며, ㉡은 (나)이다.

채점 기준	배점
㉠~㉢을 모두 옳게 쓰고, 그 까닭을 온도와 X의 농도를 포함하여 옳게 서술한 경우	100 %
㉠~㉢만 옳게 쓴 경우	30 %

209

ㄱ. A는 효소 X의 활성부위에 결합하여 X의 작용을 방해하므로 경쟁적 억제제이다.

바로알기 | ㄴ. B는 Y의 활성부위가 아닌 다른 부위에 결합하여 활성부위의 구조를 변형하여 기질(㉡)의 결합을 방해하는 비경쟁적 억제제이다.

ㄷ. 비경쟁적 억제제(B)의 경우 기질(㉡)의 농도를 높여도 억제 효과가 사라지지 않는다.

210

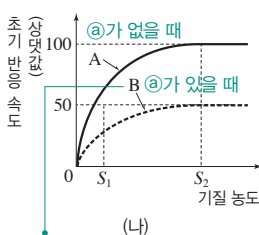
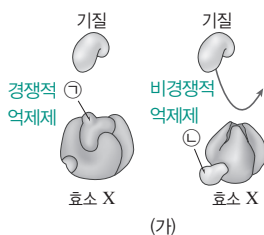
㉠은 X, ㉡은 기질, ㉢은 경쟁적 억제제이다.

ㄱ. 가수분해효소는 물(H_2O) 분자를 첨가하여 기질을 분해하는 효소이므로 X는 가수분해효소이다.

ㄴ. ㉠은 효소의 활성부위에 결합하므로 경쟁적 억제제이다.

바로알기 | ㄷ. X(㉠)은 기질(㉡)과 결합하여 효소기질복합체를 형성한다.

211



B에서 기질의 농도를 충분히 높여도 ㉠의 억제 효과가 사라지지 않으므로 ㉠은 비경쟁적 억제제이다.

ㄱ. ㉠은 X의 활성부위에 결합하여 X의 작용을 방해하는 경쟁적 억제제이다. ㉡은 X의 활성부위가 아닌 다른 부위에 결합하여 X의 작용을 방해하는 비경쟁적 억제제이다.

바로알기 | ㄴ. 비경쟁적 억제제의 경우 기질의 농도를 높여도 억제 효과가 사라지지 않으므로 ㉠은 비경쟁적 억제제(㉡)이다. 비경쟁적 억제제(㉡, ㉢)는 효소의 활성부위가 아닌 다른 부위에 결합하여 활성부위의 구조를 변형하여 효소와 기질의 결합을 방해한다.

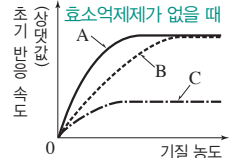
ㄷ. B는 비경쟁적 억제제(㉡, ㉢)가 있을 때이므로 S_2 일 때 효소의 활성부위의 구조가 변형되어 기질과 결합하지 못한 X가 있다.

212

경쟁적 억제제 비경쟁적 억제제

실험	㉠	㉡
A	? ×	㉠ ×
B	○	×
C	×	○

(○: 있음, ×: 없음)



- B: 기질의 농도가 충분히 증가하면 억제 효과가 사라진다. → ㉠은 경쟁적 억제제이다.
- C: 기질의 농도가 충분히 증가해도 억제 효과가 유지된다. → ㉡은 비경쟁적 억제제이다.

ㄱ. ㉠이 있는 B에서 기질의 농도가 충분히 증가하면 억제 효과가 사라지므로 ㉠은 경쟁적 억제제이고, ㉡이 있는 C에서 기질의 농도가 충분히 증가해도 억제 효과가 유지되므로 ㉡은 비경쟁적 억제제이다. 따라서 A는 경쟁적 억제제(㉠)와 비경쟁적 억제제(㉡)가 모두 없을 때이므로 ㉢은 '×'이다.

ㄴ. 경쟁적 억제제(㉠)는 X의 활성부위에 결합한다.

ㄷ. C에서 기질의 농도가 충분히 증가해도 억제 효과가 유지되므로 ㉡은 비경쟁적 억제제이다.

213

A의 농도가 빨리 감소하는 ㉠은 X가 없을 때이고, ㉡은 X가 있을 때이다.

ㄱ. S_1 에서 X가 있을 때가 없을 때보다 초기 반응 속도가 느린 것으로 보아 E 중 일부가 A 대신 X와 결합하여 복합체를 형성했음을 알 수 있다.

ㄷ. E에 의한 반응에서 X의 유무에 관계없이 활성화에너지는 같다. 따라서 (나)에서 E에 의한 반응의 활성화에너지는 ㉠에서와 ㉡에서와 같다.

바로알기 | ㄴ. A의 농도가 충분히 높아지면 X가 있을 때와 없을 때의 초기 반응 속도가 같아져 억제 효과가 사라지므로 X는 경쟁적 억제제이다.

214

모범 답안 ㉠은 경쟁적 억제제, A는 II, B는 I이다. 경쟁적 억제제는 기질의 농도가 높아지면 효소의 작용을 억제하는 효과가 감소하다가 사라지기 때문이다.

해설 경쟁적 억제제는 효소의 활성부위에 결합하여 효소의 작용을 방해하며, 기질의 농도가 충분히 높으면 억제 효과가 사라진다. 따라서 A는 경쟁적 억제제가 없을 때이고, B는 경쟁적 억제제가 있을 때이다.

채점 기준	배점
㉠, A, B를 모두 옳게 쓰고, 그렇게 판단한 까닭을 기질 농도와 관련지어 옳게 서술한 경우	100 %
㉠, A, B만 모두 옳게 쓴 경우	30 %



- 초기 반응 속도는 $III > I > II$ 이므로 A는 III의 결과, B는 I의 결과, C는 II의 결과이다.
- C에서 기질의 농도가 충분히 증가해도 억제 효과가 유지된다. → ①은 비경쟁적 억제제이다.

ㄱ. C(II의 결과)에서 기질의 농도가 충분히 증가해도 효소억제제가 없는 B(I의 결과)에서의 초기 반응 속도의 최대값보다 작으므로 억제 효과가 유지된다. 따라서 ①은 비경쟁적 억제제이다.

ㄴ. A는 III의 결과, B는 I의 결과, C는 II의 결과이다.

바로알기 | ㄷ. II(C)에서 기질과 결합한 X의 수는 S_2 일 때가 S_1 일 때보다 많고, X의 총 수는 S_1 일 때와 S_2 일 때가 같다. 따라서 II에서 기질과 결합한 X의 수 / X의 총 수 = S_1 일 때가 S_2 일 때보다 작다.

216 A. 된장, 김치, 치즈, 요구르트와 같은 발효식품을 만들 때 미생물의 효소가 이용된다.

C. 효소는 의약품, 화장품, 식품, 환경 산업, 생명공학 등 여러 분야에 활용되고 있다.

바로알기 | B. 효소는 생명체 밖에서도 작용할 수 있어 다양한 분야에서 이용되고 있다.

217 ㄱ. 배와 키위에는 단백질을 분해효소가 들어 있어 고기에 배나 키위를 섞어 두면 단백질이 분해되어 고기가 연해진다.

ㄴ. 식해를 만들 때 엿기름의 아밀레이스를 이용하여 밥 속의 녹말을 분해한다. 엿기름과 밥을 섞어 보온밥통에 넣고 4~5시간 동안 따뜻하게 두는 것은 효소의 작용이 온도의 영향을 받기 때문이다.

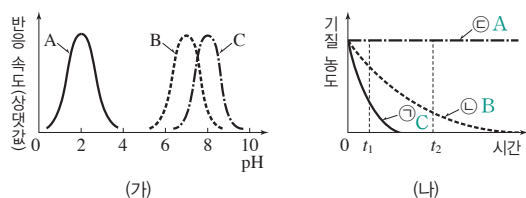
ㄷ. 빵을 만들 때 밀가루 반죽에 효모를 넣으면 효모에 들어 있는 효소가 당을 분해하여 이산화 탄소가 발생하고 반죽이 부풀어 오른다.

최고 수준 도전 기출

70쪽~71쪽

- | | | |
|----------|----------|----------|
| 218 ㄴ, ㄷ | 219 ㄱ, ㄷ | 220 ㄴ, ㄷ |
| 221 ㄷ | 222 ③ | 223 ② |
| | 224 ⑤ | 225 ④ |

218



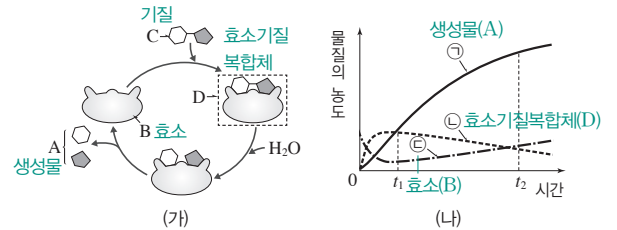
①일 때가 ②일 때보다 기질의 농도가 더 빨리 감소하므로 반응 속도는 ①일 때가 ②일 때보다 빠르다. ③일 때는 기질의 농도가 감소하지 않으므로 효소의 작용이 일어나지 않는다. → ①은 C에 의한 반응, ②은 B에 의한 반응, ③은 A에 의한 반응이다.

ㄴ. (나)는 pH가 8일 때 반응이고, ①은 최적 pH가 8인 C에 의한 반응, ②은 최적 pH가 7인 B에 의한 반응, ③은 최적 pH가 2인 A에 의한 반응이다.

ㄷ. 기질의 농도 그래프에서 곡선의 기울기가 t_1 일 때 ①(C에 의한 반응)에서 t_2 일 때 ②(B에 의한 반응)에서보다 가파르다. 따라서 t_1 일 때 C에 의한 반응 속도는 t_2 일 때 B에 의한 반응 속도보다 빠르다.

바로알기 | ㄱ. pH가 2일 때 A는 작용하지만, B와 C는 작용하지 못한다. pH가 8일 때 A는 작용하지 못하고, B와 C는 작용한다. (나)에서 ①일 때와 ②일 때 효소가 작용하여 기질의 농도가 감소하므로 ③은 8이다.

219



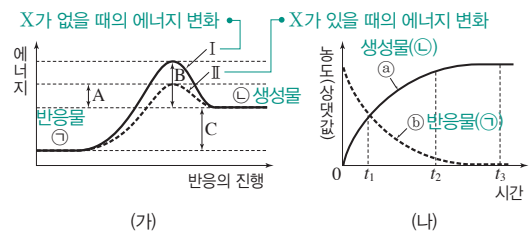
ㄱ. 물이 첨가되어 기질이 분해되므로 B는 가수분해효소이며, 기질(C)이 분해되어 생성물(A)이 되는 반응은 이화작용이다. 이화작용에서 에너지가 방출되므로 한 분자당 에너지량은 기질(C)이 생성물(A)보다 많다.

따라서 $\frac{C의 한 분자당 에너지량}{A의 한 분자당 에너지량} > 1$ 이다.

ㄷ. 효소에 의한 반응의 활성화에너지는 효소의 농도에 따라 달라지지 않으므로, 이 효소에 의한 반응의 활성화에너지는 t_1 일 때와 t_2 일 때가 같다.

바로알기 | ㄴ. ①은 생성물(A), ②은 효소가질복합체(D), ③은 효소(B)이다.

220



- B+C: 효소가 없을 때의 활성화에너지
- A+C: 효소가 있을 때의 활성화에너지

ㄴ. (나)에서 시간에 따라 농도가 증가하는 ②는 생성물(㉔)이고, 농도가 감소하는 ①은 반응물(㉓)이다. 생성물(㉔)과 반응물(㉓)의 그래프에서 곡선 기울기가 t_1 일 때가 t_2 일 때보다 가파르므로, X에 의한 반응 속도는 t_1 일 때가 t_2 일 때보다 빠르다.

ㄷ. t_3 일 때 X에 의한 반응의 활성화에너지는 A+C이다.

바로알기 | ㄱ. 아밀레이스에 의해 녹말이 분해되는 반응은 크고 복잡한 물질이 작고 간단한 물질로 전환되는 이화작용이다. II는 에너지가 흡수되는 동화작용에서의 에너지 변화이다.

221

시험관	I	II	III	IV	V	VI
첨가물	① 보조인자	② 주효소	③, ④	③, ⑤	④, ⑥	⑤, ⑥
생성물	×	×	○	×	○	㉔ ×

(○: 있음, ×: 없음)

- IV: ③과 ⑤(열처리한 ㉓)를 함께 넣은 경우 효소가 활성을 나타내지 않는다. → ㉓은 단백질 부분인 주효소이다.
- V: ④과 ⑥(열처리한 ㉓)를 함께 넣은 경우 효소가 활성을 나타낸다. → ㉓은 비단백질 부분인 보조인자이다.

ㄷ. 보조인자(㉓)와 ⑥(열처리한 주효소(㉔))를 첨가한 IV에서 생성물이 생성되지 않았으므로, ㉔(열처리한 보조인자(㉓))와 ⑥(열처리한

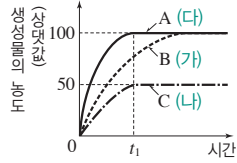
주효소(㉠)를 함께 넣을 경우 효소가 활성을 나타내지 않으므로 생성물이 생성되지 않는다.

바로알기 | ㄱ. 보조인자(㉡)는 효소의 비단백질 부분, 주효소(㉠)는 단백질 부분이다.

ㄴ. V에서 생성물이 생성되었으므로 효소가 기질 복합체가 형성되었다.

222

실험	(가) B	(나) C	(다) A
X ㉠의 농도 (상댓값)	1	㉠ 1	㉠ 2
기질 ㉡의 농도 (상댓값)	㉠ 2	1	2



- 생성물의 농도가 더 이상 증가하지 않을 때 A와 B의 생성물의 농도가 C의 2배이다. → 기질의 농도는 A와 B에서 C에서의 2배이므로 ㉠이 기질이고, ㉡은 X이며, ㉠은 2이고, ㉡은 1이다.
- A와 B에서 생성물의 농도가 최고점에 도달하는 시간이 A에서 B에서보다 짧다. → X(㉡)의 농도는 A에서 B에서보다 높다.

ㄱ. A는 (다)의 결과, B는 (가)의 결과, C는 (나)의 결과이다.

ㄴ. ㉠은 X, ㉡은 기질이다.

바로알기 | ㄴ. t_1 일 때 그래프의 곡선 기울기가 (가)(B)에서 (다)(A)에서보다 가파르므로 X에 의한 반응 속도는 (가)(B)에서 (다)(A)에서보다 빠르다.

223

I이 있을 때 초기 반응 속도의 최댓값이 100이므로 I은 기질이 충분할 경우 억제 효과가 사라지는 경쟁적 억제제이다. II가 있을 때 초기 반응 속도의 최댓값이 50이므로 II는 기질이 충분해도 억제 효과가 사라지지 않는 비경쟁적 억제제이다.

ㄴ. X에 의한 반응의 활성화에너지는 효소억제제가 없을 때와 경쟁적 억제제(I)가 있을 때가 같다.

바로알기 | ㄱ. I은 경쟁적 억제제, II는 비경쟁적 억제제이다.

ㄴ. S_2 일 때 효소억제제가 없을 때에는 기질과 결합하지 않은 X가 없으며, 비경쟁적 억제제(II)가 있을 때에는 기질과 결합하지 않은 X가 있다. 따라서 S_2 일 때 $\frac{\text{기질과 결합하지 않은 X의 수}}{\text{기질과 결합한 X의 수}}$ 는 효소억제제가 없을 때가 비경쟁적 억제제(II)가 있을 때보다 작다.

224

기질 농도 (상댓값)	초기 반응 속도(상댓값)		
	㉠이 있을 때	㉡이 있을 때	㉠과 ㉡이 모두 없을 때
(가)	25	40	?
(나)	?	100	100
(다)	50	?	75

기질 농도가 (나)일 때 ㉡이 있을 때와 ㉠과 ㉡이 모두 없을 때의 초기 반응 속도가 100으로 같다. → ㉡은 경쟁적 억제제이고, ㉠은 비경쟁적 억제제이다.

ㄱ. ㉠이 있을 때 초기 반응 속도는 기질의 농도가 (다)일 때가 (가)일 때보다 빠르므로, 기질의 농도는 (다)가 (가)보다 높다. ㉠과 ㉡이 모두 없을 때 초기 반응 속도는 기질의 농도가 (나)일 때가 (다)일 때보다 빠르므로, 기질의 농도는 (나)가 (다)보다 높다. 따라서 기질의 농도는 (나) > (다) > (가)이다.

ㄴ. ㉠은 비경쟁적 억제제, ㉡은 경쟁적 억제제이다. 경쟁적 억제제(㉡)는 X의 활성부위에 결합하여 효소의 작용을 억제한다.

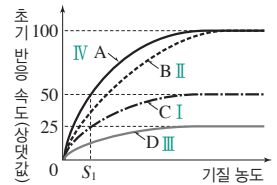
ㄴ. 기질의 농도가 (가)일 때 초기 반응 속도는 ㉠이 있을 때보다 ㉡이 있을 때가 빠르므로 기질과 결합한 X의 수는 ㉡이 있을 때가 ㉠이 있을

때보다 많고, 기질과 결합하지 않은 X의 수는 ㉡이 있을 때가 ㉠이 있을 때보다 적다. 따라서 기질 농도가 (가)일 때 $\frac{\text{기질과 결합한 X의 수}}{\text{기질과 결합하지 않은 X의 수}}$ 는 ㉡이 있을 때가 ㉠이 있을 때보다 크다.

225

실험	E의 농도 (상댓값)	경쟁적 억제제	비경쟁적 억제제
		㉠	㉡
I	1	×	㉠ ×
II	2	㉠ ○	×
III	㉠ 1	×	○
IV	㉠ 2	×	×

(○: 있음, ×: 없음)



㉠가 2이면, ㉡는 1이다. A~D의 결과가 서로 다르므로 ㉠는 '×', ㉡는 '○'이다. 이 경우 I과 III은 모두 효소억제제 ㉡이 있게 되어 그 그래프와 같은 결과가 나타나지 않는다. 따라서 ㉠는 1, ㉡는 2이다. ㉠가 1이고 I과 III은 조건이 달라야 하므로 ㉠는 '○', ㉡는 '×'이다.

I과 IV에서 E의 농도가 다르고 모두 효소억제제가 없으므로 초기 반응 속도는 IV에서 I에서보다 빠르다. 따라서 A는 IV, C는 I이다.

II와 IV에서 E의 농도는 모두 2이고, II에는 ㉠이 있다. 기질의 농도가 높을 때 A와 B의 초기 반응 속도가 같아지므로 ㉠은 경쟁적 억제제이고, ㉡은 비경쟁적 억제제이며, B는 II이다. 나머지 III은 비경쟁적 억제제가 있을 때이며, D이다.

ㄴ. ㉠은 경쟁적 억제제이고, ㉡은 비경쟁적 억제제이다.

ㄴ. S_1 일 때 E의 총 수는 I(C)에서와 III(D)에서가 같고, 기질과 결합하지 않은 E의 수는 I(C)에서가 III(D)에서보다 작으므로 S_1 일 때 $\frac{\text{E의 총 수}}{\text{기질과 결합하지 않은 E의 수}}$ 는 I(C)에서가 III(D)에서보다 크다.

바로알기 | ㄱ. ㉠는 1, ㉡는 2이다.

10 미토콘드리아와 세포호흡

빈출 자료 보기

72쪽

226 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ×

226 ㉠은 바탕질, ㉡은 내막, ㉢은 외막이다.

(2) 바탕질(㉠)에 DNA, 라이보솜, 유기물 분해에 필요한 여러 가지 효소 등이 있다.

(3) 산화적 인산화는 해당 과정, 피루브산의 산화 및 TCA 회로에서 생성된 NADH, FADH₂로부터 다량의 ATP를 생성하는 과정으로, 내막(㉡)에서 일어난다.

바로알기 | (1) 해당 과정은 세포질에서, 피루브산의 산화 및 TCA 회로는 바탕질(㉠)에서 일어난다.

(4) 내막(㉡)이 주름진 구조인 크리스타를 형성한다.

(5) 내막(㉡)에 전자전달효소와 ATP 합성효소가 모두 있다.

난이도별 필수 기출

73쪽~75쪽

227 ③, ⑥ 228 ① 229 해설 참조 230 ②
231 해설 참조 232 ④, ⑤ 233 ②
234 해설 참조 235 ① 236 ③ 237 ④ 238 ①
239 ④ 240 ①

227 미토콘드리아는 외막과 내막의 이중막 구조이다. 내막은 안쪽으로 접혀 들어가 주름진 구조인 크리스타를 형성하며, 전자전달효소, ATP 합성효소 등이 있다. 바탕질에는 DNA, 라이보솜, 여러 가지 효소가 있다. 간세포와 골격근세포와 같이 에너지를 많이 소비하는 세포일수록 미토콘드리아가 많이 들어 있다.

바로알기 | ③ 바탕질에서 TCA 회로가 진행되므로, TCA 회로에 관여하는 효소들은 바탕질에 있다.

⑥ 외막과 내막 사이의 공간을 막사이공간, 내막 안쪽의 공간을 바탕질이라고 한다.

228 ㉠은 바탕질, ㉡은 외막, ㉢은 내막이다.

ㄱ. 바탕질(㉠)에는 TCA 회로에 관여하는 효소들이 있어 TCA 회로가 진행된다.

바로알기 | ㄴ. 내막(㉡)에 전자전달계와 ATP 합성효소가 있어 산화적 인산화가 일어난다.

ㄷ. 내막(㉡)은 주름진 구조인 크리스타를 형성하므로, 내막(㉡)의 표면적은 외막(㉢)의 표면적보다 넓다.

229 **모범 답안** 미토콘드리아 내막에는 세포호흡에 관여하는 효소가 있으며, 내막의 주름진 구조로 내막의 표면적이 넓어져 세포호흡이 효율적으로 일어날 수 있다.

채점 기준	배점
내막에는 세포호흡에 관여하는 효소가 있으며, 내막의 표면적이 넓어져 세포호흡이 효율적으로 일어난다고 서술한 경우	100 %
내막의 표면적이 넓어져 세포호흡이 효율적으로 일어난다고만 서술한 경우	70 %

230 ㉠은 바탕질, ㉡은 막사이공간, ㉢은 내막이다.

ㄴ. 바탕질(㉠)에는 카복실기제거효소, 탈수소효소 등 유기물 분해에 필요한 여러 가지 효소가 있다.

바로알기 | ㄱ. ㉢에 전자전달계와 ATP 합성효소가 있으므로 ㉢은 내막이다.

ㄷ. 바탕질(㉠)에 DNA와 라이보솜이 있어 스스로 복제하고 증식할 수 있다.

231 **모범 답안** 미토콘드리아에서 세포호흡을 통해 ATP를 합성하며, 이 과정에서 산소가 소비된다.

채점 기준	배점
세포호흡과 관련지어 ATP 합성량과 산소 소비량을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
세포호흡과 관련지어 ATP 합성량과 산소 소비량 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

232 세포호흡은 포도당과 같은 유기물을 산화·분해하여 에너지를 방출하는 반응으로, 세포질과 미토콘드리아에서 일어난다. 세포호흡은 해당 과정, 피루브산의 산화 및 TCA 회로, 산화적 인산화의 세 단계로 구분된다. 세포호흡의 각 단계는 효소의 촉매 작용으로 조절되는 일련의 산화환원반응이며, 세포호흡에서 ATP는 포도당이 산화하면서 방출되는 에너지를 이용하여 생성된다. ATP는 해당 과정, 피루브산의 산화 및 TCA 회로, 산화적 인산화 각 단계에서 모두 생성된다.

바로알기 | ④ 해당 과정은 세포질에서, 피루브산의 산화 및 TCA 회로는 미토콘드리아 바탕질에서, 산화적 인산화는 미토콘드리아 내막에서 일어난다.

⑤ 해당 과정 → 피루브산의 산화 → TCA 회로 순으로 진행된다.

233 ㄷ. 세포호흡 과정에서 방출된 에너지의 일부는 ATP의 화학 에너지로 전환되어 저장되고, 나머지는 열로 방출된다.

바로알기 | ㄱ. 산소는 환원되어 물이 된다.

ㄴ. 포도당은 산화되어 이산화 탄소가 된다.

234 **모범 답안** (1) 학생 B

(2) 포도당은 세포질에서 피루브산으로 분해되고, 생성된 피루브산은 미토콘드리아로 이동하여 아세틸조효소 A로 산화됩니다.

	채점 기준	배점
(1)	학생 B라고 옳게 쓴 경우	30 %
(2)	포도당이 세포질에서 피루브산으로 분해되고, 이 피루브산이 미토콘드리아로 이동하여 아세틸조효소 A로 산화된다고 서술한 경우	70 %
	포도당이 세포질에서 피루브산으로 분해된다고만 서술한 경우	30 %

235 (가)는 해당 과정, (나)는 TCA 회로, (다)는 산화적 인산화이고, ㉠은 산소, ㉡은 이산화 탄소이다.

① 산소(㉠)는 산화적 인산화(다) 중 전자전달계에서 최종 전자수용체이다.

바로알기 | ② ㉡은 이산화 탄소이다.

③ TCA 회로(나)는 미토콘드리아 바탕질에서, 산화적 인산화(다)는 미토콘드리아 내막에서 일어난다.

④ 해당 과정(가)에서 만들어진 피루브산은 미토콘드리아로 이동하여 아세틸조효소 A로 산화된 후, TCA 회로(나)와 산화적 인산화(다)를 거치면서 최종적으로 이산화 탄소와 물로 분해된다.

⑤ 해당 과정(가)과 TCA 회로(나)에서는 소량의 ATP가, 산화적 인산화(다)에서는 다량의 ATP가 생성된다.

236 (가)는 해당 과정, (나)는 피루브산의 산화, (다)는 TCA 회로이며, A는 포도당, B는 피루브산, C는 아세틸조효소 A이다.

ㄱ. 세포호흡의 각 단계에서 기질은 전자를 잃고 산화되며, 이때 빠져나온 전자가 NAD^+ , FAD와 각각 결합하여 NADH와 FADH_2 로 환원된다. 따라서 (가)~(다)에서 모두 산화환원반응이 일어난다.

ㄴ. (나)에서 NADH, CO_2 가 생성되고, (다)에서 NADH, FADH_2 , CO_2 , ATP가 생성된다. 따라서 (나)와 (다)에서 모두 CO_2 가 방출된다.

바로알기 | ㄷ. (가)는 해당 과정으로, 포도당 1분자가 피루브산 2분자로 분해되는 과정이며, NADH, ATP가 생성된다.

237 ㄱ. ㉠은 미토콘드리아 바탕질이며, 피루브산의 산화(Ⅰ)는 미토콘드리아 바탕질(㉠)에서 일어난다.

ㄴ. Ⅰ은 피루브산이 아세틸조효소 A로 산화되는 과정으로, 탈탄산 반응이 일어나 CO_2 가 방출된다.

바로알기 | ㄴ. 피루브산의 산화(Ⅰ)에서는 ATP가 생성되지 않는다.

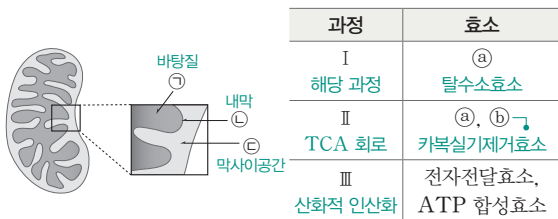
238 ㉠은 바탕질, ㉡은 세포질, ㉢는 내막, ㉣는 외막이며, Ⅰ은 해당 과정, Ⅱ는 피루브산의 산화이다.

ㄱ. 내막(㉢)은 안쪽으로 접혀 들어가 주름진 구조인 크리스타를 형성한다.

바로알기 | ㄴ. 내막(㉢)에 전자전달효소와 ATP 합성효소가 있다.

ㄷ. 세포질(㉡)에서 해당 과정(Ⅰ)이 일어나고, 미토콘드리아 바탕질(㉠)에서 피루브산의 산화(Ⅱ)가 일어난다.

239

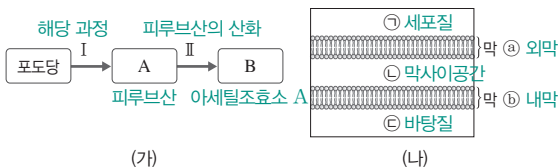


ㄴ. 세포질에서 해당 과정(Ⅰ)이 일어나고, 바탕질(㉠)에서 TCA 회로(Ⅱ)가 일어나며, 미토콘드리아 내막(㉢)에서 산화적 인산화(Ⅲ)가 일어난다.

ㄷ. 해당 과정(Ⅰ)과 TCA 회로(Ⅱ)에서는 소량의 ATP가, 산화적 인산화(Ⅲ)에서는 다량의 ATP가 생성된다.

바로알기 | ㄱ. ㉢는 탈수소효소, ㉣는 카복실기제거효소이다.

240



과정 Ⅱ(피루브산 → 아세틸조효소 A)가 ㉠에서 일어난다고 하였으므로 ㉠은 미토콘드리아 바탕질이고, ㉡은 세포질, ㉢는 막사이공간이며, ㉣는 미토콘드리아 외막, ㉤는 내막이다.

ㄱ. Ⅰ에서 포도당 1분자가 피루브산(A) 2분자로 분해되면서, NADH와 소량의 ATP가 생성된다.

바로알기 | ㄴ. Ⅱ에서 피루브산이 아세틸조효소 A로 분해되면서, NADH는 생성되지만 ATP는 생성되지 않는다.

ㄷ. ㉣는 외막, ㉤는 내막이다.

11 세포호흡 과정

인출 자료 보기

77쪽

241 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) × (6) × (7) ○

241 (가)는 해당 과정, (나)는 피루브산의 산화 및 TCA 회로, (다)는 산화적 인산화이다.

(1) 해당 과정(가)에서 ATP는 효소의 작용으로 기질에 결합하고 있던 인산기가 ADP로 전달되어 생성되는데, 이와 같은 ATP 합성 과정을 기질수준인산화라고 한다.

(2), (4) 해당 과정(가)에서는 포도당 1분자당 NADH 2분자가 생성되며, 피루브산의 산화 및 TCA 회로(나)에서는 피루브산 1분자당 피루브산의 산화에서 NADH 1분자가 생성되고, TCA 회로에서 NADH 3분자, FADH_2 1분자가 생성된다.

(7) (가)~(다) 중 산화적 인산화(다)에서 전자는 전자운반체를 차례로 환원시키면서 에너지를 조금씩 방출하고, 최종적으로 산소와 결합하여 물을 합성한다.

바로알기 | (3) 해당 과정(가)에서 NADH 2분자, 피루브산의 산화 및 TCA 회로(나)에서 NADH 8분자가 생성되어 총 NADH 10분자가 생성되고, 피루브산의 산화 및 TCA 회로(나)에서 FADH_2 2분자가 생성되므로, 포도당 1분자로부터 산화적 인산화(다)로 생성되는 최대 ATP의 분자 수는 $(10 \times 2.5) + (2 \times 1.5) = 28$ 분자이다.

(5) 피루브산의 산화 및 TCA 회로(나)에서는 기질수준인산화로, 산화적 인산화(다)에서는 산화적 인산화로 ATP가 합성된다.

(6) 해당 과정(가)은 세포질에서, 피루브산의 산화 및 TCA 회로(나)는 미토콘드리아 바탕질에서, 산화적 인산화(다)는 미토콘드리아 내막에서 일어난다.

난이도별 필수 기출

78쪽~87쪽

242 ③, ④	243 ③	244 해설 참조	245 ③
246 ②	247 ①	248 ①	249 ②
252 ④	253 ②	254 해설 참조	250 ⑤
257 ⑤	258 ⑤	259 ①, ③	255 ②
262 ④	263 ④	264 ③	260 ⑤
268 ④	269 ②	270 ⑤	265 ⑤
273 ③	274 ④	271 ②, ③	266 ⑤
279 해설 참조	280 ②	272 ③	267 ②
		273 ③	277 ②
		274 ④	278 ⑤
		275 ⑤	
		276 ③	
		277 ②	
		278 ⑤	
		281 ③	

242 ① 해당 과정은 산소가 직접 사용되지 않으므로, 산소가 없어도 일어난다.

② 포도당(C_6)을 구성하고 있던 탄소는 모두 피루브산(C_3) 2분자를 구성하는 탄소로 전환되므로 이산화 탄소가 방출되지 않는다.

⑤ 포도당의 분해로 방출된 에너지의 일부는 NADH와 ATP에 저장되며, 대부분은 피루브산에 남아 있다.

⑥ 세포호흡은 해당 과정, 피루브산의 산화 및 TCA 회로, 산화적 인산화의 세 단계로 일어난다.

바로알기 | ③ 해당 과정은 세포질에서, 피루브산의 산화 및 TCA 회로는 미토콘드리아 막상에서 일어난다.

④ 해당 과정을 통해 포도당 1분자당 피루브산 2분자, NADH 2분자, ATP 2분자가 순생성된다.

243 ㄱ, ㄴ. 포도당은 피루브산으로 산화되고, NAD^+ 는 NADH로 환원되며, ATP 2분자가 순생성된다.

바로알기 | ㄷ. 2ATP가 소모된 후 4ATP가 생성된다.

244 **모범 답안** 이산화 탄소는 방출되지 않는다. 해당 과정에서는 카복실기제거효소가 작용하지 않아 탈탄산 반응이 일어나지 않고, 6탄소 화합물인 포도당을 구성하고 있던 탄소는 모두 3탄소 화합물인 피루브산 2분자를 구성하는 탄소가 전환되기 때문이다.

채점 기준	배점
카복실기제거효소가 작용하지 않는다는 것과 6탄소 화합물인 포도당이 3탄소 화합물인 피루브산 2분자로 분해되기 때문이라는 것을 모두 포함하여 옳게 서술한 경우	100 %
카복실기제거효소가 작용하지 않는다는 것과 6탄소 화합물인 포도당이 3탄소 화합물인 피루브산 2분자로 분해되기 때문이라는 것 중 한 가지만 포함하여 서술한 경우	50 %

245 ㄱ. I은 포도당 1분자가 과당 2인산 1분자로 전환되면서 ATP 2분자가 소모되는 단계이다.

ㄷ. III에서 탈수소효소의 작용으로 NADH가 생성되고, 기질수준인산화로 ATP가 생성된다.

바로알기 | ㄴ. 해당 과정에서 포도당을 구성하고 있던 탄소는 모두 피루브산 2분자를 구성하는 탄소가 전환되므로, 탈탄산 반응이 일어나지 않는다.

246 ㉠은 세포질, ㉡은 미토콘드리아이다.

ㄷ. 포도당 1분자당 $\frac{\text{I에서 소모되는 ATP 분자 수}}{\text{II에서 생성되는 ATP 분자 수}} = \frac{2}{4}$ 이므로 1보다 작다.

바로알기 | ㄱ. I과 II는 모두 세포질(㉠)에서 일어난다.

ㄴ. I에서 ATP가 소모되고, II에서 ATP와 NADH가 모두 생성된다.

247 ㄱ. 포도당 1분자가 과당 2인산 1분자로 되면서 ATP 2분자가 소모되므로, X는 ATP이다. 과당 2인산 1분자가 피루브산 2분자로 분해되면서 NADH 2분자와 ATP 4분자가 생성되므로, Y는 ADP이다.

바로알기 | ㄴ. ㉠은 2, ㉡은 2, ㉢은 4이므로, ㉠+㉡=㉢이다.

ㄷ. ATP 2분자가 소모되어 포도당 1분자가 과당 2인산 1분자로 활성화되므로, 1분자당 에너지량은 과당 2인산이 포도당보다 많다.

248

포도당	$\xrightarrow{2\text{ATP}}$	과당 2인산
과당 2인산	$\xrightarrow{2\text{NADH}, 4\text{ATP}}$	2 피루브산
특징	(가) I	(나) II
CO_2 가 생성된다.	㉠ ×	? ×
NADH가 생성된다.	×	○

(○: 있음, ×: 없음)

ㄱ. I에서 포도당 1분자가 과당 2인산 1분자로 되면서 ATP 2분자가 소모되고, II에서 과당 2인산 1분자가 피루브산 2분자로 분해되면서 NADH 2분자와 ATP 4분자가 생성된다. (가)에서 NADH가 생성되지 않으므로 (가)는 I이고, (나)에서 NADH가 생성되므로 (나)는 II이다.

바로알기 | ㄴ. (가)와 (나)에서 모두 CO_2 가 생성되지 않으므로, ㉠은 '×'이다.

ㄷ. I에서 2ATP가 소모되고, II에서 4ATP가 생성된다.

249 ㄷ. 해당 과정(가)의 II에서 기질수준인산화(나)가 일어나 ATP 4분자가 생성된다.

바로알기 | ㄱ. 해당 과정(가)은 산소의 유무와 관계없이 세포질에서 일어난다.

ㄴ. 해당 과정(가)의 II에서 탈수소효소가 관여한다.

250 ㉠은 과당 2인산, ㉡은 피루브산이다.

ㄱ. 해당 과정은 세포질에서 일어난다.

ㄴ. 과당 2인산(㉠) 1분자가 피루브산(㉡) 2분자로 분해되면서 탈수소 반응이 일어나므로, 1분자당 $\frac{\text{수소 수}}{\text{탄소 수}}$ 는 과당 2인산(㉠)이 피루브산(㉡)보다 크다.

ㄷ. 포도당 1분자당 $\frac{\text{I에서 소모되는 ATP 분자 수}}{\text{II에서 생성되는 NADH 분자 수}} = \frac{2}{2} = 1$ 이다.

251 ㉠은 NAD^+ , ㉡은 NADH이다.

ㄴ. I에서 포도당 1분자가 과당 2인산 1분자로 되면서 ATP 2분자가 소모되고, II에서 과당 2인산 1분자가 피루브산 2분자로 분해되면서 NADH 2분자와 ATP 4분자가 생성된다.

바로알기 | ㄱ. II에서 NAD^+ (㉠)가 NADH(㉡)로 환원된다.

ㄷ. (가)에서 탈수소 반응은 일어나지만, 탈탄산 반응은 일어나지 않는다.

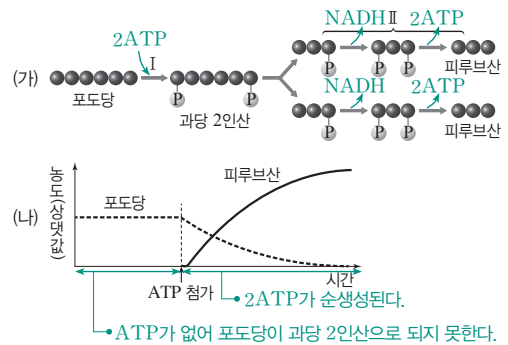
252 ㉠은 포도당, ㉡은 과당 2인산, ㉢은 피루브산이다.

ㄴ. 1분자당 $\frac{\text{포도당(㉠)의 탄소 수}}{\text{피루브산(㉢)의 탄소 수}} = \frac{6}{3} = 2$ 이다.

ㄷ. II에서 과당 2인산(㉡)은 피루브산(㉢)으로 산화되고, NAD^+ 는 NADH로 환원된다.

바로알기 | ㄱ. II에서 기질수준인산화가 일어나므로, X는 피루브산(㉢)이다.

253



ㄴ. I에서 포도당 1분자가 과당 2인산 1분자로 되면서 ATP 2분자가 소모된다.

바로알기 | ㄱ. 해당 과정은 전 과정에서 산소가 소모되지 않는다.

ㄷ. 해당 과정의 ATP 소모 단계에서 포도당 1분자당 ATP 2분자가 소모되고, ATP 생성 단계에서 포도당 1분자당 ATP 4분자가 생성되므로, 반응이 진행됨에 따라 ADP의 양은 감소한다.

254

구분	시험관 I		시험관 II	
	처음 농도 (상댓값)	t 시간 후 농도 (상댓값)	처음 농도 (상댓값)	t 시간 후 농도 (상댓값)
포도당	1	㉠ 1	1	0
피루브산	0	㉡ 0	0	㉢ 2

• I: ATP가 없어 포도당이 과당 2인산으로 되지 못해 해당 과정이 일어나지 않았다.

• II: ATP가 있어 포도당이 과당 2인산으로 되어 최종적으로 피루브산 2분자로 분해되었다.

모범 답안 ㉠은 1, ㉡은 0, ㉢은 2이다. 해당 과정에서 포도당이 과당 2인산으로 전환될 때 ATP가 필요하며, 해당 과정에서 포도당 1분자는 피루브산 2분자로 분해된다. 시험관 I에서는 ATP가 첨가되지 않아 해당 과정이 일어나지 않으므로 포도당과 피루브산은 모두 처음 농도와 같다. 시험관 II에서는 ATP가 첨가되어 해당 과정이 일어나며 포도당 농도가 0이므로 포도당은 모두 피루브산으로 분해되었다.

채점 기준	배점
㉠~㉢에 해당하는 숫자를 옳게 쓰고, 그 까닭을 해당 과정과 관련하여 옳게 서술한 경우	100 %
㉠~㉢에 해당하는 숫자만 옳게 쓴 경우	30 %

255 ㄴ. ㉠은 NAD^+ , ㉡은 NADH , ㉢은 CO_2 , ㉣은 조효소 A이다.

바로알기 ㄱ. 피루브산은 아세틸조효소 A로 산화되고, NAD^+ (㉠)는 NADH (㉡)로 환원된다.

ㄷ. 피루브산의 산화는 미토콘드리아 바탕질에서 일어난다.

256 ㄴ. II와 III에서 모두 탈수소 반응이 일어나 NADH 가 생성된다.

바로알기 ㄱ. I에서 ATP가 소모되며, II에서 기질수준인산화가 일어나 ATP가 생성된다.

ㄷ. 해당 과정인 I과 II는 모두 세포질에서 일어나며, 피루브산의 산화(III)는 미토콘드리아 바탕질에서 일어난다.

257 ㉠은 CO_2 , ㉡은 NAD^+ , ㉢은 NADH , ㉣은 조효소 A이고, ㉤는 미토콘드리아 바탕질, ㉥는 막사이공간이다.

ㄱ. 미토콘드리아 바탕질(㉤)에서 피루브산이 아세틸조효소 A로 산화되며, 미토콘드리아 바탕질(㉤)에 조효소 A(㉣)가 있다.

ㄴ. 피루브산은 카복실기제거효소의 작용으로 CO_2 (㉡)를 방출하고, 조효소 A와 결합하여 아세틸조효소 A가 된다. 이때 탈수소효소의 작용으로 분리된 수소 이온(H^+)과 고에너지 전자(e^-)가 NAD^+ (㉡)에 전달되어 NADH (㉢)가 생성된다.

ㄷ. NADH (㉢)는 전자전달계에 고에너지 전자를 전달하고 NAD^+ (㉡)로 산화된다.

	포도당	특징	(가) III	(나) II	(다) I
해당 과정 I	과당 2인산	CO_2 가 생성된다.	○	×	? ×
II	피루브산	세포질에서 일어난다.	×	○	㉠ ○
III	아세틸조효소 A	기질수준인산화가 일어난다.	? ×	㉡ ○	×

(○: 있음, ×: 없음)

ㄱ. 해당 과정인 I과 II는 모두 세포질에서 일어나고, II에서 기질수준인산화가 일어나며, 피루브산의 산화(III)에서 CO_2 가 생성되므로 (가)는 III, (나)는 II, (다)는 I이다.

ㄴ. (다)(I)는 세포질에서 일어나므로 ㉠은 '○'이고, (나)(II)에서 기질수준인산화가 일어나므로 ㉡은 '○'이다.

ㄷ. II와 III에서 모두 탈수소효소의 작용으로 NADH 가 생성된다.

259 ㉡ 피루브산이 아세틸조효소 A로 산화되는 과정에서 카복실기제거효소의 작용으로 CO_2 를 방출하고, 탈수소효소의 작용으로 NADH 가 생성된다.

④ 피루브산에 저장된 에너지의 일부는 NADH , FADH_2 에 전달되고, 일부는 ATP 합성에 쓰인다.

⑤ TCA 회로에서 탈수소효소의 작용으로 분리된 수소 이온(H^+)과 고에너지 전자(e^-)가 NAD^+ 와 FAD 에 전달되어 NADH 와 FADH_2 가 생성된다.

⑥ TCA 회로가 한 번 진행될 때 CO_2 2분자, NADH 3분자, FADH_2 1분자, ATP 1분자가 생성된다.

바로알기 ㄱ. 피루브산은 산소가 있을 때에는 미토콘드리아 바탕질로 들어가 아세틸조효소 A로 산화된 다음 TCA 회로를 거쳐 CO_2 로 분해된다.

③ 아세틸조효소 A 1분자는 TCA 회로를 거쳐 CO_2 2분자로 분해된다.

260 ㄱ. TCA 회로에서 아세틸조효소 A와 결합하는 ㉠은 옥살아세트산(C_4)이며, ㉡은 시트르산(C_6), ㉢은 5탄소 화합물(C_5), ㉣은 4탄소 화합물(C_4)이다.

ㄴ. 1분자당 탄소 수는 시트르산(㉡)은 6, 5탄소 화합물(㉢)은 5, 4탄소 화합물(㉣)은 4이므로, ㉡ > ㉢ > ㉣이다.

ㄷ. TCA 회로는 미토콘드리아 바탕질에서 일어난다.

261 피루브산은 조효소 A와 결합하여 아세틸조효소 A가 되므로 ㉠은 조효소 A, ㉡은 아세틸조효소 A이다. 아세틸조효소 A(㉡)는 옥살아세트산과 결합하여 시트르산이 되므로 ㉢은 옥살아세트산, ㉣은 시트르산이다.

ㄴ. 1분자당 $\frac{\text{피루브산의 탄소 수}}{\text{옥살아세트산(㉢)의 탄소 수}} = \frac{3}{4}$ 이므로 1보다 작다.

바로알기 ㄱ. ㉠은 조효소 A이다.

ㄷ. 아세틸조효소 A(㉡)가 시트르산(㉣)으로 되는 과정에서 CO_2 가 방출되지 않는다.

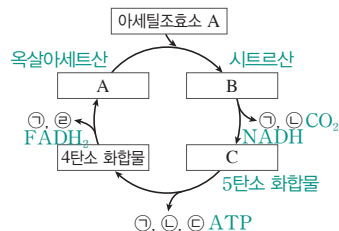
262 II는 피루브산의 산화이고, I과 III은 TCA 회로의 일부이다.

ㄱ. 피루브산의 산화(II)에서 탈탄산 반응이 일어나 CO_2 가 방출된다.

ㄷ. I ~ III에서 모두 탈수소효소가 관여하여 NADH 나 FADH_2 가 생성된다.

바로알기 ㄴ. 5탄소 화합물 → 4탄소 화합물 과정에서 기질수준인산화가 일어나 ATP가 생성된다.

263



ㄴ. 아세틸조효소 A는 옥살아세트산과 결합하여 시트르산이 되므로 A는 옥살아세트산, B는 시트르산, C는 5탄소 화합물이다.

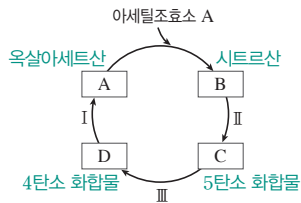
ㄷ. 1분자당 탄소 수는 옥살아세트산(A)이 4, 5탄소 화합물(C)이 5이다.

바로알기 ㄱ. 시트르산(B) → 5탄소 화합물(C) 과정에서 NADH 와 CO_2 가 생성되므로 ㉠과 ㉡은 각각 NADH 와 CO_2 중 하나이다. 5탄소 화합물(C) → 4탄소 화합물 과정에서 NADH , CO_2 , ATP가 생성되므로 ㉢은 ATP이며, 4탄소 화합물 → 옥살아세트산(A) 과정에서 NADH 와 FADH_2 가 생성되므로 ㉣은 FADH_2 이고, ㉠은 NADH 이며, 나머지 ㉡은 CO_2 이다.

264 ㄱ. 시트르산이 5탄소 화합물로 산화되므로 A는 5탄소 화합물, B는 4탄소 화합물이다.

ㄷ. 피루브산의 산화인 I에서 CO_2 와 NADH 가 생성되고, 4탄소 화합물(B) → 옥살아세트산 과정인 III에서 NADH 가 생성된다.

바로알기 ㄴ. 5탄소 화합물(A) → 4탄소 화합물 과정에서 기질수준인산화가 일어나 ATP가 생성된다. 4탄소 화합물 → 4탄소 화합물(B) 과정인 II에서는 FADH_2 가 생성된다.



과정	분자 수		
	㉠ FADH ₂	㉡ CO ₂	㉢ ATP
(가) I	1	? 0	㉠ 0
(나) III	0	1	1
(다) II	㉡ 0	1	? 0

아세틸조효소 A와 옥살아세트산이 결합하여 시트르산이 되므로 A는 옥살아세트산이고 B는 시트르산이며, TCA 회로 순서상 C는 5탄소 화합물, D는 4탄소 화합물이다.

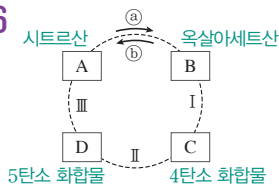
II에서 CO₂, III에서 CO₂와 ATP가 생성된다. ㉠과 ㉢이 모두 있는 (나)는 III이고, ㉠은 FADH₂이다. (나)와 (다)에서 모두 ㉠이 생성되므로 ㉡은 CO₂이고, ㉢은 ATP이며, (다)는 II이고, 나머지 (가)는 I이다.

ㄱ. (가)는 I, (나)는 III, (다)는 II이다.

ㄴ. (가)(I)에서 ATP(㉢)가 생성되지 않으므로 ㉠은 0이고, (다)(II)에서 FADH₂(㉠)가 생성되지 않으므로 ㉡은 0이다.

ㄷ. II와 III에서 모두 탈수소 반응이 일어나 NADH가 생성된다.

266



과정	㉠ FADH ₂	㉡ NADH
I	○	? ○
II	×	○
III	? ×	○

(○: 생성됨, ×: 생성 안 됨)

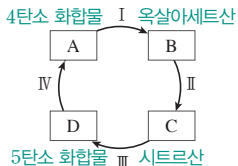
시트르산이 5탄소 화합물로 전환되는 과정, 5탄소 화합물이 4탄소 화합물로 전환되는 과정, 4탄소 화합물이 옥살아세트산으로 전환되는 과정에서 모두 NADH가 생성된다. II와 III에서 모두 ㉡이 생성되므로 ㉡은 NADH이고, ㉠은 FADH₂이다. I에서 FADH₂(㉠)가 생성되고 II와 III에서 모두 NADH(㉡)가 생성되므로 TCA 회로는 ㉡ 방향으로 순환하며, A는 시트르산, B는 옥살아세트산, C는 4탄소 화합물, D는 5탄소 화합물이다.

ㄱ. ㉠은 FADH₂, ㉡은 NADH이다.

ㄴ. II(5탄소 화합물(D) → 4탄소 화합물(C))에서 CO₂, NADH, ATP가 생성된다.

ㄷ. 시트르산(A) → 5탄소 화합물(D) → 4탄소 화합물(C) → 옥살아세트산(B)으로 순환하므로 TCA 회로는 ㉡ 방향으로 순환한다.

267



과정	㉠ FADH ₂	㉡ ATP	㉢ NADH
I	○	? ×	○
II	㉠ ×	×	×
III	×	×	○
IV	×	㉡ ○	? ○

(○: 생성됨, ×: 생성 안 됨)

옥살아세트산이 시트르산으로 전환되는 과정에서는 ATP, NADH, FADH₂가 모두 생성되지 않으며, 시트르산이 5탄소 화합물로 전환되는 과정, 5탄소 화합물이 4탄소 화합물로 전환되는 과정, 4탄소 화합물이 옥살아세트산으로 전환되는 과정에서 모두 NADH가 생성된다. I과 III에서 모두 ㉢이 생성되므로 ㉢은 NADH이다. III에서는

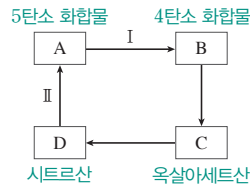
NADH(㉢)만 생성되므로 C는 시트르산, D는 5탄소 화합물이며, TCA 회로 순서상 A는 4탄소 화합물, B는 옥살아세트산이다. I(4탄소 화합물(A) → 옥살아세트산(B))에서 ㉠과 NADH(㉢)이 생성되므로 ㉠은 FADH₂이고, 나머지 ㉡은 ATP이다.

ㄷ. III(시트르산(C) → 5탄소 화합물(D))과 IV(5탄소 화합물(D) → 4탄소 화합물(A))에서 모두 탈탄산 반응이 일어나 CO₂가 생성된다.

바로알기 | ㄱ. ㉠은 FADH₂, ㉡은 ATP, ㉢은 NADH이다.

ㄴ. II(옥살아세트산(B) → 시트르산(C))에서는 FADH₂(㉠)가 생성되지 않으므로 ㉠은 '×'이고, IV(5탄소 화합물(D) → 4탄소 화합물(A))에서 기질수준인산화를 통한 ATP가 생성되므로 ㉡은 '○'이다.

268



과정	분자 수의 비
A → C	㉠ : ㉡ : ㉢ = 1 : 1 : 1
D → B	㉠ : ㉡ : ㉢ = 0 : 1 : 2
	FADH ₂ ATP CO ₂

5탄소 화합물이 옥살아세트산으로 전환되는 과정에서 CO₂, ATP, FADH₂가 1 : 1 : 1의 비로 생성된다. A → C에서 ㉠, ㉡, ㉢이 1 : 1 : 1의 비로 생성되므로 A는 5탄소 화합물, C는 옥살아세트산이며, TCA 회로 순서상 B는 4탄소 화합물, D는 시트르산이다. 시트르산(D) → 4탄소 화합물(B)에서 ㉠, ㉡, ㉢이 0 : 1 : 2의 비로 생성되므로 ㉠은 FADH₂, ㉡은 ATP, ㉢은 CO₂이다.

ㄴ. I(5탄소 화합물(A) → 4탄소 화합물(B))에서 ATP(㉡), CO₂(㉢), NADH가 모두 생성된다.

ㄷ. II(시트르산(D) → 5탄소 화합물(A))에서 탈수소 반응에 의해 NADH가 생성되고, 탈탄산 반응에 의해 CO₂가 생성된다.

바로알기 | ㄱ. ㉠은 FADH₂, ㉡은 ATP, ㉢은 CO₂이다.

269

구분	기질수준인산화			탈수소 반응	탈탄산 반응
	㉠	㉡	㉢		
(가) II	㉠ ×	○	×		
(나) III	○	? ○	○		
(다) I	×	○	○		

(○: 일어남, ×: 일어나지 않음)

I에서 탈탄산 반응, 탈수소 반응이 일어나고, II에서 탈수소 반응이 일어나며, III에서 탈탄산 반응, 탈수소 반응, 기질수준인산화가 일어난다. (다)에서 ㉠과 ㉢은 일어나지만 ㉡은 일어나지 않으므로 (다)는 I이며, ㉠은 기질수준인산화이다. (나)에서 기질수준인산화(㉠)가 일어나므로 (나)는 III이며, 나머지 (가)는 II이다. (가)(II)에서 탈수소 반응이 일어나므로 ㉡은 탈수소 반응이고, 나머지 ㉢은 탈탄산 반응이다.

ㄴ. (가)는 II, (나)는 III, (다)는 I이다.

바로알기 | ㄱ. (가)(II)(4탄소 화합물 → 옥살아세트산)에서 기질수준인산화(㉠)가 일어나지 않으므로, ㉠은 '×'이다.

ㄷ. 해당 과정에서 탈탄산 반응(㉢)이 일어나지 않는다.

270

과정	물질	㉠ NADH	㉡ CO ₂	㉢ FADH ₂
I	시트르산 → 5탄소 화합물 A	○	○	×
II	4탄소 화합물 B → 옥살아세트산	○	×	㉠ ○
III	5탄소 화합물 A → 4탄소 화합물 B	㉡ ○	○	×

(○: 생성됨, ×: 생성 안 됨)

II에서 B가 5탄소 화합물이라면 II에서 CO₂, NADH, FADH₂가 모두 생성되어야 하는데, 표에서 ㉠~㉢이 모두 생성되는 과정이 없으므로 B는 4탄소 화합물이고, A는 5탄소 화합물이다. I에서 ㉠과 ㉡은

생성되지만 ㉔은 생성되지 않으므로 ㉔은 FADH_2 이다. II에서 ㉕은 생성되지만 ㉕은 생성되지 않으므로 ㉕은 NADH , ㉖은 CO_2 이다.
 ㉗. ㉕은 NADH , ㉖은 CO_2 , ㉔은 FADH_2 이다.
 ㉘. III(5탄소 화합물(A) → 4탄소 화합물(B))에서 CO_2 , NADH , ATP 가 생성된다.
 ㉙. II(4탄소 화합물(B) → 옥살아세트산)에서 FADH_2 (㉔)가 생성되므로 ㉔는 '○'이고, III(5탄소 화합물(A) → 4탄소 화합물(B))에서 NADH (㉕)가 생성되므로 ㉕는 '○'이다.

271

과정	물질 전환	생성되는 물질
I	과당 2인산 A → 피루브산	㉕ ATP
II	피루브산 → B 시트르산	㉖ CO_2
III	4탄소 화합물 C → B 시트르산	?
IV	5탄소 화합물 D → C 4탄소 화합물	ATP ㉕, ㉖ CO_2

I(A → 피루브산)에서 ㉕만 생성되므로 A는 과당 2인산이며 ㉕은 ATP 이고, ㉖은 CO_2 이다. B가 4탄소 화합물이라면 II(피루브산 → B)에서 ㉕과 ㉖이 모두 생성되어야 한다. D가 4탄소 화합물이라면 IV(D → C)에서 ㉖만 생성되어야 한다. 따라서 C는 4탄소 화합물이고, B와 D는 각각 시트르산과 5탄소 화합물 중 하나이다. 1분자당 $\frac{\text{B의 탄소 수}}{\text{D의 탄소 수}}$ 는 1보다 크므로 B는 시트르산, D는 5탄소 화합물이다.

① ㉕은 ATP , ㉖은 CO_2 이다.

④ III(4탄소 화합물(C) → 시트르산(B))에서 ATP (㉕)와 CO_2 (㉖)는 모두 생성되지 않는다.

⑤ I~IV에서 모두 탈수소 반응이 일어나 NADH 나 FADH_2 가 생성된다.

⑥ TCA 회로에서 1분자의 4탄소 화합물(C)이 1분자의 5탄소 화합물(D)로 전환되는 과정에서 생성되는 FADH_2 의 분자 수는 1, NADH 의 분자 수는 2이다.

바로알기 | ② A는 과당 2인산(6탄소 화합물), B는 시트르산(6탄소 화합물)이므로 1분자당 $\frac{\text{과당 2인산(A)의 탄소 수}}{\text{시트르산(B)의 탄소 수}}$ 는 1이다.

③ I은 세포질에서, II~IV는 미토콘드리아 바탕질에서 일어난다.

272

A 옥살아세트산 4탄소 화합물	I	B 4탄소 화합물 C 5탄소 화합물
B 4탄소 화합물	II	C 5탄소 화합물
A 옥살아세트산 5탄소 화합물	III	시트르산
C 5탄소 화합물	IV	시트르산

물질 과정	ATP	CO_2	FADH_2
I	㉔ ○	○	×
II	×	㉖ ○	○
III	×	×	×
IV	○	○	○

(○: 생성됨, ×: 생성 안 됨)

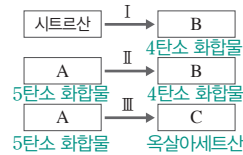
시트르산이 5탄소 화합물로 전환되는 과정에서 CO_2 가 생성되고, 5탄소 화합물이 4탄소 화합물로 전환되는 과정에서 ATP , CO_2 가 생성되며, 옥살아세트산이 시트르산으로 전환되는 과정에서는 ATP , CO_2 , FADH_2 가 모두 생성되지 않는다. IV(C → 시트르산)에서 ATP , CO_2 , FADH_2 가 모두 생성되므로 C는 5탄소 화합물이고, III(A → 시트르산)에서 ATP , CO_2 , FADH_2 가 모두 생성되지 않으므로 A는 옥살아세트산이며, 나머지 B는 4탄소 화합물이다.

㉗. A는 옥살아세트산, B는 4탄소 화합물, C는 5탄소 화합물이다.

㉘. I(옥살아세트산(A) → 4탄소 화합물(B))에서 ATP 가 생성되므로 ㉔는 '○'이고, II(4탄소 화합물(B) → 5탄소 화합물(C))에서 CO_2 가 생성되므로 ㉖는 '○'이다.

바로알기 | ㉙. 1분자의 옥살아세트산(A)이 1분자의 5탄소 화합물(C)로 전환되는 과정에서 생성되는 NADH 의 분자 수는 1이다.

273



과정	분자 수를 더한 값		
	㉕+㉖ CO_2 FADH_2	㉔+㉕ FADH_2 NADH	㉕+㉖ CO_2 NADH
I	2	2	4
II	1	㉔ 1	2
III	㉖ 2	3	3

시트르산이 5탄소 화합물로 전환되는 과정에서 CO_2 , NADH 가 생성되고, 5탄소 화합물이 4탄소 화합물로 전환되는 과정에서 CO_2 , NADH 가 생성된다. I(시트르산 → B)에서 ㉕+㉖이 4이므로 B는 4탄소 화합물이고 ㉔은 FADH_2 이며, ㉕과 ㉖은 각각 CO_2 와 NADH 중 하나이다. II(A → 4탄소 화합물(B))에서 ㉕+㉖이 2이므로 A는 5탄소 화합물이며, 나머지 C는 옥살아세트산이다. III(5탄소 화합물(A) → 옥살아세트산(C))에서 FADH_2 (㉔)+㉕이 3이므로 ㉔은 NADH 이고, 나머지 ㉕은 CO_2 이다.

㉗. ㉕은 CO_2 , ㉖은 FADH_2 , ㉔은 NADH 이다.

㉘. II(5탄소 화합물(A) → 4탄소 화합물(B))에서 FADH_2 (㉔) 0분자, NADH (㉕) 1분자가 생성되므로 ㉔는 1이다. III(5탄소 화합물(A) → 옥살아세트산(C))에서 CO_2 (㉕) 1분자, FADH_2 (㉔) 1분자가 생성되므로 ㉖는 2이다.

바로알기 | ㉙. TCA 회로에서 1분자의 시트르산이 1분자의 5탄소 화합물(A)로 전환되는 과정에서 생성되는 $\frac{\text{FADH}_2(\text{㉔}) \text{의 분자 수}}{\text{NADH}(\text{㉕}) \text{의 분자 수}} = \frac{0}{1} = 0$ 이다.

274

과정	물질 전환	분자 수를 더한 값		
		㉕+㉖ CO_2 ATP	㉔+㉕ ATP NADH	㉕+㉖ CO_2 NADH
I	A → B 시트르산 4탄소 화합물	0	1	1
II	B → D 시트르산 5탄소 화합물	1	? 1	㉔ 2
III	C → D 5탄소 화합물 옥살아세트산	1	1	2

시트르산이 5탄소 화합물로 전환되는 과정에서 CO_2 , NADH 가 생성되고, 5탄소 화합물이 4탄소 화합물로 전환되는 과정에서 ATP , CO_2 , NADH 가 생성되며, 4탄소 화합물이 옥살아세트산으로 전환되는 과정에서 NADH 가 생성되고, 옥살아세트산이 시트르산으로 전환되는 과정에서 ATP , CO_2 , NADH 가 모두 생성되지 않는다. 1분자당 $\frac{\text{A의 탄소 수}}{\text{C의 탄소 수}} = 1$ 이므로 A와 C는 각각 4탄소 화합물과 옥살아세트산 중 하나이다. I(A → B)에서 ㉕+㉖이 0, ㉔+㉕이 1, ㉕+㉖이 1이므로 A는 4탄소 화합물, B는 시트르산이며, C는 옥살아세트산이고 ㉔은 NADH 이다. 나머지 D는 5탄소 화합물이며 ㉕과 ㉖은 각각 ATP 와 CO_2 중 하나이다. III(옥살아세트산(C) → 5탄소 화합물(D))에서 ㉕+㉖이 1, ㉔+㉕이 1, ㉕+㉖이 2이므로 ㉕이 CO_2 , ㉖이 ATP 이다.

㉘. II(시트르산(B) → 5탄소 화합물(D))에서 CO_2 (㉕) 1분자, NADH (㉔) 1분자가 생성되므로 ㉔는 2이다.

㉙. TCA 회로에서 1분자의 5탄소 화합물(D)이 1분자의 옥살아세트산(C)으로 전환되는 과정에서 1분자의 FADH_2 가 생성된다.

바로알기 | ㄱ. ㉠은 CO_2 , ㉡은 ATP, ㉢은 NADH이다.

275 ㄱ. 전자전달계를 통해 전자가 이동하면서 바탕질에 있던 H^+ 이 막사이공간으로 운반되어 막을 경계로 H^+ 의 농도 기울기가 형성되므로, I은 막사이공간, II는 바탕질이다.

ㄴ. 미토콘드리아 내막의 전자전달계와 화학삼투를 통해 NADH와 FADH_2 의 에너지로부터 ATP를 합성할 때, NADH(㉠) 1분자로부터 약 2.5분자의 ATP가, FADH_2 (㉡) 1분자로부터 약 1.5분자의 ATP가 생성된다.

ㄷ. H^+ 이 전자전달계를 통해 바탕질(II)에서 막사이공간(I)으로 이동하는 방식은 능동수송이다.

276 ㉠은 NADH, ㉡은 FADH_2 , ㉢은 O_2 , ㉣은 H_2O 이다.

ㄱ. I(4탄소 화합물 → 옥살아세트산)에서 NADH(㉠)와 FADH_2 (㉡)가 모두 생성된다.

ㄷ. 전자를 최종적으로 수용하는 O_2 (㉢)이 공급되지 않으면 전자전달계에서의 전자 흐름이 정지되어 NADH(㉠)와 FADH_2 (㉡)가 각각 NAD^+ 와 FAD로 산화되지 못하므로 산화적 인산화뿐만 아니라 피루브산의 산화와 TCA 회로도 저해된다.

바로알기 | ㄴ. 전자전달계의 최종 전자수용체는 O_2 (㉢)이다.

277 ㉠은 NADH, ㉡은 FADH_2 이다.

ㄴ. NADH(㉠) 1분자와 FADH_2 (㉡) 1분자로부터 각각 전자전달계로 전달되는 전자의 개수는 2로 같다.

바로알기 | ㄱ. 전자전달계를 통해 전자가 이동하면서 바탕질에 있던 H^+ 이 막사이공간으로 운반되어 막을 경계로 H^+ 의 농도 기울기가 형성되므로, I은 바탕질, II는 막사이공간이다.

ㄷ. 미토콘드리아에서 화학삼투에 의한 인산화가 일어날 때 ATP 합성효소를 통한 H^+ 의 이동 방식은 촉진확산이다.

278 H^+ 의 농도 기울기에 따라 막사이공간에 있는 H^+ 이 ATP 합성효소를 통해 바탕질로 촉진확산하므로, I은 막사이공간, II는 바탕질이다.

ㄱ. H^+ 의 농도는 막사이공간(I)에서가 바탕질(II)에서보다 높으므로, pH는 막사이공간(I)에서가 바탕질(II)에서보다 낮다.

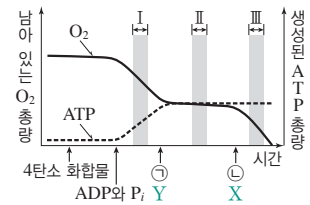
ㄴ. TCA 회로 과정에서 NAD^+ 는 환원되어 NADH가 생성되며, 이 과정은 미토콘드리아 바탕질(II)에서 일어난다.

ㄷ. 전자전달계를 통해 전자가 이동하면서 바탕질(II)에 있던 H^+ 이 막사이공간(I)으로 운반되어 막을 경계로 H^+ 의 농도 기울기가 형성된다.

279 **모범 답안** (나)에서는 ATP가 합성되지 않고, (라)에서는 ATP가 합성될 것이다. H^+ 이 막사이공간에서 바탕질로 ATP 합성효소를 통해 확산되면서 ATP가 합성되는데, (나)에서는 막사이공간과 바탕질의 pH가 같아 H^+ 의 확산이 일어나지 않으므로 ATP가 합성되지 않고, (라)에서는 pH가 낮은 막사이공간에서 pH가 높은 바탕질로 H^+ 의 확산이 일어나므로 ATP가 합성될 것이다.

채점 기준	배점
H^+ 의 농도 기울기에 따라 막사이공간에 있는 H^+ 이 ATP 합성효소를 통해 바탕질 쪽으로 확산할 때 ATP가 합성된다는 내용을 포함하여 (나)와 (라)에서의 ATP 합성 여부를 옳게 서술한 경우	100 %
(나)와 (라)에서의 ATP 합성 여부만 옳게 서술한 경우	50 %

280



• X는 미토콘드리아 내막에 있는 인지질을 통해 H^+ 을 새어 나가게 하므로 X를 첨가하면 전자전달계를 통한 전자의 이동은 증가하여 O_2 의 소비도 증가한다. → ㉡은 X이다.

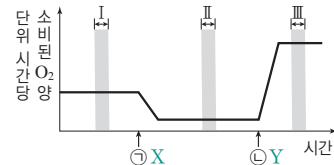
• Y는 ATP 합성효소를 통한 H^+ 의 이동을 차단하므로 Y를 첨가하면 전자전달계를 통한 전자의 이동이 감소하여 O_2 의 소비도 감소한다. → ㉠은 Y이다.

ㄴ. 전자전달계를 통한 전자는 최종적으로 O_2 로 전달되며, 전자를 받은 O_2 는 H^+ 과 결합하여 H_2O 를 생성한다. 구간 I에서가 구간 II에서보다 소비되는 O_2 의 양이 많으므로 생성되는 H_2O 분자 수도 많다.

바로알기 | ㄱ. ㉠은 Y, ㉡은 X이다.

ㄷ. X(㉡)는 미토콘드리아 내막에 있는 인지질을 통해 H^+ 을 새어 나가게 하므로 X(㉡)를 첨가하면 막사이공간의 pH는 높아지고 바탕질의 pH는 낮아진다. 따라서 미토콘드리아의 $\frac{\text{막사이공간의 pH}}{\text{바탕질의 pH}}$ 는 구간 II에서가 구간 III에서보다 작다.

281



• X는 ATP 합성효소를 통한 H^+ 의 이동을 차단하므로 X를 첨가하면 전자전달계를 통한 전자의 이동이 감소하여 O_2 의 소비도 감소한다. → ㉠은 X이다.

• Y는 미토콘드리아 내막에 있는 인지질을 통해 H^+ 을 새어 나가게 하므로 Y를 첨가하면 전자전달계를 통한 전자의 이동이 증가하여 O_2 의 소비도 증가한다. → ㉡은 Y이다.

ㄱ. ㉠은 X, ㉡은 Y이다.

ㄴ. X(㉠)는 ATP 합성효소를 통한 H^+ 의 이동을 차단하므로 X(㉠)를 첨가하면 전자전달계를 통한 전자의 이동이 감소한다. 따라서 단위 시간당 미토콘드리아의 전자전달계를 통해 이동하는 전자의 수는 구간 I에서가 구간 II에서보다 많다.

바로알기 | ㄷ. Y(㉡)는 미토콘드리아 내막에 있는 인지질을 통해 H^+ 을 새어 나가게 하므로 Y(㉡)를 첨가하면 막사이공간의 H^+ 농도는 낮아지고 바탕질의 H^+ 농도는 높아진다. 따라서 미토콘드리아의 $\frac{\text{바탕질의 } \text{H}^+ \text{ 농도}}{\text{막사이공간의 } \text{H}^+ \text{ 농도}}$ 는 구간 II에서가 구간 III에서보다 작다.

12 세포호흡의 에너지효율

빈출 자료 보기

88쪽

282 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) ○ (5) × (6) ○ (7) ×

282 (가)는 단백질, (나)는 탄수화물, (다)는 지방이고, ㉠은 아미노산, ㉡은 글리세롤, ㉢은 지방산이다.

- (1) 단백질(가), 탄수화물(나), 지방(다)과 같이 세포호흡에 이용되는 유기물을 호흡기질이라고 한다.
- (2), (3) 세포호흡에서 호흡기질이 분해될 때 소비된 산소의 부피에 대해 발생한 이산화 탄소의 부피비를 호흡률이라고 하며, 탄수화물(나)은 1.0, 단백질(가)은 약 0.8, 지방(다)은 약 0.7이다.
- (4) 아미노산(㉠)이 호흡기질로 이용될 때에는 탈아미노작용으로 아미노기가 제거된 뒤 피루브산, 아세틸조효소 A, TCA 회로의 중간 산물 등으로 전환되어 세포호흡의 경로로 들어가 산화된다.
- (6) 글리세롤(㉡)은 해당 과정의 중간 산물로 전환된 뒤 해당 과정과 TCA 회로를 거쳐 산화되며, 지방산(㉢)은 아세틸조효소 A로 전환된 뒤 TCA 회로를 거쳐 산화되므로, 글리세롤(㉡)과 지방산(㉢)이 세포호흡을 통해 완전 분해될 때 모두 기질수준인산화가 일어난다.
- 바로알기** | (5) ㉠은 글리세롤, ㉡은 지방산이다.
- (7) 지방산(㉢)은 아세틸조효소 A로 전환된 뒤 TCA 회로를 거쳐 산화되므로, 해당 과정을 거치지 않고 산화된다.

난이도별 필수 기출

89쪽~91쪽

283 ㄴ	284 ㄱ	285 ①	286 해설 참조
287 ②, ③	288 ②	289 ②	290 ①
291 ③	292 ④	293 ②	294 ①

283 ㄴ. 포도당 1분자가 세포호흡을 통해 완전 분해될 때 (가)에서 2ATP, (나)에서 2ATP, (다)에서 최대 28ATP가 생성된다.

바로알기 | ㄱ. (가)와 (나)는 모두 기질수준인산화, (다)는 산화적 인산화이다.

ㄷ. 포도당 1분자가 최종 분해되면 최대 32ATP가 생성된다.

284 ㄱ. 고에너지 전자는 전자운반체를 차례로 환원시키면서 에너지를 조금씩 방출하고 최종적으로 O_2 (㉢)로 전달되므로, O_2 (㉢)는 전자전달계에서 최종 전자수용체이다.

바로알기 | ㄴ. 피루브산 1분자가 세포호흡을 통해 완전 분해될 때 피루브산의 산화 과정에서 NADH 1분자, TCA 회로에서 NADH 3분자, $FADH_2$ 1분자, ATP 1분자를 생성한다. 따라서 최대 $(2.5 \times 4) + (1.5 \times 1) + 1 = 12.5ATP$ 가 생성된다.

ㄷ. (가)는 미토콘드리아 내막에서 NADH(㉠)과 $FADH_2$ (㉡)의 에너지로부터 ATP를 합성하는 과정인 산화적 인산화이다.

285 ㄱ. (가)와 (나)는 모두 기질수준인산화이고, (다)는 산화적 인산화이다.

바로알기 | ㄴ. ㉠은 2, ㉡은 2, ㉢은 28이므로, ㉠+㉡<㉢이다.

ㄷ. 포도당에 저장되어 있던 에너지의 일부는 ATP에 저장되고, 나머지는 열로 방출되어 체온 유지 등에 사용된다.

286 **모범 답안** 세포호흡의 에너지효율(%)은

$\frac{32 \times 7.3 \text{ kcal/mol}}{686 \text{ kcal/mol}} \times 100 \approx 34$ 이므로, 세포호흡의 에너지효율은 약 34 %이다.

채점 기준	배점
세포호흡의 에너지효율 풀이 과정과 답이 모두 옳은 경우	100 %
세포호흡의 에너지효율 다만 옳은 경우	50 %

287 ① (가)는 탄수화물, (나)는 단백질, (다)는 지방이다.

④ ㉠은 포도당, ㉡은 아미노산, ㉢은 글리세롤, ㉣은 지방산이다.

⑤ ㉠은 피루브산, ㉡은 아세틸조효소 A이다.

⑥ 피루브산(㉠) 1분자당 탄소 수는 3, 아세틸조효소 A(㉡) 1분자당 탄소 수는 2이므로, 피루브산(㉠)과 아세틸조효소 A(㉡) 1분자당 탄소 수의 합은 5이다.

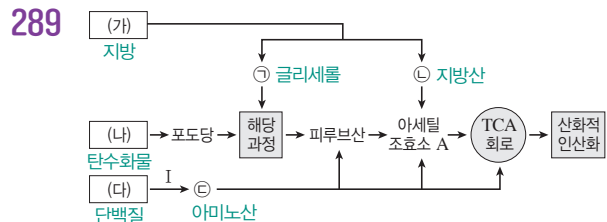
바로알기 | ② 호흡률은 탄수화물(가)이 1.0, 단백질(나)이 약 0.8, 지방(다)이 약 0.7이므로, 호흡률은 단백질(나)이 지방(다)보다 크다.

③ 단백질(나)은 아미노산(㉠)으로 분해된 후, 피루브산(㉠), 아세틸조효소 A(㉡), TCA 회로의 중간 산물 등으로 전환되어 분해되므로, 해당 과정을 거치지 않고 분해된다.

288 ㄴ. ㉠은 아미노산, ㉡은 글리세롤, ㉢은 지방산이다.

바로알기 | ㄱ. I에서는 기질수준인산화가 일어나지만, II에서는 기질수준인산화가 일어나지 않는다.

ㄷ. ㉢은 지방산이며, 아미노산(㉠)이 아미노기가 제거된 후 세포호흡에 사용된다.



ㄴ. ㉠은 글리세롤, ㉡은 지방산, ㉢은 아미노산이다.

바로알기 | ㄱ. 호흡률은 지방(가)이 약 0.7, 탄수화물(나)은 1, 단백질(다)은 약 0.8이므로, 지방(가)이 탄수화물(나)보다 작다.

ㄷ. I에서 단백질이 아미노산으로 분해되고, 아미노산이 세포호흡에 사용될 때 아미노기가 제거된다.

290 (가)는 아미노산, (나)는 지방산, (다)는 포도당이다.

ㄱ. 아미노산(가)이 호흡기질로 사용될 때에는 탈아미노작용으로 아미노기가 제거된 뒤, 피루브산, 아세틸조효소 A, TCA 회로의 중간 산물 등으로 전환되어 세포호흡의 경로로 들어가 산화된다.

바로알기 | ㄴ. 지방산(나)은 해당 과정을 거치지 않고 아세틸조효소 A로 전환된 뒤 TCA 회로를 거쳐 산화된다.

ㄷ. (다)는 포도당이다.

291 (가)는 단백질, (나)는 지방이며, ㉠은 아미노산, ㉡은 글리세롤, ㉢은 지방산이다.

ㄱ. 탄수화물, 단백질(가), 지방(나)과 같이 세포호흡에 이용되는 유기물을 호흡기질이라고 한다.

ㄴ. 아미노산(㉠)은 탈아미노작용으로 아미노기가 제거된 후 세포호흡에 사용된다.

바로알기 | ㄷ. 지방산(㉢)은 해당 과정을 거치지 않고 아세틸조효소 A로 전환된 뒤 TCA 회로를 거쳐 산화된다.

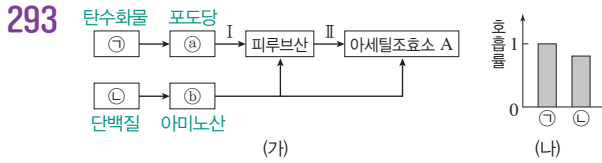
292 (가)는 단백질, (나)는 탄수화물, (다)는 지방이다.

ㄴ. 아미노산(㉠)은 탈아미노작용으로 아미노기가 제거된 뒤, 피루브산, 아세틸조효소 A, TCA 회로의 중간 산물 등으로 전환된 뒤 산화되며, 지방산(㉢)은 아세틸조효소 A로 전환된 뒤 TCA 회로를 거쳐 산화되므로, 아미노산(㉠)과 지방산(㉢)이 세포호흡을 통해 완전 분해될 때 모두 산화적 인산화가 일어난다.

ㄷ. 세포호흡에서 호흡기질이 분해될 때 소비된 O_2 의 부피에 대해 발생한

CO₂의 부피비를 호흡률이라고 하며, 호흡률은 탄수화물(나)은 1, 지방(다)은 약 0.7이므로, 세포호흡을 통해 완전 분해될 때 발생한 CO₂의 부피 소비된 O₂의 부피는 탄수화물(나)이 지방(다)보다 크다.

바로알기 | ㄱ. ㉠은 아미노산, ㉡은 글리세롤, ㉢은 지방산이다.



• I: 해당 과정으로 세포질에서 일어난다.

• II: 피루브산의 산화로 미토콘드리아 바탕질에서 일어난다.

호흡률은 ㉠이 1이므로 ㉠은 탄수화물, 호흡률이 ㉠보다 작은 ㉡은 단백질이며, ㉢은 포도당, ㉣은 아미노산이다.

ㄷ. 아미노산(㉣)은 탈아미노작용으로 아미노기가 제거된 후 세포호흡에 사용된다.

바로알기 | ㄱ. I은 세포질에서 일어나지만, II는 미토콘드리아 바탕질에서 일어난다.

ㄴ. 세포호흡에서 호흡기질이 분해될 때 소비된 O₂의 부피에 대해 발생한 CO₂의 부피비를 호흡률이라고 하며, ㉡의 호흡률은 1보다 작으므로 ㉡이 세포호흡을 통해 완전 분해될 때 발생한 CO₂의 부피는 소비된 O₂의 부피보다 작다.

294 ㉠은 단백질, ㉡은 지방이며, ㉢은 아미노산, ㉣은 지방산이다.

ㄱ. 호흡률은 세포호흡에서 호흡기질이 분해될 때 소비된 산소의 부피에 대해 발생한 이산화 탄소의 부피비이며, 호흡률은 단백질(㉠)이 약 0.8, 지방(㉡)이 약 0.7이므로, 호흡률은 단백질(㉠)이 지방(㉡)보다 크다.

바로알기 | ㄴ. 아미노산(㉢)에 아미노기가 있으며, 아미노산(㉣)이 세포호흡에 사용될 때 아미노기가 제거된다.

ㄷ. 지방산(㉣)은 아세틸조효소 A로 전환된 뒤 TCA 회로를 거쳐 산화된다.

13 발효

빈출 자료 보기

93쪽

295 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) × (6) ×

295 피루브산이 아세틸조효소 A로 전환되는 과정에서 CO₂, NADH가 생성되고 피루브산이 에탄올로 전환되는 과정에서 CO₂, NAD⁺가 생성되며, 피루브산이 젖산으로 전환되는 과정에서 NAD⁺가 생성되므로 I에서만 생성되는 ㉢은 NADH이고, 같이 생성되는 ㉣은 CO₂이며, 나머지 ㉠은 NAD⁺이다. I에서 CO₂(㉣)과 NADH(㉢)가 생성되므로 A는 아세틸조효소 A이고, II에서 NAD⁺(㉠)과 CO₂(㉣)가 생성되므로 B는 에탄올이며, III에서 NAD⁺(㉠)가 생성되므로 C는 젖산이다.

(2) ㉠은 NAD⁺, ㉡은 CO₂, ㉢은 NADH이다.

(3) 아세틸조효소 A(A)는 2탄소 화합물이고 에탄올(B)도 2탄소 화합물이므로, 1분자당 $\frac{A \text{의 탄소 수}}{B \text{의 탄소 수}} = 1$ 이다.

바로알기 | (1) III(피루브산 → 젖산(C))에서 NADH(㉢)가 생성되지 않으므로, ㉢은 0이다.

(4) 에탄올(B)의 분자식은 C₂H₅OH이고 젖산(C)의 분자식은 C₃H₆O₃이므로, 1분자당 수소 수는 에탄올(B)과 젖산(C)이 같다.

(5) I ~ III에서 모두 ATP가 생성되지 않는다.

(6) I은 미토콘드리아 바탕질에서, II와 III은 세포질에서 일어난다.

난이도별 필수 기출

94쪽~99쪽

296 ④, ⑥	297 ④, ⑤	298 ②	299 ②
300 ③	301 ②	302 해설 참조	303 ①
305 ⑤	306 ①	307 ④	308 ⑤
310 ㄱ, ㄴ, ㄷ	311 ④	312 ④	313 ⑤
314 해설 참조	315 ②	316 ④	317 ②
319 ⑤	320 ④	321 ⑤	318 ①

296 (가)는 발효, (나)는 산소호흡이다.

① 발효(가)에서 탈수소 반응이 일어나 NADH가 생성된다.

② 발효(가)와 산소호흡(나)은 모두 효소가 작용하는 물질대사이다.

③ 산소호흡(나)에서 탈탄산 반응이 일어나 CO₂가 생성되고, 탈수소 반응이 일어나 NADH와 FADH₂가 생성된다.

⑤ 발효(가)와 산소호흡(나)에서 모두 포도당이 해당 과정을 거쳐 피루브산으로 산화된 후, 산소호흡(나)에서 피루브산은 미토콘드리아로 들어가 피루브산의 산화 및 TCA 회로와 산화적 인산화를 거쳐 CO₂와 H₂O로 분해되며, 발효(가)에서 피루브산은 미토콘드리아로 들어가지 않고 세포질에서 젖산 또는 에탄올 등이 생성된다.

바로알기 | ④ 발효(가)의 분해 산물은 젖산 또는 에탄올이고, 산소호흡(나)의 분해 산물은 CO₂와 H₂O이므로, 분해 산물의 에너지량은 발효(가)에서가 산소호흡(나)에서보다 많다.

⑥ 발효(가)는 세포질에서, 산소호흡(나)은 세포질과 미토콘드리아에서 일어난다.

297 ① 산소호흡과 발효에서 모두 포도당이 해당 과정을 거쳐 피루브산으로 산화된 때 기질수준인산화가 일어나 ATP가 생성된다.

②, ③ 산소호흡에서는 해당 과정, TCA 회로, 산화적 인산화 단계에서 ATP가 생성되지만, 발효에서는 해당 과정을 통해서만 ATP가 생성되므로, 포도당 1분자당 생성되는 ATP양은 산소호흡에서가 발효에서보다 많다.

바로알기 | ④ 산소호흡에서 최종 전자수용체는 산소이고, 발효에서 최종 전자수용체는 피루브산 또는 아세트알데하이드이다.

⑤ 피루브산은 산소가 있을 때는 미토콘드리아에서 산화되고, 산소가 없을 때는 세포질에서 환원된다.

298 (가)는 해당 과정, (나)는 발효 과정의 일부, (다)는 피루브산의 산화, (라)는 TCA 회로이다.

ㄷ. 피루브산의 산화(다)에서 피루브산이 아세틸조효소 A로 산화될 때

CO₂가 생성되고, TCA 회로(라)에서 시트르산이 5탄소 화합물로 산화될 때와 5탄소 화합물이 4탄소 화합물로 산화될 때 CO₂가 생성된다.

바로알기 | ㄱ. 해당 과정(가)과 발효(나)는 모두 세포질에서 일어나고, 피루브산의 산화(다)와 TCA 회로(라)는 모두 미토콘드리아 바탕질에서 일어난다.

ㄴ. (나)의 젖산발효에서 피루브산이 환원되고, (다)에서 피루브산이 산화된다.

299 ㄷ. 산소가 있을 때는 (가), (나), (라) 과정이 일어나고, 산소가 없을 때는 (가), (다) 과정이 일어난다.

바로알기 | ㄱ. 산소가 있을 때와 없을 때 모두 포도당은 해당 과정(가)을 거쳐 피루브산으로 산화된다.

ㄴ. 포도당 1분자당 기질수준인산화로 생성되는 ATP양은 (나)와 (다)에서 모두 0이다. 산소호흡에서는 포도당 1분자당 기질수준인산화로 해당 과정(가)에서 2ATP, TCA 회로에서 2ATP가 생성되고, 발효에서는 포도당 1분자당 기질수준인산화로 해당 과정(가)에서 2ATP가 생성된다.

300 I은 알코올발효, II는 젖산발효이다.

ㄱ. A는 에탄올, B는 젖산이다.

ㄷ. 사람의 근육세포는 산소 공급이 충분한 경우 산소호흡을 통해, 산소 공급이 부족한 경우 젖산발효를 통해 운동에 필요한 ATP를 생성한다.

바로알기 | ㄴ. ㉠은 CO₂, ㉡은 NAD⁺이다.

301 I은 알코올발효, II는 젖산발효이고, A는 에탄올, B는 젖산이다.

ㄷ. 발효는 포도당이 해당 과정을 거쳐 피루브산으로 산화된 후, 미토콘드리아로 들어가지 않고 세포질에서 젖산 또는 에탄올 등이 생성된다.

바로알기 | ㄱ. ㉠은 CO₂, ㉡은 NAD⁺이다.

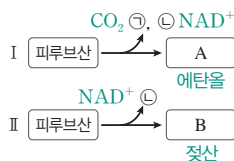
ㄴ. 젖산발효(II)에서 피루브산은 젖산(B)으로 환원된다.

302 **모범 답안** • 공통점: 세포질에서 일어난다. NADH가 NAD⁺로 산화된다. 등

• 차이점: 젖산발효에서는 CO₂가 생성되지 않지만, 알코올발효에서는 CO₂가 생성된다. 젖산발효에서 최종 전자수용체는 피루브산이지만, 알코올발효에서 최종 전자수용체는 아세트알데하이드이다. 등

채점 기준	배점
공통점과 차이점을 각각 두 가지씩 모두 옳게 서술한 경우	100 %
공통점과 차이점을 각각 두 가지 미만이지만 모두 옳게 서술한 경우	70 %
공통점과 차이점 중 하나만 두 가지 옳게 서술한 경우	50 %

303



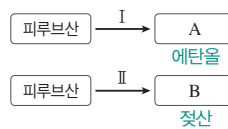
특징
• NADH의 산화가 일어난다. I과 II에서 모두 일어남
• 기질수준인산화로 ATP가 생성된다. I과 II에서 모두 일어나지 않음

ㄱ. ㉠은 CO₂, ㉡은 NAD⁺이다.

바로알기 | ㄴ. I과 II에서 모두 NADH의 산화가 일어나지만, I과 II에서 모두 기질수준인산화로 ATP가 생성되지는 않는다.

ㄷ. $\frac{\text{I에서 피루브산 1분자당 생성되는 CO}_2\text{(㉠)의 분자 수}}{\text{II에서 피루브산 1분자당 생성되는 NAD}^+\text{(㉡)의 분자 수}} = \frac{1}{1} = 1$ 이다.

304



물질	㉠	㉡
과정	NAD ⁺	CO ₂
I	㉠○	?○
II	○	×

(○: 생성됨, ×: 생성 안 됨)

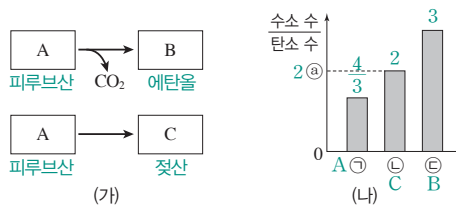
피루브산이 에탄올로 전환되는 과정에서 CO₂, NAD⁺가 생성되며, 피루브산이 젖산으로 전환되는 과정에서 NAD⁺가 생성된다. ㉠이 II에서 생성되지 않으므로 ㉡은 CO₂이고, II는 젖산발효이며, B는 젖산이다. 나머지 ㉠은 NAD⁺이고, I은 알코올발효이며, A는 에탄올이다.

ㄱ. NAD⁺(㉠)은 알코올발효(I)에서 생성되므로, ㉠은 '○'이다.

바로알기 | ㄴ. ㉠은 NAD⁺, ㉡은 CO₂이다.

ㄷ. 에탄올(A)은 2탄소 화합물, 젖산(B)은 3탄소 화합물이므로, 1분자당 $\frac{\text{A의 탄소 수}}{\text{B의 탄소 수}}$ 는 1보다 작다.

305



피루브산이 에탄올로 전환되는 과정에서 CO₂, NAD⁺가 생성되며, 피루브산이 젖산으로 전환되는 과정에서 NAD⁺가 생성되므로 A는 피루브산, B는 에탄올, C는 젖산이다. 피루브산(A)의 분자식은 C₃H₄O₃, 에탄올(B)의 분자식은 C₂H₅OH, 젖산의 분자식은 C₃H₆O₃이므로, $\frac{\text{수소 수}}{\text{탄소 수}}$ 는 A는 $\frac{4}{3}$, B는 3, C는 2이다. 따라서 ㉠은 A, ㉡은 C, ㉢은 B이다.

ㄱ. ㉡(C, 젖산)의 분자식은 C₃H₆O₃이므로, $\frac{\text{수소 수}}{\text{탄소 수}} = \frac{6}{3} = 2$ 이다.

ㄴ. ㉠(A, 피루브산)의 분자식은 C₃H₄O₃이고 ㉡(C, 젖산)의 분자식은 C₃H₆O₃이므로, 1분자당 탄소 수는 ㉠과 ㉡이 모두 3이다.

ㄷ. 효모에 의해 빵을 만들 때 효모에 의한 알코올발효가 일어나므로, ㉠(A, 피루브산)이 ㉢(B, 에탄올)으로 전환된다.

306 1분자당 탄소 수는 포도당은 6, 피루브산은 3, 젖산은 3, 에탄올은 2이다. 1분자당 탄소 수의 비가 A : B = 1 : 1, C : D = 1 : 3이므로 A와 B는 각각 피루브산과 젖산 중 하나이며, C는 에탄올, D는 포도당이다. 1분자당 $\frac{\text{수소 수}}{\text{탄소 수}}$ 는 피루브산이 $\frac{4}{3}$, 젖산이 2이다. 1분자당 $\frac{\text{수소 수}}{\text{탄소 수}}$ 는 A가 B보다 크므로 A는 젖산, B는 피루브산이다.

ㄱ. A는 젖산, B는 피루브산, C는 에탄올, D는 포도당이다.

바로알기 | ㄴ. II에서 피루브산(B)이 젖산(A)으로 환원되고, NADH가 NAD⁺로 산화된다.

ㄷ. III에서는 CO₂가 생성되지 않고, IV에서는 CO₂가 생성된다.

307

해당 과정	물질	㉠	㉡	㉢
과정	ATP	CO ₂	NAD ⁺	
I	?	×	×	
II	×	×	○	
III	×	?	○	

(○: 생성됨, ×: 생성 안 됨)

포도당이 피루브산으로 전환되는 과정에서 ATP가 생성되고 피루브산이 에탄올로 전환되는 과정에서 CO₂, NAD⁺가 생성되며, 피루브산이 젖산으로 전환되는 과정에서 NAD⁺가 생성된다. ㉢은 II와 III에서 모두 생성되므로 ㉢은 NAD⁺이고, II에서 NAD⁺(㉢)만 생성되므로

로 A는 젖산이고 B는 에탄올이다. Ⅲ에서 ㉠이 생성되지 않으므로 ㉡은 CO_2 이고, 나머지 ㉢은 ATP이다.

ㄴ. I에서 탈수소 반응으로 NADH가 생성된다.

ㄷ. Ⅲ에서 탈탄산 반응으로 CO_2 가 생성된다.

바로알기 | ㄱ. ㉠은 ATP, ㉡은 CO_2 , ㉢은 NAD^+ 이다.

308 사람의 근육세포에서 산소 공급이 충분한 경우 산소호흡을 통해, 산소 공급이 부족한 경우 젖산발효를 통해 운동에 필요한 ATP를 생성한다.

ㄱ. 사람의 근육세포에서 O_2 가 부족할 때 젖산발효가 일어나므로, A는 젖산이다.

ㄴ. 근육세포에 축적된 젖산은 혈액에 의해 간으로 운반되어 피루브산으로 전환된 뒤, 산소호흡에 이용되거나 포도당으로 합성된다.

ㄷ. I에서 산소호흡이 일어나 포도당 1분자당 최대 32ATP를 생성하고, II에서 젖산발효가 일어나 포도당 1분자당 2ATP를 생성하므로, 단위 시간당 근육 내 $\frac{\text{생성된 ATP의 분자 수}}{\text{소모된 포도당의 분자 수}}$ 는 I에서 II에서보다 크다.

309 호흡기질의 종류에 따라 효모의 알코올발효에 의해 생성되는 CO_2 의 양이 다르다. 효모의 알코올발효는 포도당을 호흡기질로 할 때 가장 잘 일어나고, 당이 없는 증류수에서는 일어나지 않는다. 따라서 A는 II, B는 III, C는 I의 결과이다.

ㄴ. 효모의 알코올발효는 산소가 없는 상태에서 효모가 에너지(ATP)를 얻기 위해 포도당을 분해하여 CO_2 와 에탄올을 생성하는 과정이다. 따라서 발효관에서 효모의 알코올발효가 일어나면 맹관부에 CO_2 가 모인다.

ㄷ. 그림에서 일정 시간이 지난 후 효모의 알코올발효 생성물인 CO_2 의 부피가 A(II의 결과), B(III의 결과), C(I의 결과) 순으로 많으므로, 효모의 알코올발효에서 또 다른 생성물인 에탄올의 양도 A(II의 결과), B(III의 결과), C(I의 결과) 순으로 많을 것이다.

바로알기 | ㄱ. A는 II, B는 III, C는 I의 결과이다.

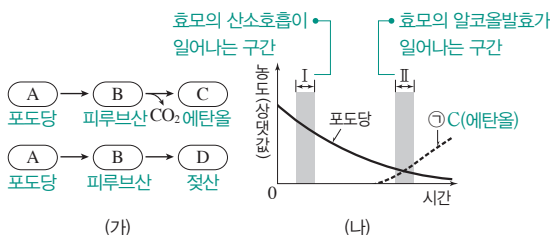
310 효모의 알코올발효는 산소가 없는 상태에서 효모가 에너지(ATP)를 얻기 위해 포도당을 분해하여 CO_2 와 에탄올을 생성하는 과정이다. 그 결과 시간이 지날수록 포도당의 농도는 감소하고 에탄올의 농도는 증가한다.

ㄱ. ㉠은 에탄올, ㉡은 포도당이다.

ㄴ. 아세트알데하이드는 NADH로부터 H^+ 과 전자를 받아 에탄올(㉠)로 환원되고, NADH의 산화로 재생성된 NAD^+ 는 해당 과정에서 다시 사용된다.

ㄷ. 포도당(㉡) 1분자가 해당 과정을 거쳐 피루브산 2분자로 분해될 때 기질수준인산화가 일어나 ATP가 생성된다.

311



포도당이 피루브산으로 전환되는 과정에서 ATP가 생성되고, 피루브산이 에탄올로 전환되는 과정에서 CO_2 , NAD^+ 가 생성되며, 피루브

산이 젖산으로 전환되는 과정에서 NAD⁺가 생성된다. 따라서 A는 포도당, B는 피루브산, C는 에탄올, D는 젖산이다.

① 산소와 포도당이 모두 포함된 배양액에 효모를 넣고 밀폐시키면 처음에는 산소호흡이 일어나고, 산소가 소모되면 효모의 알코올발효가 일어나 시간이 지날수록 포도당의 농도는 감소하고, ㉠(C, 에탄올)의 농도는 증가한다.

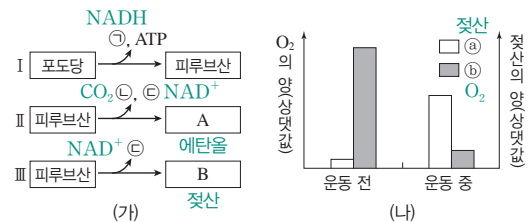
② II에서 효모의 알코올발효가 일어나고 있으므로, 알코올발효 과정에서 해당 과정에서 기질수준인산화가 일어나 ATP가 생성된다.

③ I에서 효모의 산소호흡이 일어나고 있으므로, 피루브산의 산화 및 TCA 회로 과정에서 탈탄산 반응이 일어나 CO_2 가 생성된다. II에서 효모의 알코올발효가 일어나고 있으므로, 알코올발효 과정에서 피루브산이 아세트알데하이드로 전환되는 과정에서 탈탄산 반응이 일어나 CO_2 가 생성된다.

⑤ 단위 시간당 생성되는 ATP 분자 수는 산소호흡이 일어나고 있는 I에서 알코올발효가 일어나고 있는 II에서보다 많다.

바로알기 | ④ 피루브산(B)이 에탄올(C)로 전환되는 과정에서 아세트알데하이드가 환원된다.

312



포도당이 피루브산으로 전환되는 과정에서 NADH, ATP가 생성되고 피루브산이 에탄올로 전환되는 과정에서 CO_2 , NAD^+ 가 생성되며, 피루브산이 젖산으로 전환되는 과정에서 NAD⁺가 생성된다. 따라서 ㉠은 NADH, ㉡은 CO_2 , ㉢은 NAD^+ 이고, A는 에탄올, B는 젖산이다.

① 운동 전에 비해 운동 중에 양이 감소하는 ㉢은 O_2 이다.

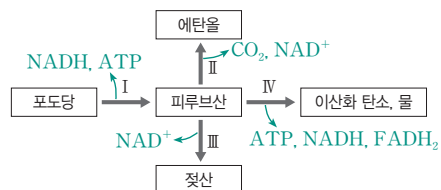
② ㉠은 NADH, ㉡은 CO_2 , ㉢은 NAD^+ 이다.

③ 에탄올(A)의 분자식은 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 이고 젖산(B)의 분자식은 $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ 이다. 1분자당 $\frac{\text{탄소 수}}{\text{수소 수}}$ 는 에탄올(A)이 $\frac{2}{6}$ 이고, 젖산(B)이 $\frac{3}{6}$ 이므로, 1분자당 $\frac{\text{탄소 수}}{\text{수소 수}}$ 는 에탄올(A)이 젖산(B)보다 작다.

⑤ 사람의 근육세포에서 산소 공급이 충분한 경우 산소호흡을 통해, 산소 공급이 부족한 경우 젖산발효를 통해 운동에 필요한 ATP를 생성한다.

바로알기 | ④ $\frac{\text{I에서 포도당 1분자당 생성되는 NADH(㉠)의 분자 수}}{\text{II에서 피루브산 1분자당 생성되는 } \text{CO}_2(㉡) \text{의 분자 수}} = \frac{2}{1} = 2$ 이다.

313



ㄱ. I과 IV에서 기질수준인산화가 일어나 ATP가 생성된다.

ㄴ. II에서 피루브산이 아세트알데하이드로 전환된 후, 아세트알데하이드가 에탄올로 환원되는 과정에서 NADH가 NAD^+ 로 산화된다. III에서 피루브산이 젖산으로 환원되는 과정에서 NADH가 NAD^+ 로 산화된다.

ㄷ. I~III은 모두 세포질에서 일어나고, IV는 미토콘드리아 바탕질에서 일어난다.

314 **모범 답안** 산소가 없는 상태에서 효모는 알코올발효를 하며, 해당 과정(I)에서만 ATP를 생성한다. 해당 과정(I)이 계속 일어나기 위해 NAD^+ 가 공급되어야 하는데, NAD^+ 는 II에서 생성된다.

채점 기준	배점
I에서만 ATP가 생성된다는 것과 II에서 NAD^+ 가 생성되어 I에 공급한다는 것을 포함하여 옳게 서술한 경우	100 %
I에서만 ATP가 생성된다는 것과 II에서 NAD^+ 가 생성되어 I에 공급한다는 것 중 한 가지만 서술한 경우	50 %

315

과정	물질	① NAD^+	② CO_2	③ NADH
I	피루브산 → A (젖산)	○	×	×
II	피루브산 → B (아세트알데하이드 A)	×	○	○
III	피루브산 → C (에탄올)	○	○	×

(○: 생성됨, ×: 생성 안 됨)

피루브산이 아세트알데하이드 A로 전환되는 과정에서 CO_2 , NADH 가 생성되고, 피루브산이 에탄올로 전환되는 과정에서 CO_2 , NAD^+ 가 생성되며, 피루브산이 젖산으로 전환되는 과정에서 NAD^+ 가 생성되므로 II에서만 생성되는 ③은 NADH 이고 ②은 CO_2 이며, 나머지 ①은 NAD^+ 이다. I에서 NAD^+ (①)만 생성되므로 A는 젖산이고, II에서 CO_2 (②)와 NADH (③)가 생성되므로 B는 아세트알데하이드 A이며, III에서 NAD^+ (①)와 CO_2 (②)가 생성되므로 C는 에탄올이다.

ㄷ. 젖산(A)의 분자식은 $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ 이고 에탄올(C)의 분자식은 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 이다. 1분자당 $\frac{\text{젖산(A)의 수소 수}}{\text{에탄올(C)의 수소 수}} = \frac{6}{6} = 1$ 이다.

바로알기 | ㄱ. ①은 NAD^+ , ②은 CO_2 , ③은 NADH 이다.

ㄴ. I에서 피루브산은 환원되고, II에서 피루브산은 산화된다.

316

과정	장소	CO_2 와 NAD^+ 중 하나
I	세포질	1
II	미토콘드리아 바탕질	① 1
III	세포질	② 2

피루브산이 아세트알데하이드 A로 전환되는 과정에서 CO_2 가 생성되고 피루브산이 에탄올로 전환되는 과정에서 CO_2 , NAD^+ 가 생성되며, 피루브산이 젖산으로 전환되는 과정에서 NAD^+ 가 생성된다. I은 세포질에서 일어나며, ①+②($\text{CO}_2 + \text{NAD}^+$)이 1이므로 A는 젖산이다. 피루브산이 아세트알데하이드 A로 전환되는 과정에서 ①+②($\text{CO}_2 + \text{NAD}^+$)이 1이고, 피루브산이 에탄올로 전환되는 과정에서 ①+②($\text{CO}_2 + \text{NAD}^+$)이 2인데, ①은 ②보다 작으므로 ①은 1, ②는 2이며, B는 아세트알데하이드 A이고, C는 에탄올이다.

ㄴ. II(피루브산 → 아세트알데하이드 A(B))는 미토콘드리아 바탕질에서 일어난다.

ㄷ. 포도당의 분자식은 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 이고 젖산(A)의 분자식은 $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ 이다. 1분자당 $\frac{\text{수소 수}}{\text{탄소 수}}$ 는 포도당이 $\frac{12}{6}$ 이고, 젖산(A)이 $\frac{6}{3}$ 이므로, 1분자당 $\frac{\text{수소 수}}{\text{탄소 수}}$ 는 포도당과 젖산(A)이 같다.

바로알기 | ㄱ. A는 젖산, B는 아세트알데하이드 A, C는 에탄올이다.

317

과정	분자 수의 비
I	NAD^+ ① : ② CO_2 = 1 : 1
II	NADH ③ : ④ ATP = 1 : 2
III	NADH ⑤ : ⑥ CO_2 = 1 : 1

과당 2인산 1분자가 피루브산 2분자로 전환되는 과정에서 2 NADH , 4 ATP 가 생성되고, 피루브산이 아세트알데하이드 A로 전환되는 과정에서 CO_2 , NADH 가 생성되며, 피루브산이 에탄올로 전환되는 과정에서 CO_2 , NAD^+ 가 생성된다. 따라서 C는 과당 2인산이고 A는 피루브산이며, B와 D는 각각 에탄올과 아세트알데하이드 A 중 하나이다. II(과당 2인산(C) → 2피루브산(A))에서 2 NADH 와 4 ATP 가 생성되므로 ③은 NADH , ④은 ATP 이다. III(피루브산(A) → D)에서 NADH (⑤)가 생성되므로 D는 아세트알데하이드 A이며, ⑥은 CO_2 이다. 나머지 B는 에탄올이며, ①은 NAD^+ 이다.

ㄷ. II(과당 2인산(C) → 2피루브산(A))에서 기질수준인산화가 일어나 4 ATP 가 생성된다.

바로알기 | ㄱ. A는 피루브산, B는 에탄올, C는 과당 2인산, D는 아세트알데하이드 A이다.

ㄴ. ①은 NAD^+ , ②은 NADH , ③은 ATP , ④은 CO_2 이다.

318

과정	①+② NADH CO_2	③+④ CO_2 NAD^+	⑤+⑥ NADH NAD^+
I	2	? 0	2
II	2	① 1	? 1
III	? 0	1	② 1

과당 2인산 1분자가 피루브산 2분자로 전환되는 과정에서 2 NADH 가 생성되고, 피루브산이 아세트알데하이드 A로 전환되는 과정에서 CO_2 , NADH 가 생성되며, 피루브산이 젖산으로 전환되는 과정에서 NAD^+ 가 생성된다. 따라서 A는 과당 2인산, B는 피루브산, C와 D는 각각 젖산과 아세트알데하이드 A 중 하나이다. I(과당 2인산(A) → 2피루브산(B))에서 2 NADH 가 생성되는데, ①+②이 2, ③+④이 2이므로 ①은 NADH , ②과 ③은 각각 CO_2 와 NAD^+ 중 하나이다.

II(피루브산(B) → C)에서 NADH (③)+④이 2이므로 ④은 CO_2 이고, C는 아세트알데하이드 A이며, 나머지 ③은 NAD^+ 이고, D는 젖산이다.

ㄱ. II(피루브산(B) → 아세트알데하이드 A(C))에서 CO_2 (④)는 1분자, NAD^+ (③)는 0분자 생성되므로 ①은 1이다. III(피루브산(B) → 젖산(D))에서 NADH (⑤)는 0분자, NAD^+ (⑥)는 1분자 생성되므로 ②은 1이다.

바로알기 | ㄴ. A는 과당 2인산, B는 피루브산, C는 아세트알데하이드 A, D는 젖산이다.

ㄷ. 피루브산(B)은 3탄소 화합물, 아세트알데하이드 A(C)는 2탄소 화합물이므로, 1분자당 탄소 수는 피루브산(B)이 아세트알데하이드 A(C)보다 많다.

319

①은 바탕질, ②은 막사이공간, ③은 세포질이다. 과정 IV가 바탕질(①)에서 일어나므로 C는 아세트알데하이드 A이다. 1분자당 탄소 수는 A와 아세트알데하이드 A(C)가 같으므로 A는 에탄올이고, 나머지 B는 젖산이다.

ㄱ. 해당 과정(I), 에탄올발효(I과 II), 젖산발효(I과 III)는 모두 세포질(③)에서 일어난다.

ㄴ. II(피루브산 → 에탄올(A))에서 CO_2 와 NAD^+ 가 생성되고, IV(피

루브산 → 아세틸조효소 A(C))에서 CO_2 와 NADH가 생성된다.

ㄷ. II에서 피루브산은 CO_2 를 방출하고 아세트알데하이드가 되며, 아세트알데하이드는 NADH로부터 H^+ 과 전자를 받아 에탄올(A)로 환원되므로, 1분자당 에탄올(A)은 피루브산보다 탄소 수는 1개 적고 수소 수는 2개 많다. III에서 피루브산은 NADH로부터 H^+ 과 전자를 받아 젖산(B)으로 환원되므로, 1분자당 젖산(B)은 피루브산보다 탄소 수는 같고 수소 수는 2개 많다. IV에서 피루브산은 CO_2 를 방출하고, 조효소 A와 결합하며, NADH가 생성되므로, 1분자당 아세틸조효소 A(C)는 피루브산보다 탄소 수는 1개 적고 수소 수는 2개 적다. 1분자당 $\frac{\text{수소수}}{\text{탄소수}}$ 는 에탄올(A)은 $\frac{6}{2}=3$, 젖산(B)은 $\frac{6}{3}=2$, 아세틸조효소 A(C)는 $\frac{2}{2}=1$ 이다.

320

특징	과정	물질 전환	특징의 개수
• 탈수소 반응이 일어난다. II, III	I	A → B 피루브산 아세트알데하이드	1
• 탈탄산 반응이 일어난다. I	II	과당 2인산 → 2A 피루브산	2
• 기질수준인산화가 일어난다. II, III	III	포도당 → 2C 젖산	④ 3
• ATP를 소모하는 단계가 있다. III			

(가)

(나)

알코올발효는 포도당 1분자가 과당 2인산 1분자로 전환되는 과정에서 2ATP가 소모되며, 과당 2인산 1분자가 피루브산 2분자로 전환되는 과정에서 2NADH, 4ATP가 생성되고, 피루브산 2분자가 아세트알데하이드 2분자로 전환되는 과정에서 2CO_2 가 생성되며, 아세트알데하이드 2분자가 에탄올 2분자로 전환되는 과정에서 2NAD^+ 가 생성된다. 젖산발효 과정은 포도당 1분자가 과당 2인산 1분자로 전환되는 과정에서 2ATP가 소모되며, 과당 2인산 1분자가 피루브산 2분자로 전환되는 과정에서 2NADH, 4ATP가 생성되고, 피루브산 2분자가 젖산 2분자로 전환되는 과정에서 2NAD^+ 가 생성된다. II(과당 2인산 → 2A)에서 특징의 개수가 2이므로 A는 피루브산이다. I(피루브산(A) → B)에서 특징의 개수가 1이므로 B는 아세트알데하이드이며, 나머지 C는 젖산이다.

ㄴ, ㄷ. III(포도당 → 2젖산(C))에서 포도당이 과당 2인산으로 전환되는 과정에서 ATP 소모가 일어나고, 과당 2인산이 피루브산으로 전환되는 과정에서 탈수소 반응과 기질수준인산화가 일어나며, 피루브산이 젖산으로 전환되는 과정에서 NADH의 산화가 일어난다. 따라서 ④는 3이다.

바로알기 | ㄱ. A는 피루브산, B는 아세트알데하이드, C는 젖산이다.

321 A. 김치, 요구르트, 치즈 등의 발효식품을 만드는 데 젖산발효를 이용한다.

B. 알코올발효에서 에탄올이 생성되므로 포도주를 만드는 데 이용되며, 이산화탄소가 생성되므로 빵을 만드는 데 이용된다.

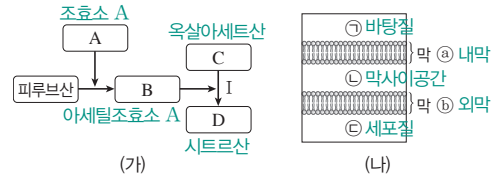
C. 옥수수, 감자, 보리 등 녹말 작물에 포함된 당분은 알코올발효를 거쳐 바이오에탄올로 전환되며, 이는 휘발유와 혼합해 사용하는 신재생 에너지이다. 젖산발효로 생성된 젖산은 주방세제에 활용되어 기름때 제거를 돕는다.

최고 수준 도전 기출

100쪽~103쪽

322 ②	323 ①	324 ㄱ, ㄴ	325 ㄷ	326 ②
327 ②	328 ⑤	329 ④	330 ㄱ, ㄴ	
331 ㄱ, ㄴ, ㄷ		332 ④	333 ②	334 ②, ④
335 ①	336 ③	337 ③, ④		

322



(가)

(나)

미토콘드리아 바깥질에서 일어나는 피루브산의 산화 과정에서 조효소 A(A)가 관여하므로, ①은 미토콘드리아 바깥질, ②는 막사이공간, ③은 세포질이며, ④는 막, ⑤는 외막이다.

ㄴ. TCA 회로 과정은 미토콘드리아 바깥질(①)에서 일어나며, I(옥살아세트산(C) → 시트르산(D))은 TCA 회로 과정의 일부이다.

바로알기 | ㄱ. A는 조효소 A, B는 아세틸조효소 A, C는 옥살아세트산, D는 시트르산이다.

ㄷ. 미토콘드리아의 전자전달계에서 능동수송에 의한 H^+ 의 이동 방향은 미토콘드리아 바깥질(①) → 막사이공간(②)이다.

323

특징	(가) III	(나) I	(다) II
I ADP가 생성된다.	○	×	×
II 탈수소효소가 관여한다.	×	?×	⑦○
III 기질수준인산화가 일어난다.	×	○	×

(○: 있음, ×: 없음)

해당 과정은 포도당 1분자가 과당 2인산 1분자로 되면서 ATP 2분자가 소모되는 단계와 과당 2인산 1분자가 피루브산 2분자로 분해되면서 NADH 2분자와 ATP 4분자가 생성되는 단계로 구분할 수 있다. I에서 기질수준인산화가 일어나므로 I은 (나)이고, II에서 탈수소효소가 관여하여 NADH가 생성되므로 II는 (다)이며, III에서 ADP가 생성되므로 III은 (가)이다.

ㄱ. (다)(II)에서 탈수소효소가 관여하여 NADH가 생성되므로 ⑦은 '○'이다.

바로알기 | ㄴ. (가)는 III, (나)는 I, (다)는 II이다.

ㄷ. 해당 과정은 III → II → I 순으로 일어난다.

324



1분자당 탄소 수는 포도당이 6, 과당 2인산이 6, 시트르산이 6, 옥살아세트산이 4이고, 1분자당 $\frac{\text{A의 탄소수}}{\text{D의 탄소수}} = \frac{3}{2}$ 이므로 D는 옥살아세트산이다. II(C → 옥살아세트산(D))는 미토콘드리아 바깥질에서 일어나므로, C는 시트르산이고, A는 포도당, B는 과당 2인산이며, ④는 외막, ⑤는 내막이다.

ㄱ. 1분자당 탄소 수는 과당 2인산(B)이 6, 시트르산(C)이 6으로 서로 같다.

ㄴ. 미토콘드리아의 전자전달계는 내막(⑤)에 있다.

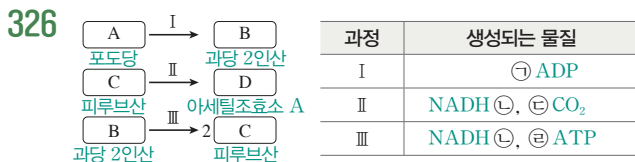
바로알기 | ㉔. I에서 ATP가 소모되며, II에서 기질수준인산화가 일어나 ATP가 생성된다.

325 과당 2인산이 있으면 ATP가 없어도 해당 과정을 거쳐 피루브산이 생성되지만, 포도당이 있어도 ATP가 없으면 해당 과정이 일어나지 않아 피루브산이 생성되지 않는다. 따라서 ㉑은 포도당, ㉒은 ATP, ㉓은 과당 2인산이다.

㉔. III에서 1분자의 과당 2인산(㉓)으로부터 2분자의 피루브산이 생성될 때 2NADH와 4ATP가 생성되므로, 2분자의 피루브산이 생성될 때 $\frac{\text{사용된 ATP 분자 수}}{\text{생성된 ATP 분자 수}} = \frac{0}{4} = 0$ 이다. IV에서 1분자의 포도당(㉑)으로부터 2분자의 피루브산이 생성될 때 2ATP가 소모되고 2NADH와 4ATP가 생성되므로, 2분자의 피루브산이 생성될 때 $\frac{\text{사용된 ATP 분자 수}}{\text{생성된 ATP 분자 수}} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}$ 이다.

바로알기 | ㉕. ㉑은 포도당, ㉒은 ATP, ㉓은 과당 2인산이다.

㉖. III에서 과당 2인산(㉓)으로부터 생성된 피루브산의 총량이 1인데, VI에서 포도당은 없고 과당 2인산(㉓)의 양이 III에서와 같으므로 생성된 피루브산의 총량은 1이다. 따라서 ㉗는 1이다.



포도당 1분자가 과당 2인산 1분자로 전환되는 과정에서 2ADP가 생성되고, 과당 2인산 1분자가 피루브산 2분자로 전환되는 과정에서 2NADH, 4ATP가 생성되며, 피루브산 2분자가 아세틸조효소 A 2분자로 전환되는 과정에서 2CO₂, 2NADH가 생성되므로 ㉑은 ADP, ㉒은 NADH, ㉓은 CO₂, ㉔은 ATP이며, A는 포도당, B는 과당 2인산, C는 피루브산, D는 아세틸조효소 A이다.

㉕. III(과당 2인산(B) → 2피루브산(C))에서 2NADH(㉒)와 4ATP(㉔)가 생성된다.

바로알기 | ㉖. ㉑은 ADP, ㉒은 NADH, ㉓은 CO₂, ㉔은 ATP이다.

㉗. I은 세포질에서, II는 미토콘드리아 바탕질에서 일어난다.

특징	과정	물질 전환	특징의 개수
• NADH가 생성된다. I, II, III	I	과당 2인산 A → 2B 피루브산	1
• 탈탄산 반응이 일어난다. III	II	포도당 C → 2B 피루브산	2
• ATP를 소모하는 단계가 있다. II, III	III	포도당 C → 2D	3

(가)

(나) 아세틸조효소 A

ATP를 소모하는 단계가 있는 것과 NADH가 생성된다는 것은 포도당 1분자가 피루브산 2분자로 전환되는 과정에 해당하는 특징이며, ATP를 소모하는 단계가 있는 것과 NADH가 생성된다는 것과 탈탄산 반응이 일어난다는 것은 포도당 1분자가 아세틸조효소 A 2분자로 전환되는 과정에 해당하는 특징이다. NADH가 생성된다는 것은 과당 2인산 1분자가 피루브산 2분자로 전환되는 과정에 해당하는 특징이다. 따라서 A는 과당 2인산, B는 피루브산, C는 포도당, D는 아세틸조효소 A이다.

㉖. I(과당 2인산(A) → 2피루브산(B))에서 기질수준인산화를 통해 4ATP가 생성된다.

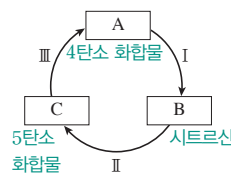
바로알기 | ㉗. A는 과당 2인산, B는 피루브산, C는 포도당, D는 아세틸조효소 A이다.

㉘. 1분자당 피루브산(B)의 탄소 수는 3, 포도당(C)의 탄소 수는 6, 아

세틸조효소 A(D)의 탄소 수는 2이므로, 1분자당

$$\frac{B \text{의 탄소 수} + D \text{의 탄소 수}}{C \text{의 탄소 수}} = \frac{3+2}{6} = \frac{5}{6} \text{이다.}$$

328



과정	㉑ ATP	㉒ FADH ₂	㉓ CO ₂
I	㉑ ×	○	? ×
II	×	? ×	○
III	? ○	㉒ ×	○

(○: 생성됨, ×: 생성 안 됨)

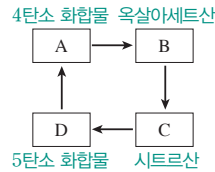
시트르산이 5탄소 화합물로 전환되는 과정에서 CO₂가 생성되고, 5탄소 화합물이 4탄소 화합물로 전환되는 과정에서 ATP, CO₂가 생성된다. ㉑은 II와 III에서 모두 생성되므로 ㉑은 CO₂이며, B는 시트르산이고, TCA 회로 순서상 C는 5탄소 화합물, A는 4탄소 화합물이다. I(4탄소 화합물(A) → 시트르산(B))에서 FADH₂가 생성되므로 ㉒은 FADH₂이고, 나머지 ㉑은 ATP이다.

㉕. ㉑은 ATP, ㉒은 FADH₂, ㉓은 CO₂이다.

㉖. I(4탄소 화합물(A) → 시트르산(B))에서 ATP(㉑)는 생성되지 않으므로 ㉑은 '×'이고, III(5탄소 화합물(C) → 4탄소 화합물(A))에서 FADH₂(㉒)는 생성되지 않으므로 ㉒은 '×'이다.

㉗. 1분자당 4탄소 화합물(A)의 탄소 수는 4, 시트르산(B)의 탄소 수는 6, 5탄소 화합물(C)의 탄소 수는 5이다.

329



물질 전환	분자 수의 비
A → C	NADH ㉑ : ㉒ FADH ₂ = 1 : 1
B → D	NADH ㉑ : ㉒ CO ₂ = 1 : 1
C → A	CO ₂ ㉑ : ㉒ ATP = 2 : 1

생성되는 ATP : CO₂ : FADH₂ : NADH의 분자 수의 비는 시트르산 → 4탄소 화합물에서 1 : 2 : 0 : 2이고, 4탄소 화합물 → 시트르산에서 0 : 0 : 1 : 1이며, 5탄소 화합물 → 옥살아세트산에서 1 : 1 : 1 : 2이고, 옥살아세트산 → 5탄소 화합물에서 0 : 1 : 0 : 1이다. A → C에서 ㉑ : ㉒의 분자 수의 비가 1 : 1이고 C → A에서 ㉑ : ㉒의 분자 수의 비가 2 : 1이므로 A는 4탄소 화합물, C는 시트르산이고, TCA 회로 순서상 B는 옥살아세트산, D는 5탄소 화합물이다. ㉑과 ㉒은 각각 FADH₂와 NADH 중 하나이고, ㉓은 CO₂, ㉔은 ATP이다.

옥살아세트산(B) → 5탄소 화합물(D)에서 ㉑ : ㉒의 분자 수의 비가 1 : 1이므로, ㉑은 NADH이고, 나머지 ㉒은 FADH₂이다.

㉕. A는 4탄소 화합물, B는 옥살아세트산, C는 시트르산, D는 5탄소 화합물이다.

㉖. TCA 회로에서 1분자의 5탄소 화합물(D)이 1분자의 옥살아세트산(B)로 전환되는 과정에서 생성되는 FADH₂(㉒)의 분자 수는 1, ATP(㉔)의 분자 수는 1이다.

바로알기 | ㉗. ㉑은 NADH, ㉒은 FADH₂, ㉓은 CO₂, ㉔은 ATP이다.

330

과정	물질 전환	분자 수를 더한 값 ㉑+㉒+㉓
I	5탄소 화합물 A → B 4탄소 화합물	㉑ 3
II	5탄소 화합물 A → C 옥살아세트산	4
III	시트르산 D → B 4탄소 화합물	5

생성되는 (ATP+CO₂+NADH) 분자 수는 시트르산 → 5탄소 화합물에서 2, 5탄소 화합물 → 4탄소 화합물에서 3, 4탄소 화합물 → 옥

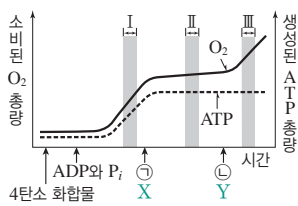
살아세트산에서 1, 옥살아세트산 → 시트르산에서 0이다. D → B에서 (ATP+CO₂+NADH) 분자 수가 5이므로 D는 시트르산, B는 4탄소 화합물이다. A → C에서 (ATP+CO₂+NADH) 분자 수가 4이므로 A는 5탄소 화합물, C는 옥살아세트산이다.

ㄱ. I(5탄소 화합물(A) → 4탄소 화합물(B))에서 생성된 ATP의 분자 수는 1, CO₂의 분자 수는 1, NADH의 분자 수는 1이므로, ㉓는 3이다.

ㄴ. II(5탄소 화합물(A) → 옥살아세트산(C))에서 FADH₂ 1분자가 생성된다.

바로알기 | ㄷ. 1분자당 탄소 수는 5탄소 화합물(A)은 5, 4탄소 화합물(B)은 4, 옥살아세트산(C)은 4, 시트르산(D)은 6이므로, 1분자당 $\frac{A \text{의 탄소 수} + C \text{의 탄소 수}}{B \text{의 탄소 수} + D \text{의 탄소 수}} = \frac{5+4}{4+6} = \frac{9}{10}$ 이다.

331



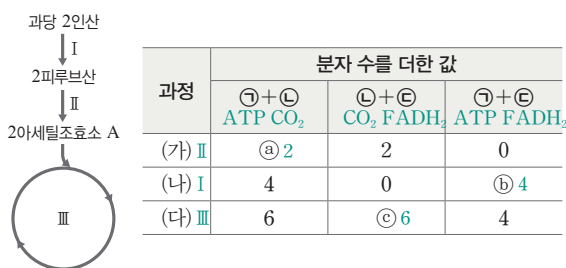
- X는 ATP 합성효소를 통한 H⁺의 이동을 차단하므로 전자전달계에서 전자의 이동이 감소하여 O₂가 소비되지 않는다. → ㉓는 X이다.
- Y는 미토콘드리아 내막에 있는 인지질을 통해 H⁺을 새어 나가게 하므로 전자전달계에서 전자의 이동이 증가하여 O₂가 소비된다. → ㉔는 Y이다.

ㄱ. ㉓는 X, ㉔는 Y이다.

ㄴ. 해당 과정과 피루브산의 산화 및 TCA 회로에서 생성된 NADH는 전자전달계에 고에너지 전자를 전달하고 NAD⁺로 산화되며, 고에너지 전자는 최종적으로 산소로 전달된다. I에서는 O₂가 소비되지만, II에서는 O₂가 거의 소비되지 않으므로, 단위 시간당 미토콘드리아의 전자전달계를 통해 산화되는 NADH의 분자 수는 구간 I에서가 구간 II에서보다 많다.

ㄷ. ㉔(Y)을 처리하기 전 구간 II에서 H⁺의 농도는 막사이공간에서가 바탕질에서보다 높다. ㉔(Y)을 처리하면 미토콘드리아 내막에 있는 인지질을 통해 H⁺이 막사이공간에서 바탕질로 새어 나가므로, ㉔(Y)을 첨가하면 미토콘드리아 바탕질에서 H⁺의 농도는 증가하고, 막사이공간에서 H⁺의 농도는 감소한다. 즉, 미토콘드리아 바탕질의 pH는 감소하고, 막사이공간의 pH는 증가하므로, $\frac{\text{바탕질의 pH}}{\text{막사이공간의 pH}}$ 는 구간 II에서가 구간 III에서보다 크다.

332



I(1과당 2인산 → 2피루브산)에서 2NADH, 4ATP가 생성되고, II(2피루브산 → 2아세틸조효소 A)에서 2CO₂, 2NADH가 생성되며, III(TCA 회로)에서 4CO₂, 6NADH, 2FADH₂, 2ATP가 생성된다. (가)에서 ㉓+㉔이 2, ㉕+㉖이 0이므로 ㉓는 0, ㉔는 2, ㉕은 0이고, (가)는 II이며, ㉓는 CO₂이다. (나)에서 ㉓+㉔이 4, ㉕+㉖이 0이므로 ㉓는 4, ㉔는 0, ㉕은 0이고, (나)는 I이며, ㉓는 ATP이다. 나머지 (다)는 III이며, ㉕은 FADH₂이다.

ㄴ. (가)(II)(2피루브산 → 2아세틸조효소 A)에서 생성된 ATP(㉓)는

0분자, CO₂(㉔)는 2분자이므로, ㉓는 2이다. (나)(I)(1과당 2인산 → 2피루브산)에서 생성된 ATP(㉓)는 4분자, FADH₂(㉕)는 0분자이므로, ㉕는 4이다. (다)(III)(TCA 회로)에서 생성된 CO₂(㉔)는 4분자, FADH₂(㉕)는 2분자이므로, ㉕는 6이다. 따라서 ㉓+㉕=㉔이다. ㄷ. 탈탄산 반응이 일어나 CO₂(㉔)가 생성된다.

바로알기 | ㄱ. (가)는 II, (나)는 I, (다)는 III이다.

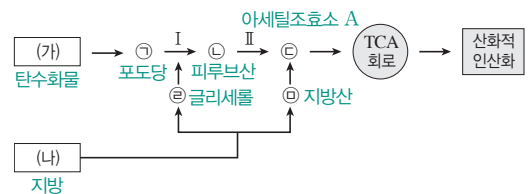
333

ㄷ. Y는 미토콘드리아 내막의 인지질을 통해 H⁺을 새어 나가게 하므로, Y를 처리하면 전자전달계를 통한 전자의 이동이 증가하여 O₂의 소비도 증가한다. 따라서 단위 시간당 미토콘드리아의 전자전달계를 통해 이동하는 전자의 수는 Y를 처리한 후가 처리하기 전보다 많다.

바로알기 | ㄱ. ㉓를 통해 H⁺이 막사이공간에서 미토콘드리아 바탕질로 이동하므로 ㉓는 ATP 합성효소이고, ㉔는 전자전달계이다.

ㄴ. X는 미토콘드리아 내막의 전자전달계에서 전자의 이동을 차단하므로, X를 첨가하면 H⁺이 바탕질에서 막사이공간으로 이동하는 것을 차단한다. 따라서 미토콘드리아 막사이공간의 pH는 X를 처리하기 전이 처리한 후보다 낮다.

334



② 호흡물은 탄수화물(가)이 1, 지방(나)은 약 0.7이다.

④ 포도당(㉓)의 분자식은 C₆H₁₂O₆, 피루브산(㉔)의 분자식은 C₃H₄O₃이므로, 1분자당 $\frac{\text{수소 수}}{\text{탄소 수}}$ 는 포도당(㉓)이 피루브산(㉔)보다 크다.

바로알기 | ① ㉓는 포도당, ㉔는 피루브산, ㉕은 아세틸조효소 A, ㉖은 글리세롤, ㉗은 지방산이다.

③ 해당 과정(I)에서는 CO₂가 생성되지 않고, 피루브산의 산화(II)에서는 CO₂가 생성된다.

⑤ 1분자의 아세틸조효소 A(㉕)가 TCA 회로를 통해 완전 분해될 때 생성되는 $\frac{\text{NADH의 분자 수}}{\text{CO}_2\text{의 분자 수}} = \frac{3}{2}$ 이다.

335

과정	물질	NADH		NAD ⁺		ATP	
		㉓	㉔	㉕	㉖	㉗	㉘
과당 2인산	I → 2 피루브산	2	0	?	0	4	?
피루브산	II → 젖산	1	1	0	?	0	?
피루브산	III → 에탄올	0	1	?	1	?	0
피루브산	IV → 아세틸조효소 A	0	?	0	1	0	?

과당 2인산 1분자가 피루브산 2분자로 전환되는 과정에서 2NADH, 4ATP가 생성되고, 피루브산이 아세틸조효소 A로 전환되는 과정에서 CO₂, NADH가 생성되며, 피루브산이 에탄올로 전환되는 과정에서 CO₂, NAD⁺가 생성되고, 피루브산이 젖산으로 전환되는 과정에서 NAD⁺가 생성된다. (가)에서 ㉓이 2분자 생성되므로, (가)는 I이고 ㉓는 NADH이다. (나)에서 NADH(㉓)가 생성되므로, (나)는 IV이고 ㉔는 CO₂이다. (다)에서 CO₂(㉔)이 생성되므로 (다)는 III이며, (라)에서 ㉕이 1분자 생성되므로 ㉕은 NAD⁺이고, 나머지 ㉖은 ATP이다.

ㄱ. (가)는 I, (나)는 IV, (다)는 III, (라)는 II이다.

바로알기 | ㄴ. ㉓는 NADH, ㉔는 CO₂, ㉕은 NAD⁺, ㉖은 ATP이다.

ㄷ. (가)(I)에서 ATP(㉔)가 4분자 생성되므로 ㉔은 4이고, (다)(III)에서 NAD^+ (㉔)가 1분자 생성되므로 ㉔은 1이다. 따라서 ㉔+㉔=5이다.

336

$ \begin{array}{c} \text{아세트알데하이드} \quad \text{에탄올} \\ \text{포도당} \xrightarrow{\text{I}} 2 \text{ A} \xrightarrow{\text{II}} 2 \text{ B} \\ \text{포도당} \xrightarrow{\text{III}} 2 \text{ C} \xrightarrow{\text{IV}} 2 \text{ D} \\ \text{피루브산} \quad \text{아세틸조효소 A} \end{array} $			
과정	분자 수를 더한 값		
	㉔+㉔ NADH ATP	㉔+㉔ ATP NAD ⁺	㉔+㉔ NADH NAD ⁺
I	㉔ 4	2	2
II	0	2	2
III	4	2	㉔ 2
IV	2	0	2

포도당 → 2피루브산에서 2ATP, 2NADH가 생성되고, 2피루브산 → 2아세틸조효소 A에서 2CO₂, 2NADH가 생성되며, 포도당 → 2아세트알데하이드에서 2ATP, 2CO₂, 2NADH가 생성되고, 2아세트알데하이드 → 2에탄올에서 2NAD⁺가 생성된다. II에서 ㉔+㉔은 0, ㉔+㉔은 2, ㉔+㉔은 2이므로 ㉔은 0, ㉔은 0, ㉔은 2이다. IV에서 ㉔+㉔은 2, ㉔+㉔은 0, ㉔+㉔은 2이므로 ㉔은 2, ㉔은 0, ㉔은 0이다. ㉔은 III에서도 생성되므로 NAD⁺가 될 수 없으므로 ㉔은 NAD⁺이고 A는 아세트알데하이드, B는 에탄올이다. 나머지 C는 피루브산, D는 아세틸조효소 A이며, IV(2피루브산(C) → 2아세틸조효소 A(D))에서 2NADH가 생성되므로 ㉔은 NADH이고, 나머지 ㉔은 ATP이다.

ㄱ. I(포도당 → 2아세트알데하이드(A))에서 생성된 NADH(㉔)는 2분자, ATP(㉔)는 2분자이므로, ㉔은 4이다. III(포도당 → 2피루브산(C))에서 생성된 NADH(㉔)는 2분자, NAD⁺(㉔)은 0분자이므로, ㉔은 2이다. 따라서 ㉔+㉔=6이다.

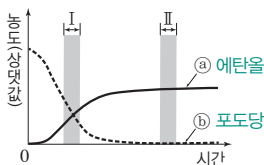
ㄴ. III(포도당 → 2피루브산(C))과 IV(2피루브산(C) → 2아세틸조효소 A(D))에서 모두 탈수소 반응에 의해 NADH(㉔)가 생성된다.

바로알기 | ㄷ. 1분자당 탄소 수는 아세트알데하이드(A)는 2, 에탄올(B)은 2, 피루브산(C)은 3, 아세틸조효소 A(D)는 2이므로, 1분자당 $\frac{\text{A의 탄소 수} + \text{B의 탄소 수}}{\text{C의 탄소 수} + \text{D의 탄소 수}} = \frac{2+2}{3+2} = \frac{4}{5}$ 이다.

337

과정	물질 전환	물질	
		NAD ⁺ ㉔	㉔ CO ₂
(가)	피루브산 A → B 에탄올	○	○
(나)	포도당 C → 2D 젖산	○	×

(○: 생성됨, ×: 생성 안 됨)



(가)에서 CO₂와 NAD⁺가 모두 생성되므로 A는 피루브산, B는 에탄올이다. 나머지 (나)에서 C는 포도당, D는 젖산이며, ㉔은 NAD⁺, ㉔은 CO₂이다.

① 효모는 O₂가 없는 조건에서 알코올발효를 하므로 시간에 따라 농도가 증가하는 ㉔은 에탄올이고, 감소하는 ㉔은 포도당이다.

② 피루브산(A)의 분자식은 C₃H₄O₃, 젖산(D)의 분자식은 C₃H₆O₃이

므로, 1분자당 $\frac{\text{A의 탄소 수}}{\text{D의 탄소 수}} = \frac{3}{3} = 1$ 이다.

⑤ 효모의 알코올발효가 일어나면 CO₂가 생성된다. 구간 I에서 에탄올(㉔)의 농도는 증가하고 포도당(㉔)의 농도는 감소하므로 알코올발효가 활발하게 일어나고, 구간 II에서 에탄올(㉔)과 포도당(㉔) 모두 농도 변화가 거의 없으므로 알코올발효가 거의 일어나지 않는다. 따라서 단위 시간당 생성되는 CO₂의 양은 구간 I에서가 구간 II에서보다 많다.

바로알기 | ③ 구간 I에서 (가)(포도당(A) → 에탄올(B))가 일어난다.

④ (나)(포도당(A) → 2젖산(D))에서 기질수준인산화가 일어난다.

14

엽록체와 광합성색소

빈출 자료 보기

105쪽

338 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) ○

338 (1), (2) X는 엽록소 a, Y는 엽록소 b이다. 엽록소 a(X)와 엽록소 b(Y)는 모두 타이라코이드 막에 있다.

(5) 엽록소 a와 b는 청자색광과 적색광을 주로 흡수하고, 이 파장의 빛에서 광합성이 가장 활발하게 일어난다.

바로알기 | (3) 광합성을 하는 모든 식물에는 엽록소 a(X)가 있다.

(4) 카로티노이드 색소가 초록색 빛을 흡수하여 엽록소에 전달하므로 엽록소가 흡수하지 않는 초록색 빛에서도 광합성이 일어난다.

난이도별 필수 기출

106쪽~111쪽

339 ①	340 ②, ⑥	341 ②	342 ⑤	343 ⑤
344 ②	345 ①	346 ①	347 ③	348 ④
349 ②				
350 해설 참조	351 ②	352 ⑤	353 ②	354 ②
355 ①, ③	356 ④	357 ⑤	358 ③	359 ②
360 ①	361 해설 참조	362 ④		

339 ㉔은 스트로마, ㉔은 그라나이다.

ㄱ. 엽록체의 스트로마(㉔)에는 DNA가 있다.

바로알기 | ㄴ. 광합성의 명반응은 타이라코이드 막에서 일어난다.

ㄷ. 탄소고정반응은 스트로마(㉔)에서 일어난다.

340 ① 타이라코이드가 여러 개 쌓여 그라나(A)를 이룬다.

③ 스트로마(B)에는 라이보솜이 있어 단백질이 합성된다.

④ A는 그라나, B는 스트로마, C는 타이라코이드이다.

⑤ 타이라코이드(C) 막에 ATP 합성효소가 있다.

⑦ 엽록체는 외막과 내막의 이중막으로 싸여 있다.

바로알기 | ② 라이보솜은 스트로마(B)에 있다.

⑥ 포도당 합성에 관여하는 효소는 스트로마(B)에 있다.

341 A는 내막, B는 타이라코이드 막, C는 타이라코이드 내부이다.

ㄴ. 타이라코이드 막(B)에 전자전달계가 있다.

바로알기 | ㄱ. 크리스타 구조는 미토콘드리아 내막에서 나타난다.

ㄷ. 광합성색소는 타이라코이드 막(B)에 있다.

342 (가)는 미토콘드리아, (나)는 엽록체이고, A는 미토콘드리아 내막, B는 타이라코이드 막이다.

ㄱ. 미토콘드리아 내막(A)에 전자전달계가 있다.

ㄴ. 미토콘드리아(가)와 엽록체(나)는 모두 자체 DNA와 라이보솜이 있어 스스로 복제하여 증식할 수 있다.

ㄷ. 미토콘드리아 내막(A)과 타이라코이드 막(B)에는 모두 ATP 합성효소가 있다.

343 ㄱ. 광합성색소 중 가장 대표적인 것은 엽록소로, 엽록체는 엽록소가 있어 초록색을 띤다. 식물의 엽록체에는 엽록소 a와 엽록소 b가 있는데, 엽록소 a는 광합성에서 가장 중심적인 역할을 한다.

ㄴ. 엽록소 a와 엽록소 b는 청자색과 적색의 빛을 주로 흡수하고, 이 파장의 빛에서 광합성이 가장 활발하게 일어난다.

ㄷ. 카로티노이드 색소는 빛에너지를 흡수하여 엽록소로 전달하는 보조색소이며, 과도한 빛으로부터 엽록소를 보호한다.

344 전개울 = $\frac{\text{원점에서 색소까지의 거리}}{\text{원점에서 용매 전선까지의 거리}}$ 이므로, ㉠의 전개율은 ㉡의 전개율보다 크다. 따라서 ㉠은 카로틴, ㉡은 엽록소 a이다. ㄴ. 엽록소 a(㉡)는 청자색광과 적색광을 주로 흡수하고, 초록색광은 거의 흡수하지 않는다.

바로알기 | ㄱ. 엽록소 a(㉡)는 일부 광합성세균을 제외한 모든 광합성 생물에 있다.

ㄷ. 원점에서 용매 전선까지의 거리는 16 cm이고, 원점에서 엽록소 b까지의 거리는 10 cm이므로, 엽록소 b의 전개율은 $\frac{10}{16} = 0.625$ 이다.

345 ㄱ. 엽록소 a는 일부 광합성세균을 제외한 모든 광합성 생물에 있다.

바로알기 | ㄴ. 엽록소 a는 초록색 빛을 대부분 반사하거나 통과시킨다. 엽록체는 엽록소가 있어 초록색을 띤다.

ㄷ. 황색이나 적황색을 띠는 카로티노이드 색소는 빛에너지를 흡수하여 엽록소에 전달하는 보조색소이다.

346 ㄱ. 크로마토그래피는 복잡한 혼합물을 구성하는 유사한 성분들을 분리하는 방법으로, 광합성색소의 분자량, 전개액에 대한 용해도, TLC 판에 대한 흡착력에 따라 전개율이 달라진다.

바로알기 | ㄴ. 광합성색소 분리 실험에서 원점이 전개액에 잠기지 않도록 유의해야 한다.

ㄷ. 전개율은 $\frac{\text{원점에서 색소까지의 거리}}{\text{원점에서 용매 전선까지의 거리}}$ 이므로, ㉠이 ㉡보다 크다.

347 ㄱ. 광합성색소 분리를 위해 석유에터 : 아세톤 = 7 : 3의 비율로 만든 용액을 광합성색소 추출액으로 사용할 수 있다.

ㄴ. 이 실험에서 광합성색소 분리를 위해 사용한 방법은 크로마토그래피이다.

바로알기 | ㄷ. 전개액에 대한 용해도가 클수록, TLC 판에 대한 흡착력이 작을수록, 분자량이 작을수록 전개율이 크다. 따라서 D가 전개액(㉡)에 대한 용해도가 가장 크다고 할 수 없다.

348 ㄱ. 광합성색소 중 엽록소 a는 일부 광합성세균을 제외한 모든 광합성 생물에 있다.

ㄷ. 산소세균이 많이 모인 곳은 해감의 광합성 결과 산소가 많이 발생한 곳이다. 산소세균은 파장이 600 nm인 빛보다 450 nm인 빛에 더 많

이 분포하므로, 단위 시간당 산소 발생량은 파장이 450 nm인 빛에서가 600 nm인 빛에서보다 많다.

바로알기 | ㄴ. 산소세균은 빛을 흡수하여 광합성을 하는 생물이 아니다.

349 청자색과 적색의 빛을 잘 흡수하는 ㉠은 엽록소 b이고, 초록색의 빛도 흡수하는 ㉡은 카로티노이드이다.

ㄷ. 엽록소가 주로 흡수하는 청자색과 적색의 빛에서 광합성이 가장 활발하게 일어난다.

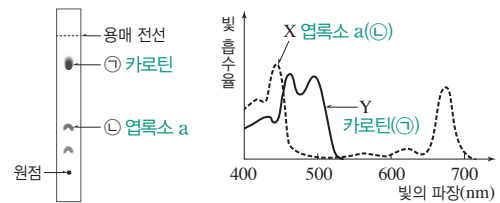
바로알기 | ㄱ. 엽록소 b(㉠)은 초록색을 띤다.

ㄴ. 엽록소 b(㉠)과 카로티노이드(㉡)는 모두 타이라코이드 막에 있다.

350 **모범 답안** ㉠은 엽록소 b, ㉡은 엽록소 a이다. 엽록소의 흡수 스펙트럼과 엽록체의 작용스펙트럼이 거의 일치하므로 엽록소가 광합성에 필요한 빛에너지를 주로 흡수한다는 것을 알 수 있다.

채점 기준	배점
㉠과 ㉡을 옳게 쓰고, (가)와 (나)를 비교하여 결론을 옳게 서술한 경우	100 %
㉠과 ㉡만 옳게 쓴 경우	30 %

351



(가) 전개율은 ㉠이 ㉡보다 크다. → ㉠은 카로틴, ㉡은 엽록소 a이다.

(나) X: 청자색과 적색의 빛을 잘 흡수한다. → 엽록소 a
Y: 초록색 빛도 흡수한다. → 카로틴

ㄴ. ㉠의 전개율이 ㉡의 전개율보다 크므로, ㉠은 카로틴, ㉡은 엽록소 a이다. 청자색과 적색의 빛을 잘 흡수하는 X는 엽록소 a(㉡)이고, 초록색 빛도 흡수하는 Y는 카로틴(㉠)이다.

바로알기 | ㄱ. 카로틴(Y, ㉠)은 과도한 빛으로부터 엽록소 a(X, ㉡)를 보호한다.

ㄷ. 엽록소 a(㉡)는 청자색과 적색의 빛을 잘 흡수한다.

352 ㉠과 ㉡ 중 전개율이 큰 ㉠은 엽록소 a이고, 전개율이 작은 ㉡은 엽록소 b이다. 파장이 680 nm~700 nm인 빛을 흡수할 수 있는 Y는 엽록소 a이고, X는 엽록소 b이다.

ㄴ. ㉠과 Y는 엽록소 a이고, ㉡과 X는 엽록소 b이다.

ㄷ. 광합성색소인 엽록소 a(㉠)과 엽록소 b(㉡)는 모두 타이라코이드 막에 있다.

바로알기 | ㄱ. 엽록소 a(㉠)는 적색의 빛을 초록색의 빛보다 잘 흡수한다.

353 ㉠은 CO₂, ㉡은 H₂O, ㉢은 O₂이다.

ㄴ. 광합성은 효소의 촉매 작용으로 조절되는 산화환원반응이다.

바로알기 | ㄱ. 광합성 과정에서 CO₂(㉠)가 환원되어 포도당이 합성한다.

ㄷ. 광합성의 명반응에서 타이라코이드 막의 광합성색소에서 흡수한 빛에너지를 ATP의 화학 에너지 형태로 저장하며, 이 과정에서 NADPH가 생성되고, H₂O(㉡)이 분해되어 O₂(㉢)가 발생한다.

354 ㄴ. 명반응은 빛에너지를 화학 에너지로 전환하는 단계로, 엽록체의 타이라코이드 막에서 일어난다. 구간 II에서는 빛이 있으므로 명반응이 일어난다.

바로알기 | ㄱ. 구간 I에서는 빛이 없으므로 명반응의 산물인 ATP와

NADPH가 생성되지 않는다. ATP와 NADPH가 공급되어야 포도당이 합성되므로 구간 I에서는 포도당이 합성되지 않는다.

ㄷ. 명반응에서 물이 분해되어 산소가 발생한다. 구간 III에서는 빛이 없으므로 명반응이 일어나지 않아 산소가 발생하지 않는다.

355 ② 명반응에서 ATP와 NADPH가 생성된다. 명반응은 빛이 있을 때 일어나므로, 빛이 있는 구간 B에서 ATP가 생성된다.

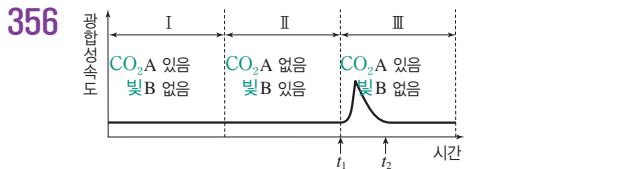
④ 구간 D에서는 빛이 있으므로 명반응이 일어나 산소가 발생한다.

⑤ 구간 C와 달리 구간 D에서 광합성이 계속 일어나는 까닭은 구간 D에서는 계속해서 빛을 비추면서 CO₂를 공급했기 때문이다.

⑥ 빛과 CO₂가 모두 있어야 명반응과 탄소고정반응이 지속적으로 일어날 수 있다.

바로알기 | ① 구간 A에서는 명반응 산물이 없으므로 탄소고정반응이 일어나지 않는다.

③ 구간 C에서는 구간 B에서 생성된 명반응 산물을 이용하여 탄소고정반응만 일어난다.



I에서 A를 준 후 II에서 B를 주었을 때 광합성이 일어나지 않았고, II에서 B를 준 후 III에서 A를 주었을 때 광합성이 일어났다.

→ A는 CO₂, B는 빛이다.

ㄴ. 구간 II에서 빛(B)이 있으므로 명반응이 일어나 NADPH가 생성된다.

ㄷ. 탄소고정반응에서 ATP가 소비되므로, 스트로마에서 ATP의 농도는 t₁일 때가 t₂일 때보다 높다.

바로알기 | ㄱ. 명반응에서 생성된 ATP와 NADPH가 공급되어야 포도당을 합성할 수 있다. 빛을 먼저 비추고 후 CO₂를 공급하면 빛이 없어도 잠시 동안 광합성이 일어나므로 A는 CO₂, B는 빛이다.

357 A. 탄소고정반응은 이산화 탄소가 환원되어 포도당이 합성되는 단계로, 엽록체의 스트로마에서 일어난다.

B. 명반응에서 만들어지는 ATP와 NADPH가 공급되어야 포도당을 합성할 수 있으므로, 탄소고정반응은 빛이 공급되어야 지속적으로 일어날 수 있다.

C. 명반응은 빛에너지를 화학 에너지로 전환하는 단계로, 엽록체의 타이라코이드 막에서 일어난다. 타이라코이드 막의 광합성색소에서 흡수한 빛에너지를 ATP의 화학 에너지 형태로 저장하며, 이 과정에서 NADPH가 생성되고, 물이 분해되어 산소가 발생한다.

358 ㉠은 H₂O, ㉡은 O₂, ㉢은 CO₂이다.

ㄱ. 명반응에서는 빛에너지를 ATP와 NADPH의 화학 에너지로 전환하여 탄소고정반응에 공급한다. 따라서 (가)는 명반응, (나)는 탄소고정반응이다.

ㄷ. O₂(㉡)은 세포호흡 과정에 사용된다.

바로알기 | ㄴ. 탄소고정반응(나)에서 CO₂(㉢)이 환원되어 포도당이 합성된다.

359 (가)는 H₂O, (나)는 O₂, (다)는 CO₂이며, ㉠은 ATP, ㉡은 NADPH, ㉢은 ADP+P_i, ㉣은 NADP⁺이다.

ㄷ. CO₂(다)와 포도당은 모두 구성 원소로 탄소를 갖는다.

바로알기 | ㄱ. 캘빈회로를 통해 CO₂(다)가 포도당으로 전환된다.

ㄴ. 명반응은 빛에너지를 화학 에너지로 전환하는 단계로, 엽록체의 타이라코이드 막에서 일어난다. ATP(㉠)은 타이라코이드 내부에서 합성되지 않는다.

360 ㄱ. (가)는 명반응, (나)는 탄소고정반응이다. 명반응(가)은 빛에너지를 화학 에너지로 전환하는 단계로, 엽록체의 타이라코이드 막에서 일어난다.

바로알기 | ㄴ. ㉠은 H₂O, ㉡은 CO₂, ㉢은 NADPH, ㉣은 NADP⁺, ㉤은 O₂이다.

ㄷ. 명반응(가) 과정에서 빛에너지가 ATP와 NADPH에 화학 에너지 형태로 저장되고, 이 과정에서 물(㉠)이 분해되어 산소(㉤)가 발생한다. 따라서 ㉠이 ㉤으로 전환될 때 ATP가 사용되지 않는다.

361 **모범 답안** (가)는 명반응, (나)는 탄소고정반응이다. 탄소고정반응(나)에서는 명반응(가)에서 합성된 ATP와 NADPH가 공급되어야 포도당을 합성할 수 있으므로, 탄소고정반응(나)이 지속적으로 일어나기 위해서는 빛이 필요하다.

채점 기준	배점
(가)와 (나)를 옳게 쓰고, (나)가 지속적으로 일어나기 위해서 빛이 필요한 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
(가)와 (나)만 옳게 쓴 경우	30 %

362 ㄱ. 명반응에서 빛에너지를 ATP와 NADPH의 화학 에너지로 전환하는 동안 물이 분해되어 O₂가 발생하며, 명반응은 타이라코이드 막에서 일어난다. A를 넣은 I에서 O₂가 방출되므로 A는 그라나이고, B는 스트로마이다.

ㄷ. 광합성이 계속 진행되려면 타이라코이드 막에서 명반응이 일어나 생성된 ATP와 NADPH가 공급되어야 스트로마에서 CO₂를 흡수하여 포도당을 합성할 수 있으므로, 광합성이 계속 진행되려면 그라나(A)와 스트로마(B)가 함께 있어야 한다.

바로알기 | ㄴ. 스트로마(B)를 첨가하고 빛을 비추어 준 시험관 II에서 CO₂가 흡수되지 않았으므로 빛을 비추어 주어도 스트로마(B) 단독으로는 CO₂를 흡수하여 포도당을 합성하지 못함을 알 수 있다.

15 광합성 과정(1)

빈출 자료 보기

113쪽

363 (1) × (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ○ (6) ○ (7) ×

363 ㉠은 광계 II, ㉡은 광계 I이고, ㉢은 O₂, ㉣은 NADPH이며, (가)는 순환적 전자흐름, (나)는 비순환적 전자흐름이다.

(3) 순환적 전자흐름(가)에는 광계 I(㉡)이, 비순환적 전자흐름(나)에는 광계 I(㉡)과 광계 II(㉠)가 모두 관여한다.

(4) 광계 I(㉡)의 반응 중심 엽록소 a는 700 nm의 빛을 가장 잘 흡수하는 P₇₀₀이고, 광계 II(㉠)의 반응 중심 엽록소 a는 680 nm의 빛을 가장 잘 흡수하는 P₆₈₀이다.

(5) 비순환적 전자흐름(나) 과정에서 전자는 최종적으로 NADP⁺에 전달된다.

(6) 비순환적 전자흐름(나)에서 물의 광분해가 일어나 O₂가 발생한다.

바로알기 | (1) (가)는 광계 I이 빛에너지를 흡수하여 P_{700} 에서 방출된 전자가 전자수용체로 전달된 다음, 전자전달계를 거쳐 P_{700} 으로 다시 돌아오는 순환적 전자흐름이고, (나)는 광계 I의 P_{700} 에서 방출된 전자가 원래의 엽록소로 돌아가지 않고 최종적으로 $NADP^+$ 에 전달되는 비순환적 전자흐름이다.

(2) O_2 (㉠)는 탄소고정반응에 사용되지 않고 방출된다.

(7) 명반응은 타이라코이드 막에서 빛에너지를 흡수하여 ATP와 NADPH를 생성하는 과정이다.

난이도별 필수 기출

114쪽~121쪽

364 ⑥	365 ②	366 해설 참조	367 ③	368 ②
369 ②	370 ①	371 ②	372 ②	373 ③
374 ⑤	375 ⑤	376 ③	377 ②	378 ⑤
379 ③	380 ④, ⑤	381 ②	382 ②	383 ③
384 ②	385 ①	386 ②	387 ⑤	388 ④
389 ②	390 ③	391 ⑤	392 ③	393 ⑤
394 ④	395 해설 참조			

364 ①, ⑤ 명반응 과정에서 빛에너지에 의해 물이 분해되는 광분해가 일어나 산소가 발생한다.

② 명반응은 엽록체의 타이라코이드 막에서 일어난다.

③ 순환적 전자흐름 과정과 비순환적 전자흐름 과정에서 ATP가 합성된다.

④ 비순환적 전자흐름 과정에서 전자가 $NADP^+$ 에 전달되어 NADPH가 생성된다.

바로알기 | ⑥ 명반응의 결과 산소(O_2), ATP, NADPH가 생성되고, 이 중 ATP와 NADPH가 탄소고정반응에 사용된다.

365 힐의 실험에서 빛에너지의 흡수로 물이 분해되어 산소가 발생한다. 이때 방출된 전자가 옥살산 철(III)을 옥살산 철(II)로 환원시키므로 ㉠은 옥살산 철(III), ㉡은 옥살산 철(II)이다.

㉢. 명반응에서 물이 분해되고 $NADP^+$ 가 NADPH로 환원된다. 광합성의 명반응에서 옥살산 철(III)(㉠)의 역할을 하는 물질은 $NADP^+$ 이다.

바로알기 | ㉣. 옥살산 철(III)(㉠)은 비순환적 전자흐름 경로를 따라 이동하는 전자를 받아 옥살산 철(II)(㉡)로 환원된다.

㉤. 광계 II에서 물이 광분해되어 O_2 가 생성된다.

366 **모범 답안** 힐의 실험에서 옥살산 철(III)(㉠)이 물(H_2O)의 분해로 방출된 전자를 받아 옥살산 철(II)(㉡)로 환원되었으며, 광합성 결과 발생한 O_2 는 물(H_2O)이 분해되어 발생한 것이다.

채점 기준	배점
힐의 실험을 통해 알 수 있는 사실을 ㉠과 ㉡을 포함하여 옳게 서술한 경우	100 %
광합성 결과 발생한 O_2 는 CO_2 가 아니라 물(H_2O)이 분해되어 발생한 것이라고만 서술한 경우	50 %

367 ㉣. 루벤은 클로렐라 배양액에 산소의 동위원소 ^{18}O 로 표지된 물($H_2^{18}O$)과 이산화 탄소($C^{18}O_2$)를 각각 공급하면서 발생하는 산소를 분석하였다. ^{18}O 로 표지된 물($H_2^{18}O$)을 공급한 (가)에서는 $^{18}O_2$ 가 발생했고, ^{18}O 로 표지된 이산화 탄소($C^{18}O_2$)를 공급한 (나)에서는 O_2 가 발생했다. 따라서 ㉠은 $^{18}O_2$, ㉡은 O_2 이다.

㉤. 명반응의 비순환적 전자흐름 과정에서 물이 광분해되어 $^{18}O_2$ (㉠)가 발생한다.

바로알기 | ㉢. (나)에서 발생한 O_2 (㉡)는 물(H_2O)이 분해된 것이다.

368 ㉤. 명반응에서 물이 광분해되어 산소가 발생한다. 따라서 ㉠은 $^{18}O_2$, ㉢은 O_2 이다.

바로알기 | ㉣. 루벤의 실험에서 클로렐라 배양액에 물과 이산화 탄소를 공급하고 빛을 비추면서 발생하는 기체를 분석한다. 따라서 '암실에 보관하면서 발생하는 기체를 측정한다.'는 ㉠에 해당하지 않는다.

㉢. 루벤의 실험으로 광합성 결과 발생하는 산소는 물이 분해되어 생성된 것임을 입증하였다.

369

[실험 과정 및 결과]

(가) X가 들어 있는 플라스크에 ㉠이산화 탄소와 ㉡ ^{18}O 로 표지된 물을 넣고 빛을 비춘다.

→ 이산화 탄소(CO_2)는 포도당 합성에 사용되고, 물이 광분해되어 산소가 발생한다.

(나) 광합성 결과 포도당, 산소, ㉢물이 생성되었다.

→ 광합성의 명반응에서 물이 광분해되어 산소가 발생한다. 광합성 결과 생성된 물(H_2O)을 구성하는 원소 중 산소(O)는 이산화 탄소(CO_2)에서, 수소(H)는 물(H_2O)에서 유래한 것이다.

㉢. 광합성 결과 생성된 물(㉢)을 구성하는 원소 중 수소(H)는 ^{18}O 로 표지된 물($H_2^{18}O$, ㉡)에서 유래한 것이다.

바로알기 | ㉣. 광합성 과정에서 이산화 탄소(㉠)가 환원되어 포도당이 합성된다.

㉤. 명반응에서 물이 광분해되어 산소가 발생한다. 따라서 광합성 결과 발생한 산소에서는 ^{18}O 가 검출되지만, 광합성 결과 발생한 물(㉢)에서는 ^{18}O 가 검출되지 않는다.

370

시험관	I ㉠	II	III	IV ㉡
첨가한 물질	CO_2 , $H_2^{18}O$	CO_2 , $H_2^{18}O$	$C^{18}O_2$, H_2O	$C^{18}O_2$, H_2O
빛	㉣ 있음	없음	㉢ 없음	? 있음

㉤. 광합성이 일어날 때 발생하는 산소는 물이 광분해되어 생성된 것이다. ㉠에서 $^{18}O_2$ 가 생성되었으므로 ㉢은 '있음', ㉢은 '없음'이며, ㉠은 I이고, ㉡은 IV이다.

바로알기 | ㉣. ㉢은 '있음', ㉢은 '없음'이다.

㉢. III에서는 빛이 없으므로 명반응이 일어나지 않아 O_2 가 생성되지 않는다.

371 ㉤. 광계는 엽록소 a와 1차 전자수용체로 구성된 반응 중심과 이를 둘러싼 안테나 색소들로 이루어져 있다. 엽록소와 보조색소로 구성된 안테나 색소는 빛에너지를 흡수하여 반응 중심 엽록소 a에 모아주는 역할을 한다. 광계의 반응 중심 색소는 엽록소 a이다.

바로알기 | ㉣. 광계는 타이라코이드 막에 있다.

㉢. 광합성색소는 가시광선을 흡수한다.

372 ㉢. 광계 II에서 흡수한 빛에너지가 반응 중심 색소에 도달하면, P_{680} 의 전자가 고에너지 상태로 되어 방출되고, 전자를 잃은 P_{680} 은 물이 분해되면서 방출된 전자를 받아 환원된다. 이 광계의 반응 중심 색소인 P_{680} 은 파장이 680 nm인 빛을 파장이 700 nm인 빛보다 더 잘 흡수한다.

바로알기 | ㉣. 물의 광분해는 타이라코이드 내부에서 일어난다. 따라서 ㉠은 스트로마, ㉡은 타이라코이드 내부이다.

ㄴ. 1차 전자수용체에서 방출된 전자는 타이라코이드 막에 있는 전자 전달계에 전달된다.

373 ㄱ. 광계는 엽록소 a와 1차 전자수용체로 구성된 반응 중심과 이를 둘러싼 안테나 색소들로 이루어져 있다. 엽록소와 보조색소로 구성된 안테나 색소는 빛에너지를 흡수하여 반응 중심 엽록소 a에 모아 주는 역할을 한다. 따라서 ㉠은 안테나 색소, ㉡은 반응 중심 색소이다. 카로티노이드는 보조색소이므로 ㉠에 속한다.

ㄴ. 빛에너지를 흡수한 반응 중심 색소(㉡)는 고에너지 전자를 방출하고 산화된다.

바로알기 | ㄴ. 물의 광분해는 광계 II에서 일어나므로 P는 광계 II이다. 광계 II(P)는 비순환적 전자흐름에 관여한다.

374 광계 II에서 빛에너지를 받아 물이 광분해되면서 산소가 발생하므로 광계 X는 광계 II이다.

ㄱ. 광계는 타이라코이드 막에서 엽록소를 비롯한 광합성색소가 단백질과 결합하여 복합체를 이룬 것이다.

ㄴ. 광계 II(광계 X)에서 물의 광분해가 일어나고, 광계 II(광계 X)는 비순환적 전자흐름에 관여한다.

ㄷ. 광계 II(광계 X)의 반응 중심 색소는 P_{680} 이며, 전자를 잃은 P_{680} 은 물이 분해되면서 방출된 전자를 받아 환원된다.

375 ㉠은 H_2O , ㉡은 O_2 이고, ㉢는 반응 중심 색소, ㉣는 안테나 색소이다.

ㄱ. 엽록체는 프리즘을 통과하여 분산된 빛을 해감에 비추고, 해감 주변에 산소세균의 분포를 관찰하였다. 따라서 산소세균은 P에 해당한다.

ㄴ. (가)에서 산소세균(P)이 많이 모인 곳은 해감의 광합성이 활발하게 일어나 산소가 많이 발생한 파장이다. 따라서 산소(㉡)의 발생량은 청자색광에서가 황색광에서보다 많다.

ㄷ. 광계에서 안테나 색소(㉣)는 빛에너지를 흡수하여 반응 중심 색소(㉢)로 전달한다.

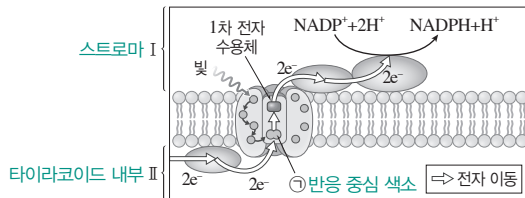
376 X는 엽록소 b, Y는 엽록소 a이다.

ㄱ. 광계 II에서 물의 광분해가 일어나므로 광계 ㉢는 광계 II이다.

ㄷ. 명반응에서 빛에너지의 흡수로 물이 분해되어 산소가 발생한다. 파장이 650 nm인 빛에서가 550 nm인 빛에서보다 광합성이 더 활발하게 일어나므로, (가)에서 단위 시간당 발생하는 O_2 의 양은 파장이 650 nm인 빛에서가 550 nm인 빛에서보다 많다.

바로알기 | ㄴ. 광계의 반응 중심 색소는 엽록소 a(Y)이다.

377



- 광계 I의 P_{700} 에서 방출된 전자는 $NADP^+$ 를 $NADPH$ 로 환원시키므로 ㉠은 반응 중심 색소 P_{700} 이다.
- 타이라코이드 막에서 스트로마 방향으로 $NADPH$ 가 생성된다. → I은 스트로마, II는 타이라코이드 내부이다.

ㄷ. 순환적 전자흐름에서 $NADPH$ 가 생성되지 않지만 비순환적 전자흐름에서는 $NADPH$ 가 생성된다.

바로알기 | ㄱ. ㉠은 광계 I의 반응 중심 색소 P_{700} 이다.

ㄴ. I은 스트로마, II는 타이라코이드 내부이다. 엽록체의 라이보솜은 스트로마(I)에 있다.

378 ㄱ. 순환적 전자흐름에서는 반응 중심 색소에서 방출된 전자가 1차 전자수용체로 전달된 다음, 전자전달계를 거쳐 다시 반응 중심 색소로 돌아온다. 반응 중심 색소 A에서 방출된 전자가 1차 전자수용체로 전달된 다음, 전자전달계를 거쳐 다시 A로 돌아오므로, ㉠은 순환적 전자흐름이다. 전자가 전자전달계를 지나는 동안 에너지를 방출하고 이 에너지는 ATP 합성에 사용된다.

ㄴ. 순환적 전자흐름에는 광계 I이 관여하고, 광계 I의 반응 중심 색소는 700 nm 파장의 빛을 가장 잘 흡수하는 P_{700} 이다. P_{700} 은 적색광을 잘 흡수하므로 순환적 전자흐름(㉠)은 적색광을 비추어 주었을 때 가 녹색광을 비추어 주었을 때보다 활발하게 일어난다.

ㄷ. 순환적 전자흐름에서는 반응 중심 색소 $P_{700}(A)$ 에서 방출된 전자가 1차 전자수용체로 전달된 다음, 전자전달계를 거쳐 다시 $P_{700}(A)$ 으로 돌아온다.

379 ㄱ. A는 광계 II, B는 광계 I이다. 광계 II의 반응 중심 색소는 P_{680} 이고, 광계 I의 반응 중심 색소는 P_{700} 이다.

ㄷ. 명반응의 비순환적 전자흐름을 통해 스트로마에서 $NADP^+$ 가 $NADPH$ 로 환원되고, 명반응은 빛의 파장이 450 nm일 때가 550 nm보다 활발하게 일어나므로, 스트로마에서 $NADPH$ 의 양은 빛의 파장이 450 nm일 때가 550 nm보다 많고, $NADP^+$ 의 양은 빛의 파장이 450 nm일 때가 550 nm일 때보다 적다. 따라서 스트로마에서 $\frac{NADPH의 양}{NADP^+의 양}$ 은 빛의 파장이 450 nm일 때가 550 nm일 때보다 크다.

바로알기 | ㄴ. 물의 광분해는 광계 II(A)에서 일어난다.

380 ① (가)는 비순환적 전자흐름, (나)는 순환적 전자흐름이다.

② 순환적 전자흐름(나)에서는 물의 광분해가 일어나지 않아 O_2 가 발생하지 않고, $NADPH$ 도 생성되지 않으며, ATP만 생성된다.

③ 비순환적 전자흐름(가) 과정에서 $NADP^+$ 가 전자를 받아 $NADPH$ 로 환원된다. 따라서 ㉠은 $NADPH$, ㉡은 $NADP^+$ 이다.

④ 광계 II에서 물이 광분해되어 O_2 가 생성된다.

바로알기 | ④ ㉡은 $NADP^+$ 이다.

⑤ 광계 I의 반응 중심 색소는 한 쌍의 엽록소 a이다.

381 A는 광계 II, B는 광계 I이다. 경로 1은 비순환적 전자흐름, 경로 2는 순환적 전자흐름이다.

ㄷ. 순환적 전자흐름(경로 2)에서는 물의 광분해가 일어나지 않아 O_2 가 발생하지 않고, $NADPH$ 도 생성되지 않으며, ATP만 생성된다.

바로알기 | ㄱ. 광계 I(B)의 반응 중심 색소는 P_{700} 이다. P_{680} 에서 방출된 전자는 전자전달계를 거쳐 P_{700} 으로 전달된다.

ㄴ. 비순환적 전자흐름(경로 1)에서 최종 전자수용체는 $NADP^+$ 이다.

382 경로 A는 비순환적 전자흐름, 경로 B는 순환적 전자흐름이다.

ㄴ. 비순환적 전자흐름(경로 A)에서 물이 광분해되어 O_2 가 생성된다.

바로알기 | ㄱ. 비순환적 전자흐름 과정에서 $NADP^+$ 가 $NADPH$ 로 환원되므로 최종 전자수용체 ㉠은 $NADP^+$ 이다.

ㄷ. 명반응이 일어날 때 전자가 전자전달계를 통해 이동하는 동안 방출된 에너지를 이용하여 H^+ 이 스트로마에서 타이라코이드 내부로 능동수송된다.

383 (가)는 순환적 전자흐름, (나)는 비순환적 전자흐름이다. ㉠과 ㉡은 광계 I, ㉢은 광계 II이다.

ㄱ. 광계 I(㉠)의 반응 중심 색소는 P_{700} 이다. 광계 I(㉠)에서 빛에너지를 흡수한 P_{700} 의 전자가 고에너지 상태로 방출되고, 방출된 전자는

전자전달계를 거쳐 다시 산화된 P_{700} 에 전달된다. 따라서 광계 I(㉠)에서 P_{700} 의 산화환원반응이 일어난다.

ㄷ. 순환적 전자흐름(가)과 비순환적 전자흐름(나)에서 모두 ATP가 생성된다.

바로알기 | ㄴ. 비순환적 전자흐름(나)에서 $NADP^+$ 가 $NADPH$ 로 환원된다.

384 B. 순환적 전자흐름에서는 광계 I만 관여하여 ATP가 생성된다. 비순환적 전자흐름에서는 광계 I과 광계 II가 모두 관여하여 ATP와 $NADPH$ 가 생성된다.

바로알기 | A. 순환적 전자흐름에는 광계 I만 관여하고, 광계 II는 비순환적 전자흐름에 관여한다.

C. 빛을 받은 광계의 반응 중심 엽록소 a에서 방출된 전자가 전자전달계에서 전달되는 동안 방출된 에너지를 이용하여 H^+ 을 스트로마에서 타이코이드 내부로 운반한다. 이때 타이코이드 내부의 H^+ 농도가 스트로마에 비해 높아져 타이코이드 막을 경계로 H^+ 의 농도 기울기가 형성된다.

385

구분	(가) 순환적 전자흐름	(나) 비순환적 전자흐름
생성물	㉠ ATP	ATP ㉠, ㉡, O_2 NADPH
물의 광분해	㉢ ×	㉣ ○

(○: 일어남, ×: 일어나지 않음)

비순환적 전자흐름 과정에서 O_2 , ATP, $NADPH$ 가 생성되므로 (가)는 순환적 전자흐름, (나)는 비순환적 전자흐름이다.

ㄴ. 순환적 전자흐름(가)에 광계 I이 관여한다.

바로알기 | ㄱ. 순환적 전자흐름 과정에서 ATP가 생성되고, 비순환적 전자흐름 과정에서 ATP, $NADPH$ 가 생성되며, 물이 광분해되어 O_2 가 생성된다. 순환적 전자흐름(가)에서는 물의 광분해가 일어나지 않으므로 ㉢는 '×', ㉣는 '○'이다.

ㄷ. 순환적 전자흐름(가)에서 P_{700} 에서 방출된 전자가 다시 P_{700} 으로 돌아온다.

386

구분	A 비순환적 전자흐름	B 순환적 전자흐름
광계	광계 II ㉠, ㉡ 광계 I	㉢ 광계 I

순환적 전자흐름 과정에는 광계 I이, 비순환적 전자흐름 과정에는 광계 I과 광계 II가 모두 관여한다. ㉠은 A에만 관여하고, ㉡은 A와 B에 모두 관여하므로 ㉠은 광계 II, ㉡은 광계 I이며, A는 비순환적 전자흐름, B는 순환적 전자흐름이다.

ㄴ. 순환적 전자흐름과 비순환적 전자흐름 과정에서 모두 ATP가 생성된다.

바로알기 | ㄱ. A는 비순환적 전자흐름, B는 순환적 전자흐름이다.

ㄷ. 광계 I(㉢)의 반응 중심 색소는 700 nm 파장의 빛을 가장 잘 흡수하는 P_{700} 이고, 광계 II(㉠)의 반응 중심 색소는 680 nm 파장의 빛을 가장 잘 흡수하는 P_{680} 이다. 따라서 적색광에서 반응 중심 색소가 가장 잘 흡수하는 빛의 파장은 광계 II(㉠)에서가 광계 I(㉢)에서보다 짧다.

387

	O_2 생성	산화환원반응과 ATP 생성 중 하나		
구분	(가)	(나)	(다)	
A 순환적 전자흐름	×	㉠ ○	○	
B 비순환적 전자흐름	? ○	○	? ○	

(○: 일어남, ×: 일어나지 않음)

순환적 전자흐름 과정에서 산화환원반응, ATP 생성이 일어나고, 비순환적 전자흐름 과정에서 산화환원반응, ATP 생성, O_2 생성이 모두 일어난다. 따라서 A는 순환적 전자흐름, B는 비순환적 전자흐름이다.

ㄱ. 순환적 전자흐름(A)에서 산화환원반응과 ATP 생성이 모두 일어나므로 ㉠은 '○'이다.

ㄴ. 순환적 전자흐름(A)에서 O_2 는 생성되지 않으므로 (가)는 O_2 생성, (나)와 (다)는 각각 산화환원반응과 ATP 생성 중 하나이다.

ㄷ. $NADPH$ 는 비순환적 전자흐름(B)에서 생성되므로 순환적 전자흐름(A)보다 비순환적 전자흐름(B)이 주로 일어나면 엽록체 내 $NADPH$ 의 생성량이 증가한다.

388

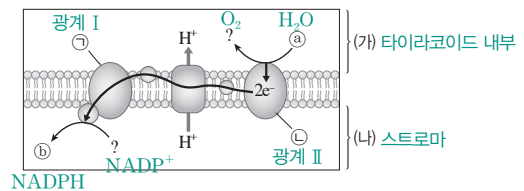
특징	구분	특징의 개수
• 광계 I이 관여한다. • ㉠ 비순환적 전자흐름에만 해당하는 특징 • 물의 광분해가 일어난다.	A 순환적 전자흐름	1
	B 비순환적 전자흐름	? 3
(가)	(나)	

ㄴ. 순환적 전자흐름 과정에 광계 I이 관여하고, 이때 물의 광분해는 일어나지 않는다. 비순환적 전자흐름 과정에 광계 I과 광계 II가 관여하고, 물이 광분해되어 O_2 가 생성되므로 특징의 개수가 1개인 A는 순환적 전자흐름, B는 비순환적 전자흐름이다.

ㄷ. 비순환적 전자흐름(B)에 광계 II가 관여한다.

바로알기 | ㄱ. 광계 I은 순환적 전자흐름과 비순환적 전자흐름에 모두 관여한다. ㉠이 'ATP가 생성된다.'이면 (가)에서 순환적 전자흐름이 갖는 특징은 2개, 비순환적 전자흐름이 갖는 특징은 3개이므로 조건에 모순된다.

389



명반응 과정에서 전자가 전자전달계를 통해 전달되는 동안 방출된 에너지를 이용하여 스트로마에서 타이코이드 내부로 H^+ 이 능동수송된다. 따라서 (가)는 타이코이드 내부, (나)는 스트로마이다. 타이코이드 내부(가)에서 물이 광분해되고, 타이코이드 막에서 스트로마(나) 쪽 방향으로 $NADPH$ 가 합성된다. 따라서 ㉢는 H_2O , ㉣는 $NADPH$ 이다. 광계 I에서 방출된 전자가 $NADP^+$ 에 전달되어 $NADPH$ 가 합성되고, 광계 II에서 물의 광분해가 일어난다. 따라서 ㉠은 광계 I, ㉡은 광계 II이다.

ㄷ. 탄소고정반응은 스트로마(나)에서 일어난다.

바로알기 | ㄱ. 광계 II(㉡)의 반응 중심 색소는 P_{680} 이다.

ㄴ. H^+ 은 스트로마(나)에서 타이코이드 내부(가)로 능동수송된다.

390

A는 광계 II, B는 광계 I이며, ㉢는 타이코이드 내부, ㉣는 스트로마이다.

ㄱ. 광계 II(A)의 반응 중심 색소는 P_{680} 이다.

ㄴ. 물의 광분해는 타이코이드 내부(㉢)에서 일어난다.

바로알기 | ㄷ. X를 처리하면 스트로마(㉣)에서 타이코이드 내부(㉢)로 H^+ 의 이동이 줄어들므로 스트로마(㉣)의 pH는 낮아지고 타이코이드 내부(㉢)의 pH는 높아진다. 따라서 ㉢에서의 pH는 X를 처리한 후가 처리하기 전보다 작다.

391 명반응에서 전자가 전자전달계를 통해 이동하는 동안 방출되는 에너지를 이용하여 스트로마에서 타이라코이드 내부로 H^+ 이 능동수송된다. 따라서 A는 스트로마, B는 타이라코이드 내부이다.

ㄱ. 엽록체의 DNA는 스트로마(A)에 있다.

ㄴ. 물의 광분해는 타이라코이드 내부(B)에서 일어난다.

ㄷ. H^+ 이 스트로마(A)에서 타이라코이드 내부(B)로 이동하는 방식은 능동수송이다.

392 ㄱ. 타이라코이드 내부에서 스트로마로 H^+ 이 ATP 합성효소를 통해 확산되므로 (가)는 스트로마, (나)는 타이라코이드 내부이다.

ㄷ. $NADP^+$ 가 NADPH로 환원되므로 ㉠은 $NADP^+$, ㉡은 NADPH이다. NADPH(㉡)는 탄소고정반응에 사용된다.

바로알기 | ㄴ. 광합성이 활발하게 일어날 때 전자가 전자전달계를 통해 이동하는 동안 방출된 에너지를 이용하여 H^+ 이 스트로마(가)에서 타이라코이드 내부(나)로 능동수송된다.

393 H^+ 의 농도 기울기에 따라 타이라코이드 내부의 H^+ 이 ATP 합성효소를 통해 스트로마 쪽으로 확산될 때 ATP가 합성된다. 따라서 I은 타이라코이드 내부, II는 스트로마이고, ㉠은 ATP 합성효소이다.

ㄱ. 타이라코이드 내부(I)에서 물이 광분해되어 O_2 가 생성된다.

ㄴ. 명반응에서 전자가 전자전달계를 통해 이동하는 동안 에너지가 방출되고, 이 에너지를 이용하여 일부 전자운반체가 스트로마에 있는 H^+ 을 타이라코이드 내부로 능동수송시키므로, 타이라코이드 내부의 H^+ 의 농도가 스트로마에 비해 높아진다. 명반응이 일어날 때 타이라코이드 내부(I)의 pH는 스트로마(II)의 pH보다 낮다. 따라서 타이라코이드 내부(I)의 pH / 스트로마(II)의 pH < 1이다.

ㄷ. 타이라코이드 내부의 H^+ 이 ATP 합성효소(㉠)를 통해 스트로마 쪽으로 확산될 때 ATP가 합성된다.

394 ㄴ. 명반응에서 빛에너지를 흡수한 전자가 전자전달계를 통해 이동하는 동안 방출되는 에너지를 이용하여 스트로마의 H^+ 이 타이라코이드 내부로 능동수송된다. 따라서 타이라코이드 내부의 pH는 t_1 일 때가 t_2 일 때보다 낮다.

ㄷ. ㉠은 물이 광분해되어 산소가 발생하는 과정이고, ㉡은 ADP와 무기인산이 ATP로 합성되는 과정이다. 명반응에서 ATP가 합성되므로 구간 II에서 ㉡이 일어난다.

바로알기 | ㄱ. 광합성은 빛이 필요한 명반응과 CO_2 가 필요한 탄소고정반응으로 구분되며, 명반응 산물인 ATP와 NADPH가 있어야 탄소고정반응이 일어나 포도당이 합성된다. 구간 III에서 광합성 속도가 일시적으로 증가했다가 감소했으므로 ㉠은 빛, ㉡은 CO_2 이다.

395

(가) 타이라코이드를 pH ㉠인 수용액에 넣고, 타이라코이드 내부의 pH가 수용액의 pH와 같아질 때까지 놓아둔다.

→ 타이라코이드 내부와 외부(수용액)의 pH는 모두 ㉠이다.

(나) (가)의 타이라코이드를 pH ㉡인 수용액으로 옮긴다.

→ 타이라코이드 내부의 pH는 ㉠이고, 외부(수용액)의 pH는 ㉡이다.

(다) (나)의 타이라코이드를 암실로 옮기고 수용액에 ADP와 무기인산(P_i)을 첨가했더니 ATP가 생성되었다.

• 타이라코이드 내부의 pH가 스트로마의 pH보다 낮을 때 H^+ 의 농도 기울기에 따라 타이라코이드 내부의 H^+ 이 ATP 합성효소를 통해 스트로마 쪽으로 확산하면서 ATP가 합성된다. → ㉠ < ㉡이다.

모범 답안 ㉠은 4, ㉡은 8이다. 광인산화 과정에서 타이라코이드 내부의 H^+ 이 농도 기울기에 따라 ATP 합성효소를 통해 스트로마로 확산

하면서 ATP가 합성된다. 따라서 ATP가 합성되기 위해서는 타이라코이드 내부의 pH가 수용액의 pH보다 낮아야 하기 때문이다.

채점 기준	배점
㉠과 ㉡을 모두 옳게 쓰고, 그렇게 생각한 까닭을 광인산화와 관련지어 옳게 서술한 경우	100 %
㉠과 ㉡만 옳게 쓴 경우	30 %

16 광합성 과정(2)

빈출 자료 보기

122쪽

396 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) × (6) ○

396 (가)는 탄소고정, (나)는 3PG 환원, (다)는 RuBP 재생이다.

(1) 탄소고정(가) 과정에서 CO_2 가 RuBP와 결합하여 3PG가 생성된다.

(4) (다)는 PGAL이 ATP를 소비하면서 RuBP로 전환되는 RuBP 재생이다.

(6) 포도당($C_6H_{12}O_6$) 1분자를 합성하는 데 6분자의 CO_2 가 사용된다.

바로알기 | (2) 캘빈회로는 엽록체의 스트로마에 있는 여러 효소의 작용으로 일어난다.

(3) ㉠은 RuBP, ㉡은 3PG, ㉢은 PGAL이다.

(5) 1분자당 탄소 수는 RuBP(㉠)가 5, 3PG(㉡)가 3, PGAL(㉢)이 3이다.

난이도별 필수 기출

123쪽~127쪽

397 ⑤, ⑥	398 ③	399 ①	400 ②
401 ②, ③	402 해설 참조	403 ⑤	404 ③
405 ②	406 ⑤	407 ③	408 ②
409 ④	410 ②	411 ⑤	412 ②
413 ②	414 ⑤	415 ②	416 ①

397 ① 이산화 탄소가 포도당으로 환원되는 탄소고정반응은 엽록체의 스트로마에서 일어난다.

② 탄소고정반응에서는 명반응의 산물인 ATP와 NADPH가 사용된다.

③ 탄소고정반응에서는 빛을 먼저 비춘 후 CO_2 를 공급하면 명반응에서 생성된 ATP와 NADPH가 있으므로 빛이 없어도 잠시 동안 광합성이 일어난다. 따라서 탄소고정반응은 직접적으로 빛을 필요로 하지 않는다.

④ RuBP가 CO_2 와 결합하여 3PG가 생성되는 과정에 루비스코라는 효소가 관여한다.

바로알기 | ⑤ 캘빈회로에서 PGAL 2분자가 결합하여 포도당이 생성된다.

⑥ 1분자당 탄소 수는 3PG와 PGAL이 모두 3이다.

398 ㄱ. 과정 I에서 CO_2 가 RuBP와 결합하여 3PG가 생성되는 탄소고정이 일어난다.

ㄴ. 1분자당 탄소 수는 RuBP가 5, PGAL이 3이다.

바로알기 | ㄷ. 캘빈회로에서 만들어지는 탄소 화합물 중 PGAL이 포도당 합성에 이용된다.

399 ㄱ. 캘빈회로에서 3PG는 ATP와 NADPH로부터 에너지와 전자를 받아 PGAL로 환원되고, PGAL이 RuBP로 전환되는 과정에서 ATP가 사용된다. 따라서 ㉠은 ATP, ㉡은 NADPH이다.

바로알기 | ㄴ. 캘빈회로에서 3PG는 ATP(㉠)와 NADPH(㉡)로부터 에너지와 전자를 받아 PGAL로 환원된다.

ㄷ. 포도당 1분자를 합성하는 데 ATP(㉠) 18분자, NADPH(㉡) 12분자가 필요하다.

400 ㄷ. (가)는 빛에너지를 흡수하여 ATP와 NADPH가 생성되는 명반응이고, (나)는 명반응에서 생성된 ATP와 NADPH를 소모하여 CO_2 를 포도당으로 합성하는 탄소고정반응이다. 반응물(CO_2 , H_2O)의 에너지양보다 생성물(포도당)의 에너지양이 많으므로 광합성은 전체적으로 에너지를 흡수하는 흡열 반응이다.

바로알기 | ㄱ. 포도당 1분자를 합성하는 데 ATP 18분자와 NADPH 12분자가 필요하다.

ㄴ. (가)는 에너지를 흡수하는 흡열 반응, (나)는 에너지를 방출하는 발열 반응이다.

401 ② 1분자당 RuBP의 탄소 수는 5, 3PG와 PGAL의 탄소 수는 각각 3이다. 1분자당 탄소 수는 B가 C보다 크므로, B는 RuBP이다. 캘빈회로에서 RuBP는 CO_2 와 결합하여 3PG가 생성되고, 3PG는 PGAL로 환원되며, PGAL은 RuBP로 전환되므로 A는 PGAL, C는 3PG이다.

③ 3PG(C)가 PGAL(A)로 전환되는 과정 (나)에서 ATP가 사용된다.

바로알기 | ① 루비스코는 RuBP(B)와 CO_2 가 결합하여 3PG(C)로 전환되는 과정 (다)에 관여한다.

④ RuBP(B)가 3PG(C)로 전환되는 과정 (다)에서 NADPH는 사용되지 않는다.

⑤ 캘빈회로를 거쳐 포도당 1분자가 합성될 때 ATP 18분자와 NADPH 12분자가 사용된다.

⑥ RuBP(B)와 CO_2 가 결합하여 3PG(C)로 전환되므로, 엽록체에 CO_2 의 공급을 차단하면 일시적으로 3PG(C)의 농도는 감소한다.

402 **모범 답안** (1) A: RuBP, B: 3PG, C: PGAL

(2) A, CO_2 와 RuBP(A)가 결합하여 3PG(B)가 생성되므로 CO_2 농도가 급격히 감소하면 RuBP(A)는 일시적으로 증가한다.

	채점 기준	배점
(1)	A~C를 모두 옳게 쓴 경우	30 %
(2)	A를 쓰고 그 까닭을 옳게 서술한 경우	70 %
	A라고만 쓴 경우	30 %

403 ㄱ. 캘빈과 벤슨은 밀폐된 용기에 클로렐라를 배양하면서 방사성 동위원소 ^{14}C 로 표지된 $^{14}\text{CO}_2$ 를 이용하여 유기물이 생성되는 과정을 밝혔다.

ㄴ. 원점에 점을 찍어 전개한 1차 전개 후, 이것을 90° 회전하여 다시 전개하는 2차 전개를 한다. 이렇게 하면 전개된 물질의 분포가 2차원

평면으로 나타나게 된다. 1차 전개액과 2차 전개액은 서로 다른 용매를 사용한다.

ㄷ. $^{14}\text{CO}_2$ 에 3초간 노출했을 때 3PG만 ^{14}C 로 표지되었으므로 탄소고정반응의 최초 산물은 3PG이다.

404 시간이 지나면서 ^{14}C 를 포함한 물질의 종류가 증가하므로 A는 90초, B는 5분, C는 5초이다. 캘빈회로에서 RuBP는 CO_2 와 결합하여 3PG가 생성되고, 3PG는 PGAL로 환원되며, PGAL은 RuBP로 전환되므로 ㉠은 PGAL, ㉡은 3PG, ㉢은 RuBP이다.

ㄱ. 90초(A)일 때 PGAL(㉠)이 검출된다.

ㄷ. ㉠은 PGAL, ㉡은 3PG, ㉢은 RuBP이다.

바로알기 | ㄴ. RuBP(㉢) 1분자와 CO_2 1분자가 결합하여 2분자의 3PG(㉡)가 된다. 3PG(㉡)는 명반응 산물인 ATP로부터 인산기를 받고 NADPH에 의해 환원되어 PGAL(㉠)로 전환된다.

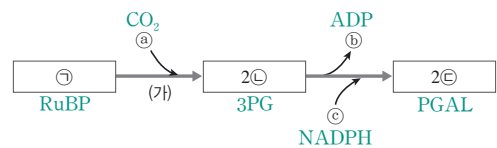
405 캘빈회로에서 RuBP는 CO_2 와 결합하여 3PG가 생성되고, 3PG는 PGAL로 환원되며, PGAL은 RuBP로 전환되므로 ㉠은 3PG, ㉡은 RuBP이다.

ㄷ. 1분자당 탄소 수는 3PG(㉠)가 3이고, RuBP(㉡)가 5이다. 따라서 1분자당 탄소 수는 RuBP(㉡)가 3PG(㉠)보다 크다.

바로알기 | ㄱ. 캘빈회로에서 CO_2 가 고정되어 최초로 생성되는 물질은 3PG(㉡)이다.

ㄴ. 캘빈회로에서 3PG는 PGAL로 전환된다. PGAL 중 일부는 포도당을 합성하는 데 사용되고, 일부는 RuBP로 재생되므로 t일 때 PGAL이 생성된다.

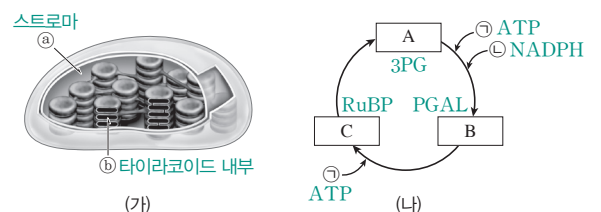
406



ㄱ. RuBP가 CO_2 와 결합하여 3PG로 전환되는 과정 (가)에는 ATP가 사용되지 않는다.

ㄴ. ㄷ. RuBP는 CO_2 와 결합하여 3PG가 되고, 3PG가 PGAL로 전환되는 과정에 ATP와 NADPH가 사용되므로, ㉠은 RuBP, ㉡은 3PG, ㉢은 PGAL이며, ㉣은 ADP, ㉤은 NADPH이다. 1분자의 포도당을 합성하기 위해 필요한 NADPH(㉤)의 분자 수는 12이고, CO_2 (㉣)의 분자 수는 6이다. 따라서 1분자의 포도당을 합성하기 위해 필요한 $\frac{\text{㉤의 분자 수}}{\text{㉣의 분자 수}} = 2$ 이다.

407

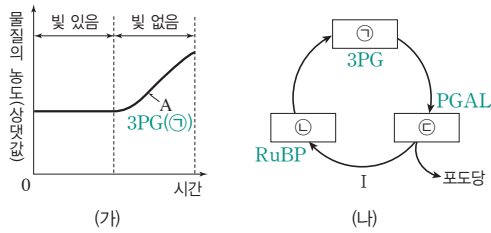


RuBP는 CO_2 와 결합하여 3PG로 전환되고, 3PG는 명반응에서 공급받은 ATP와 NADPH를 이용하여 PGAL로 환원되며, PGAL은 ATP를 소모하면서 RuBP로 전환되므로 ㉠은 ATP, ㉡은 NADPH이고, A는 3PG, B는 PGAL, C는 RuBP이다.

ㄱ. 스트로마(가)에서 3PG(A)가 PGAL(B)로 전환된다.

ㄴ. A는 3PG, B는 PGAL, C는 RuBP이다.

바로알기 | ㄷ. 포도당 1분자를 합성하는 데 ATP(㉠) 18분자와 NADPH(㉡) 12분자가 필요하다.

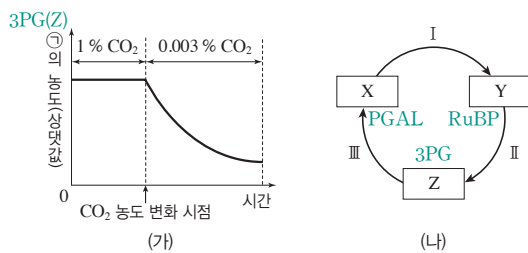


- 빛이 없을 때 명반응 산물인 ATP와 NADPH가 생성되지 않으므로 RuBP는 감소하고 3PG는 증가한다. → A는 3PG이다.
- 캘빈회로에서 만들어지는 탄소 화합물 중 PGAL은 포도당 합성에 이용된다. → ㉠은 3PG, ㉡은 RuBP, ㉢은 PGAL이다.

㉠. 1분자당 인산기의 수는 PGAL(㉢)이 1, RuBP(㉡)이 2이다.

바로알기 | ㉠. 빛이 없을 때 명반응의 산물인 ATP와 NADPH가 생성되지 않으므로, 3PG는 증가하고 RuBP는 감소한다. 따라서 A는 3PG(㉠)이다.

㉡. PGAL(㉢)이 RuBP(㉡)로 전환되는 과정에서 NADPH는 사용되지 않는다.



- CO₂ 농도가 감소할 때 RuBP는 증가하고, 3PG는 감소한다. → ㉠은 3PG이다.
- 캘빈회로에서 3PG가 PGAL로 전환되는 과정에 NADPH가 사용된다. → X는 PGAL, Y는 RuBP, Z는 3PG이다.

㉡. PGAL(X)이 RuBP(Y)로 전환되는 과정 I에서 ATP가 사용된다.

㉢. 1분자당 인산기 수는 PGAL(X)이 1, RuBP(Y)가 2, 3PG(Z)가 1이므로 1분자당 $\frac{Y \text{의 인산기 수}}{X \text{의 인산기 수} + Z \text{의 인산기 수}} = 1$ 이다.

바로알기 | ㉠. CO₂ 농도가 감소했을 때 ㉠의 농도가 감소하므로 ㉠은 3PG(Z)이다.

탄소고정반응에서 최초로 합성되는 물질은 3PG이며, 경과된 시간은 A < B < C < D이므로, ㉠은 RuBP이고, ㉡은 3PG이다.

㉢. 1분자당 탄소 수는 포도당이 6, RuBP(㉠)이 5, 3PG(㉡)이 3이므로 1분자당 $\frac{\text{포도당의 탄소 수}}{\text{㉠의 탄소 수} + \text{㉡의 탄소 수}} = \frac{6}{5+3} = \frac{3}{4}$ 이다.

바로알기 | ㉠. 탄소고정반응에서 최초로 합성되는 물질은 3PG이므로, ㉠은 RuBP이고, ㉡은 3PG이다.

㉢. 3PG(㉡)은 인산기를 갖는다.

과정	반응
물의 광분해 I	$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- + \text{O}_2$
탄소고정반응 II	$\text{RuBP } ① + \text{CO}_2 \rightarrow 2② \text{ 3PG}$
광인산화 III	$\text{ADP} + \text{P}_i \rightarrow \text{ATP}$

㉠. 과정 I은 명반응에서 빛에너지에 의해 물이 분해되는 광분해 과정이다. 타이락코이드 내부에서 물의 광분해가 일어난다.

㉡. RuBP가 CO₂와 결합하여 3PG가 생성되는 과정에 스트로마에 있는 효소(루비스코)가 관여한다.

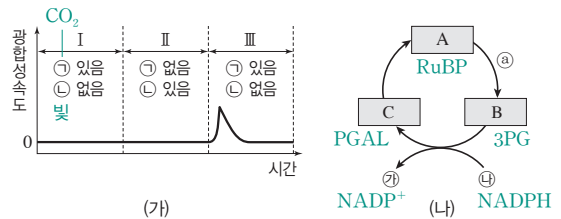
㉢. 탄소고정반응에서 RuBP가 CO₂와 결합하여 3PG가 생성되므로 ㉠은 RuBP, ㉡은 3PG이다. III는 명반응에서 ATP를 합성하는 광인산화 과정이다. 3PG가 PGAL로 전환되는 과정에 ATP가 사용되므로, III가 중단되면 3PG(㉡)의 농도는 일시적으로 증가한다.

CO₂ 3분자가 5탄소 화합물인 RuBP 3분자와 결합하여 3탄소 화합물인 3PG 6분자로 전환되고, 3PG 6분자는 PGAL 6분자로 환원된다. PGAL 6분자 중 5분자는 RuBP 3분자로 전환된다. $\frac{①}{②+③} = \frac{2}{3}$ 이므로 ㉠과 ㉡은 각각 6이고, ㉢은 3이며, A는 3PG, B는 PGAL, C는 RuBP이다.

㉣. PGAL(B)이 RuBP(C)로 전환되는 과정 II에서 ATP가 사용된다.

바로알기 | ㉠. A는 3PG, B는 PGAL, C는 RuBP이다.

㉡. RuBP(C)가 3PG(A)로 전환되는 과정에서 루비스코의 작용으로 CO₂가 고정된다.



명반응에서 생성된 ATP와 NADPH가 캘빈회로에 사용되므로 ㉠은 CO₂, ㉡은 빛이다. 캘빈회로에서 3PG가 PGAL로 전환되는 과정에 NADPH가 사용되므로 ㉢은 NADP⁺, ㉣은 NADPH이며, A는 RuBP, B는 3PG, C는 PGAL이다.

㉤. ㉤은 RuBP가 3PG로 전환되는 탄소고정 과정이므로 명반응 산물과 CO₂가 있는 구간 III에서 과정 ㉤이 일어난다.

바로알기 | ㉠. 구간 I에는 빛(㉡)이 없으므로 NADPH(㉣)가 생성되지 않는다.

㉢. 캘빈회로에서 3PG는 NADPH로부터 고에너지 전자를 받아 PGAL로 환원되므로 1분자당 에너지량은 PGAL(C)이 3PG(B)보다 많다.

구분	ATP	CO ₂	NADPH
I	? 소모 안 됨	소모됨	? 소모 안 됨
II	㉡ 소모됨	? 소모 안 됨	㉣ 소모 안 됨

CO₂는 RuBP와 결합하여 3PG로 전환된다. 과정 I에서 CO₂가 소모되므로 ㉠과 ㉡은 각각 RuBP와 3PG 중 하나이고, ㉢은 PGAL이다. PGAL이 RuBP로 전환되는 과정과 3PG가 PGAL로 전환되는 과정에서 모두 ATP가 소모되므로 ㉡은 '소모됨', ㉣은 '소모 안 됨'이다. 3PG가 PGAL로 전환되는 과정에서 NADPH가 소모되므로 ㉠은 3PG, ㉡은 RuBP이다.

㉢. ㉢은 RuBP, ㉣은 3PG, ㉤은 PGAL이다.

㉤. ㉤이 3PG, ㉥이 PGAL이므로 회로의 진행 방향은 ㉤이다.

㉦. 광합성 중인 식물에 빛의 공급을 차단하면 명반응 산물인 ATP와 NADPH가 공급되지 않아 3PG(㉡)의 농도가 일시적으로 증가한다.

㉠. (나)는 헬몬트의 실험이다. (나)에서 5년 후 어린 나무는 약 74 kg 정도 증가했지만, 흙은 약 0.06 kg만 줄어들었으므로, (나)를 통해 식물의 성장에 물이 이용됨을 알 수 있다.

바로알기 | ㉠. (가)는 프리스틀리의 실험이다. (가)를 통해 녹색 식물이 동물의 호흡으로 생긴 나쁜 공기를 정화시키는 능력이 있음을 알 수 있지만, 쥐의 호흡에 빛이 필요함을 알 수 있는 것은 아니다.

㉢. (나)를 통해 식물이 나쁜 공기를 정화시키는 능력이 있음을 알 수는 없다.

416 ㄱ. 잉엔하우스는 밀폐된 유리종 속에 쥐와 식물을 넣고 빛이 있는 조건과 없는 조건에 두었을 때 빛이 있는 곳에 둔 쥐와 식물은 오래 살았고, 빛이 없는 곳에 둔 쥐와 식물은 오래 살지 못하는 것을 발견하였으며, 이를 통해 식물의 광합성에 빛이 필요함을 밝혔다.

바로알기 | ㄴ. 야겐도르프는 실험을 통해 ATP 합성에는 빛이 직접 필요한 것이 아니라 수소 이온의 농도 기울기로 ATP가 합성됨을 밝혔다.

ㄷ. 산소의 동위원소 ^{18}O 를 이용하여 광합성 결과 발생하는 산소가 물에서 유래한 것을 밝힌 과학자는 루벤이다.

17 광합성과 세포호흡

빈출 자료 보기

128쪽

417 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ○

417 ㉠은 H_2O , ㉡은 O_2 , ㉢은 CO_2 이다.

(1) 엽록체에서 빛에너지의 흡수로 형성된 H^+ 의 농도 기울기를 이용하여 ATP를 합성하는 광인산화 과정을 통해 ATP가 합성된다. (가)는 광인산화 과정을 통해 합성되고, (나)는 미토콘드리아에서 일어나는 산화적 인산화를 통해 합성된다.

(4) 명반응 과정에서 빛에너지에 의해 물(H_2O)이 분해되는 것을 물의 광분해라고 한다. 물(H_2O)(㉠)이 광분해되면서 수소 이온(H^+)과 전자(e^-), 산소(O_2)(㉡)가 발생한다.

(5) 미토콘드리아의 전자전달계에서 전자의 최종 수용체는 O_2 (㉢)이다.

바로알기 | (2) 미토콘드리아 내막의 전자전달계와 화학삼투로 ATP를 합성하는 산화적 인산화 과정을 통해 ATP가 합성된다.

(3) CO_2 (㉢)은 캘빈회로에서 포도당으로 환원된다.

난이도별 필수 기출

129쪽~132쪽

418 ②, ⑤ **419** ⑤ **420** ⑤ **421** ④ **422** ③
423 ④ **424** ③ **425** 해설 참조 **426** ④ **427** ⑤
428 ④, ⑤ **429** ③ **430** ⑤ **431** ③ **432** ①
433 ①

418 ① 세포호흡(㉠)은 포도당과 같은 유기물을 분해하여 에너지를 방출하는 반응으로, 세포질과 미토콘드리아에서 일어난다. 따라서 식물 세포의 미토콘드리아에서 세포호흡(㉠)이 일어난다.

③ 세포호흡(㉠)이 일어나 유기물의 화학 에너지가 ATP의 화학 에너지로 전환된다.

④ 광합성(㉡)의 명반응 과정에서 빛에너지가 화학 에너지로 전환된다.

⑥ 세포호흡(㉠)과 광합성(㉡)은 모두 효소로 반응이 조절되는 물질대사이다.

바로알기 | ② 세포호흡(㉠)의 전자전달계에서 최종 전자수용체는 O_2 이다.

⑤ 광합성(㉡)의 전자전달계에서 전자공여체는 H_2O 이다.

419 A. 엽록체에서는 빛에너지의 흡수로 형성된 H^+ 의 농도 기울기를 이용하여 ATP를 합성하는 광인산화가 일어난다.

B. 세포호흡 과정에서 전자의 최종 수용체는 산소이다.

C. 광합성에서는 빛에너지를 포도당의 화학 에너지로 전환하고, 세포호흡에서는 포도당의 화학 에너지를 ATP의 화학 에너지로 전환한다.

420 ㄱ. 세포호흡(A) 과정에서는 산화적 인산화와 기질수준인산화를 통해 ATP가 합성되고, 광합성(B) 과정에서는 광인산화를 통해 ATP가 합성된다.

ㄴ. 세포호흡(A) 과정에서는 미토콘드리아 내막에서 일어나는 전자 전달 과정에서 방출된 에너지로부터 ATP가 합성되고, 광합성(B) 과정에서는 틸라코이드 막에서 일어나는 전자 전달 과정에서 방출된 에너지로부터 ATP가 합성된다.

ㄷ. 광합성(B)의 명반응 과정에서 빛에너지를 화학 에너지로 전환한다.

421 A는 틸라코이드 내부, B는 스트로마, C는 미토콘드리아 바탕질이다.

ㄴ. 엽록체의 스트로마(B)와 미토콘드리아 바탕질(C)에는 라이보솜이 있어 단백질이 합성된다.

ㄷ. 틸라코이드 막과 미토콘드리아 내막에는 ATP 합성효소가 있어 ATP가 합성된다.

바로알기 | ㄱ. 엽록체의 스트로마(B)에서 CO_2 가 환원된다.

422 (가)는 CO_2 를 고정하여 포도당을 합성하는 탄소고정반응이고, (나)는 포도당과 같은 유기물이 산화 및 분해되어 에너지를 방출하는 세포호흡 과정의 일부이다.

ㄱ. 탄소고정반응(가)은 엽록체의 스트로마에서 일어난다.

ㄷ. 광합성(가) 과정에서 CO_2 가 환원되어 포도당이 합성되고, 세포호흡(나) 과정에서는 카복실기제거효소가 관여하여 기질로부터 CO_2 가 떨어져 나온다.

바로알기 | ㄴ. 포도당이 피루브산으로 분해되는 해당 과정에서 생성되는 ATP는 효소의 작용으로 기질에 결합하고 있던 인산기가 ADP로 전달되어 생성되는 기질수준인산화로 합성된다.

423 ㄴ. (가)는 엽록체에서, (나)는 미토콘드리아에서 일어나는 ATP 합성 과정이다. 미토콘드리아의 전자전달계와 ATP 합성효소는 미토콘드리아 내막에 있다.

ㄷ. 엽록체에서 일어나는 광합성과 미토콘드리아에서 일어나는 세포호흡에서 모두 수소 이온의 농도 기울기를 이용하여 ATP 합성효소에서 ATP를 합성하는 화학삼투가 일어난다.

바로알기 | ㄱ. 엽록체에서 일어나는 전자전달계에서 최종 전자수용체는 NADP^+ 이다.

424 틸라코이드 내부에서 H_2O 이 광분해되어 O_2 가 합성된다. 따라서 ㉠은 스트로마, ㉡은 틸라코이드 내부이고, (가)는 엽록체에서 전자가 전달되는 과정이다. 미토콘드리아의 막사이공간에서 바탕질로 H^+ 이 확산하면서 ATP가 합성된다. 따라서 ㉢은 바탕질, ㉣은 막사이공간이고, (나)는 미토콘드리아에서 전자가 전달되는 과정이다.

ㄱ. 탄소고정반응은 엽록체의 스트로마(㉠)에서 일어난다.

ㄷ. 엽록체에서는 틸라코이드 막에서 전자가 전달되는 동안 방출된

에너지를 이용하여 스트로마(㉠)에 있는 H^+ 을 타이라코이드 내부(㉡)로 운반하여 H^+ 의 농도 기울기가 생기고, 미토콘드리아에서는 미토콘드리아 내막에서 전자가 전달되는 동안 방출된 에너지를 이용하여 바탕질(㉢)에 있는 H^+ 을 막사이공간(㉣)으로 운반하여 H^+ 의 농도 기울기가 생긴다.

바로알기 | ㄴ. 해당 과정은 세포질에서 일어난다.

425 **모범 답안** ㉠은 A이다. (나)는 미토콘드리아의 전자전달계이며, 물질 A를 처리하면 미토콘드리아 내막을 경계로 한 H^+ 농도 기울기가 줄어들고 그 결과 ATP 합성량이 감소하기 때문이다.

채점 기준	배점
㉠을 옳게 쓰고, 그 까닭을 (나)에서 나타난 ATP 합성량의 변화와 관련지어 옳게 서술한 경우	100 %
㉠만 옳게 쓴 경우	30 %

426 (가)는 미토콘드리아 내막에서 일어나는 산화적 인산화 과정, (나)는 엽록체의 타이라코이드 막에서 일어나는 광인산화 과정이다. ㄱ. 미토콘드리아 내막에서 일어나는 산화적 인산화 과정(가)은 동물 세포에서도 일어난다.

ㄴ. 미토콘드리아 내막에서 일어나는 산화적 인산화 과정(가)과 엽록체의 타이라코이드 막에서 일어나는 광인산화 과정(나)은 모두 효소에 의해 조절되는 물질대사이다.

바로알기 | ㄴ. NADPH에 포함된 전자는 탄소고정반응에서 3PG를 PGAL로 환원시키는 데 이용된다.

427 ㄴ. 엽록체에서 (가)는 타이라코이드 내부, (나)는 타이라코이드 막, (다)는 스트로마이다.

ㄴ. 미토콘드리아에서 (가)는 막사이공간, (다)는 바탕질이다. 미토콘드리아에서 세포호흡이 활발하게 일어날 때 H^+ 이 바탕질(다)에서 막사이공간(가)으로 운반되므로, 세포호흡이 활발하게 일어날 때 pH는 막사이공간(가)에서가 바탕질(다)에서보다 낮다.

바로알기 | ㄱ. ATP 합성효소(㉠)를 통해 (가)(막사이공간, 타이라코이드 내부)에서 (나)(바탕질, 스트로마)로 H^+ 이 이동하는 방식은 촉진 확산이다.

428 캘빈회로에서 CO_2 를 고정하여 포도당을 합성하고, TCA 회로에서 유기물이 산화되면서 NADH, $FADH_2$ 가 생성되므로 (가)는 캘빈회로, (나)는 TCA 회로이다.

① 광합성의 명반응에서 생성된 ATP와 NADPH가 캘빈회로에 사용되고, O_2 는 미토콘드리아의 전자전달계에서 최종 전자수용체이므로 ㉠은 ATP, ㉡은 O_2 , ㉢은 CO_2 이다.

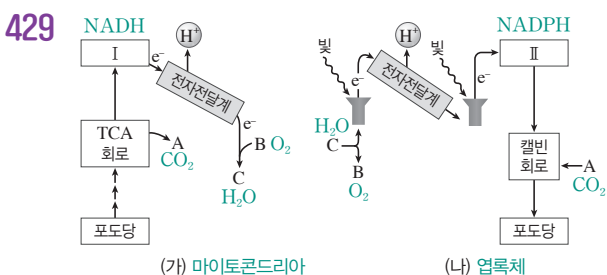
② (가)는 캘빈회로, (나)는 TCA 회로이다.

③ 캘빈회로(가)는 엽록체의 스트로마에서 일어난다.

④ 세포호흡의 전자전달계에서 최종 전자수용체는 O_2 (㉡)이다.

바로알기 | ④ TCA 회로(나)는 미토콘드리아 바탕질에서 일어난다.

⑤ TCA 회로(나)에서 기질수준인산화를 통해 ATP(㉠)가 합성된다.



TCA 회로는 미토콘드리아 바탕질에서 일어나고, 캘빈회로는 엽록체의 스트로마에서 일어나므로 (가)는 미토콘드리아에서, (나)는 엽록체에서 일어나는 물질대사이다. 미토콘드리아에서 일어나는 세포호흡 과정에서 카복실기 제거 반응이 일어나 CO_2 가 생성되고, O_2 는 전자전달계의 최종 전자수용체로 작용하여 H_2O 이 생성되므로 A는 CO_2 , B는 O_2 , C는 H_2O 이다. 미토콘드리아에서 일어나는 세포호흡 과정에서는 NAD^+ 가 탈수소효소의 조효소로 사용되어 NADH가 생성되고, 엽록체에서 일어나는 광합성 과정에서는 $NADP^+$ 가 탈수소효소의 조효소로 사용되어 NADPH가 생성되므로, I은 NADH, II는 NADPH이다.

ㄱ. 미토콘드리아에서 일어나는 세포호흡 과정에서 탈탄산 반응과 탈수소 반응이 일어난다.

ㄴ. 엽록체에서 일어나는 광합성 과정에서 H_2O (C)은 빛에너지에 의해 분해되어 O_2 (B)가 발생한다.

바로알기 | ㄴ. 엽록체에서 일어나는 광합성에서 최종 전자수용체는 $NADP^+$ 이다.

430 캘빈회로에서 CO_2 를 고정하여 포도당을 합성하고, TCA 회로에서 유기물이 분해되면서 CO_2 가 발생하므로 (가)는 캘빈회로, (나)는 TCA 회로이고, ㉢은 CO_2 이다. 광합성의 명반응에서 빛에너지에 의해 물이 분해되어 산소가 발생하므로 A는 빛, B는 ATP이고, ㉠은 H_2O , ㉡은 O_2 이다.

ㄱ. O_2 (㉡)는 세포호흡 과정에서 최종 전자수용체 역할을 한다.

ㄴ. 과정 I은 포도당이 피루브산으로 분해되는 해당 과정이다. 해당 과정에서 포도당 1분자당 ATP 2분자를 소모하여 과당 2인산이 된 후 ATP 4분자를 생성한다. 따라서 과정 I에서 ATP(B)가 소모되는 단계가 있다.

ㄴ. 1분자의 포도당이 합성될 때 캘빈회로(가)에서 6분자의 CO_2 (㉢)가 고정된다.

431

구분	I 세포호흡	II 광합성
㉠	○	○
㉡	×	㉢ ○

(○: 있음, ×: 없음)

특징(㉠, ㉡)

- 순환적 전자흐름이 일어난다. ㉠
- ㉡
- 세포호흡과 광합성에 모두 해당하는 특징. ㉠

(가)

(나)

ㄱ. '순환적 전자흐름이 일어난다.'는 광합성에 해당하는 특징이므로 특징 ㉠이 없는 I은 세포호흡이고, II는 광합성이다. ㉡은 '순환적 전자흐름이 일어난다.'이고, II는 광합성이므로 ㉢은 '○'이다.

ㄴ. ㉡은 ㉠이고, ㉠은 세포호흡(I)과 광합성(II)에 모두 해당하는 특징이다. 세포호흡(I)과 광합성(II)에서 모두 탈수소효소가 작용하므로 '탈수소효소가 작용한다.'는 ㉡에 해당한다.

바로알기 | ㄴ. ㉡은 '순환적 전자흐름이 일어난다.'이다.

432 미토콘드리아의 바탕질과 엽록체의 스트로마에서 ATP 합성효소에 의해 ATP가 합성된다. 미토콘드리아의 경우 (가)는 막사이공간, (나)는 바탕질이고, 엽록체의 경우 (가)는 타이라코이드 내부, (나)는 스트로마이다.

ㄱ. 반응 I은 NAD^+ 가 환원되어 NADH가 생성되는 반응으로 세포호흡 과정에서 나타난다. 미토콘드리아의 경우 바탕질(나)에서 I이 일어난다.

바로알기 | ㄴ. 엽록체의 경우 ATP 합성효소를 통해 타이라코이드 내부에서 스트로마로 H^+ 이 이동하므로 (가)는 타이라코이드 내부, (나)는 스트로마이다.

ㄷ. I은 세포호흡 과정 중 NAD^+ 가 NADH 로 환원되는 과정이고, II는 광합성 과정 중 물이 분해되어 산소가 발생하는 과정이다. 따라서 엽록체에서 II가 억제되면 I도 억제되는 것은 아니다.

433

[실험 과정 및 결과]

(가) 세포에서 분리한 X를 pH 8의 수용액에 충분한 시간 동안 담가 ㉠과 ㉡이 모두 pH 8이 되도록 만든다.

→ X가 엽록체일 경우 ㉠과 ㉡은 각각 타이라코이드 내부와 스트로마 중 하나이고, 타이라코이드 내부와 스트로마의 pH는 모두 8이다. X가 미토콘드리아일 경우 ㉠과 ㉡은 각각 막사이공간과 미토콘드리아 바탕질 중 하나이고, 막사이공간과 미토콘드리아 바탕질의 pH는 모두 8이다.

(나) (가)의 X를 꺼내 pH 4의 수용액에 넣고 ADP와 무기인산(P_i)을 공급한 후 ATP가 생성되었는지 확인한 결과 ㉠에서 ATP가 생성되었다.

- X가 엽록체일 경우 스트로마의 pH는 4, 타이라코이드 내부의 pH는 8이다. 엽록체에서는 H^+ 의 농도 기울기에 따라 타이라코이드 내부의 H^+ 이 ATP 합성효소를 통해 스트로마로 확산되면서 ATP가 합성되므로 조건에 맞지 않는다. → X는 미토콘드리아이다.
- H^+ 의 농도 기울기에 따라 막사이공간의 H^+ 이 ATP 합성효소를 통해 미토콘드리아 바탕질로 확산되면서 ATP가 합성되므로 ㉠은 미토콘드리아 바탕질, ㉡은 막사이공간이다.

ㄱ. X는 미토콘드리아이고, ㉠은 미토콘드리아 바탕질, ㉡은 막사이공간이다.

바로알기 | ㄴ. 미토콘드리아에서 H^+ 은 막사이공간(㉡)에서 미토콘드리아 바탕질(㉠)로 확산된다.

ㄷ. 실험을 통해 전자 전달 과정 없이 H^+ 의 농도 기울기에 의해 ATP가 합성됨을 알 수 있다.

최고 수준 도전 기출

133쪽~135쪽

434 ② 435 ③ 436 ④ 437 ③ 438 ⑤ 439 ①
440 ④ 441 ③ 442 ③ 443 ① 444 ④ 445 ③

434 ㄴ. 광계 II에서 물이 광분해되어 산소가 발생하므로 (나)는 광계 II이다. 광계 II는 비순환적 전자흐름에 관여한다.

바로알기 | ㄱ. X는 엽록소 b, Y는 엽록소 a이다. 엽록소와 보조색소로 구성된 안테나 색소는 빛에너지를 흡수하여 반응 중심 엽록소 a에 모아 주는 역할을 하므로 ㉠은 엽록소 b, ㉡은 엽록소 a이다. 따라서 ㉢은 엽록소 b(X)이다.

ㄷ. 엽록소가 흡수하지 않는 파장의 빛은 카로티노이드 색소가 흡수하여 엽록소에 전달하므로 파장이 550 nm인 빛에서도 물의 광분해가 일어난다.

435

→ 원점은 I 방향에 있다.
I ← → II
① ② ③
엽록소 b 엽록소 a 카로틴

색소	특징
① 엽록소 b	?
② 엽록소 a	광계의 반응 중심 색소이다.
③ 카로틴	초록색 빛을 흡수하여 초록색 빛에서도 광합성이 일어난다.

ㄱ. 광계의 반응 중심 색소는 엽록소 a이므로 ㉡은 엽록소 a이다. 카로티노이드 색소는 엽록소가 흡수하지 않는 초록색 빛을 흡수하여 엽록소에 전달하므로 초록색 빛에서도 광합성이 일어난다. 카로틴은 카

로티노이드계 색소에 해당하므로 ㉢은 카로틴이고, ㉠은 엽록소 b이다. 원점에서 색소까지의 거리 $\frac{\text{원점에서 색소까지의 거리}}{\text{원점에서 용매 전선까지의 거리}}$ 는 엽록소 b(㉢)가 엽록소 a(㉡)보다 작으므로, 원점에서 색소까지의 거리는 엽록소 b(㉢)가 엽록소 a(㉡)보다 짧다. 따라서 원점은 I 방향에 있다.

ㄷ. 엽록소, 카로틴, 잔토필 등 광합성색소는 타이라코이드 막에 있다.

바로알기 | ㄴ. 전개울은 $\frac{\text{원점에서 색소까지의 거리}}{\text{원점에서 용매 전선까지의 거리}}$ 이므로, 전개울은 카로틴(㉢)이 엽록소 b(㉢)보다 크다.

436

A는 타이라코이드 내부, B는 스트로마이다. 엽록체의 타이라코이드 막에서 전자가 전달되는 동안 방출된 에너지를 이용하여 스트로마에 있는 H^+ 이 타이라코이드 내부로 능동수송된다. 따라서 I은 스트로마(B), II는 타이라코이드 내부(A)이다.

ㄴ. 타이라코이드 내부(II)에서 물의 광분해가 일어난다.

ㄷ. 명반응에서 전자가 전자전달계를 통해 이동하는 동안 방출되는 에너지를 이용하여 스트로마에서 타이라코이드 내부로 H^+ 을 운반한다. 따라서 (나)에서 전자전달계를 통한 H^+ 의 이동 방식은 능동수송이다.

바로알기 | ㄱ. I은 스트로마(B), II는 타이라코이드 내부(A)이다.

437

타이라코이드 내부에서 물의 광분해가 일어나므로 I은 스트로마, II는 타이라코이드 내부이다. 광계에서 안테나 색소는 빛에너지를 흡수하여 반응 중심 엽록소 a에 모아 주고, 빛에너지를 흡수한 반응 중심 엽록소 a는 고에너지 전자를 방출하고 산화되므로 ㉠은 안테나 색소, ㉡은 반응 중심 색소이다.

ㄱ. 탄소고정반응은 스트로마(I)에서 일어난다.

ㄷ. 광합성은 빛의 파장이 450 nm일 때가 550 nm일 때보다 활발하게 일어나므로 빛의 흡수율은 파장이 450 nm인 빛에서가 550 nm인 빛에서보다 높다. 빛 흡수율이 높을수록 명반응이 활발하게 일어나 스트로마에서 타이라코이드 내부로 운반되는 H^+ 의 양이 많아지므로 스트로마(I)의 pH는 파장이 450 nm인 빛에서가 550 nm인 파장에서보다 높고, 타이라코이드 내부(II)의 pH는 파장이 450 nm인 빛에서가 550 nm인 파장에서보다 낮다. 따라서 $\frac{\text{I의 pH}}{\text{II의 pH}}$ 는 파장이 450 nm인 빛에서가 550 nm인 빛에서보다 크다.

바로알기 | ㄴ. 반응 중심의 엽록소 a는 빛에너지를 흡수하면 고에너지 전자를 잃고 산화된다.

438



(가)	$\text{NADPH} + \text{H}^+ \rightarrow \text{NADP}^+ + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$
(나)	$\text{ADP} + \text{P}_i \rightarrow \text{ATP}$

- (가): NADPH는 탄소고정반응에서 CO_2 를 환원하는 데 사용된다.
- (나): 광합성에서는 명반응의 광인산화 과정을 통해 ATP를 합성한다.

광합성은 빛에너지를 흡수하는 단계와 포도당을 합성하는 단계로 구분되며, 빛에너지를 흡수하는 명반응 후에 포도당을 합성하는 탄소고정반응이 일어난다. 빛을 먼저 비춘 후 이산화 탄소를 공급하면 빛이 없어도 잠시 동안 광합성이 일어나므로 ㉠은 빛, ㉡은 CO_2 이다.

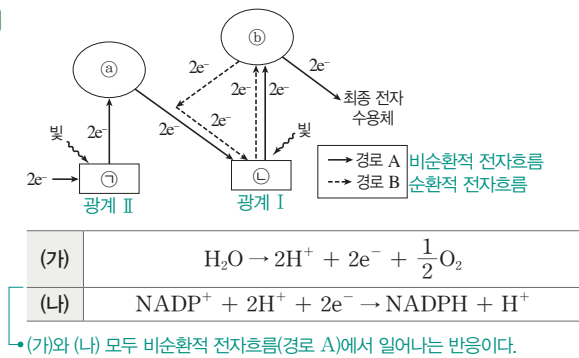
ㄱ. (나)는 ATP를 합성하는 반응으로 광합성에서는 명반응의 광인산화 과정을 통해 ATP를 합성한다. 구간 II에서는 빛(㉠)이 있으므로 (나)가 일어난다.

ㄴ. (가)는 NADPH가 산화되어 NADP^+ 가 생성되는 반응이다. NADPH는 탄소고정반응에서 CO_2 를 환원하는 데 사용되므로

CO₂(㉔)가 있는 구간 Ⅲ에서 (가)가 일어난다.

ㄷ. 빛(㉑)이 있을 때 H⁺이 스트로마에서 타이라코이드 내부로 운반되므로 스트로마의 pH는 빛(㉑)이 있는 t₁일 때가 빛(㉑)이 없는 t₂일 때보다 높다.

439

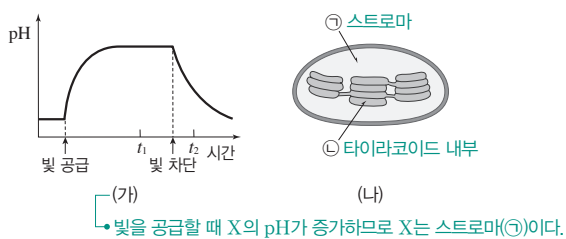


ㄱ. (가)는 광합성의 명반응에서 물이 광분해되는 과정이다. 물의 광분해(가)는 광계 II(㉑)에서 일어난다.

바로알기 | ㄴ. 광계 II의 반응 중심 색소는 P₆₈₀이고, 광계 I의 반응 중심 색소는 P₇₀₀이다. P₆₈₀에서 방출된 전자는 ㉔를 거쳐 P₇₀₀으로 전달된다.

ㄷ. 비순환적 전자흐름(경로 A) 과정에서 NADPH가 생성되는 (나)가 일어난다.

440



㉑은 스트로마, ㉒은 타이라코이드 내부이다. 빛이 있을 경우 H⁺이 스트로마(㉑)에서 타이라코이드 내부(㉒)로 운반되므로 스트로마(㉑)의 pH는 증가하고, 타이라코이드 내부(㉒)의 pH는 감소한다. 따라서 빛을 공급할 때 X의 pH가 증가하므로 X는 스트로마(㉑)이다.

ㄱ. ㉑은 스트로마, ㉒은 타이라코이드 내부이다. 스트로마(㉑)에서 NADPH가 산화된다.

ㄷ. 엽록체에서 빛이 있을 때 광인산화 과정을 통해 ATP가 합성되고, ATP는 탄소고정반응에 사용되므로 $\frac{ADP \text{의 농도}}{ATP \text{의 농도}}$ 는 t₁일 때가 t₂일 때보다 작다.

바로알기 | ㄴ. X는 스트로마(㉑)이다.

441

ㄱ. (가)는 광계 II, (나)는 광계 I이다.

ㄴ. 제초제 ㉑은 X에서 전자 전달을 차단하므로 ㉑을 처리하면 H⁺이 스트로마에서 타이라코이드 내부로 능동수송되는 과정이 억제되어 스트로마의 pH는 ㉑을 처리하기 전보다 감소하고, 타이라코이드 내부의 pH는 ㉑을 처리하기 전보다 증가한다. 따라서 $\frac{\text{스트로마의 pH}}{\text{타이라코이드 내부의 pH}}$ 는 ㉑을 처리한 후가 처리하기 전보다 작다.

바로알기 | ㄷ. 경로 1은 비순환적 전자흐름, 경로 2는 순환적 전자흐름이며, ㉑은 광계 II(가)의 전자수용체에서 광계 I의 P₇₀₀으로 전자가 이동하지 못하게 한다. ATP는 순환적 전자흐름 과정에서도 합성되므로 ㉑을 처리해도 순환적 전자흐름 과정에서 ATP가 합성된다.

442

혈의 실험에서 빛에너지의 흡수로 물이 분해되어 산소가 발생하고, 이때 방출된 전자가 옥살산 철(Ⅲ)을 옥살산 철(Ⅱ)로 환원시킨

다. 따라서 A는 옥살산 철(Ⅲ), B는 옥살산 철(Ⅱ)이고, ㉑은 O₂이다. 광합성은 빛에너지를 흡수하는 명반응 후에 포도당을 합성하는 탄소고정반응이 일어난다. 빛을 먼저 비춘 후 이산화 탄소를 공급하면 빛이 없어도 잠시 동안 광합성이 일어나므로 ㉔는 CO₂, ㉕는 빛이다.

ㄱ. 엽록체에서 옥살산 철(Ⅲ)(A)과 같이 물이 분해되어 방출된 전자를 수용하는 물질은 NADP⁺이다.

ㄴ. 구간 I에서는 빛(㉕)이 있으므로 물의 광분해가 일어나 O₂(㉑)가 생성된다.

바로알기 | ㄷ. 구간 II에서는 빛(㉕)이 없으므로 광인산화가 일어나지 않는다.

443

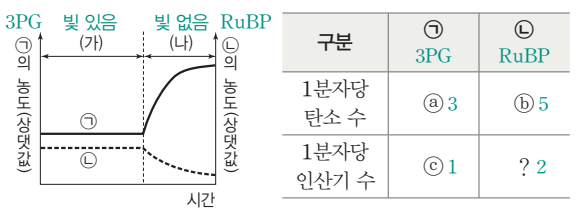
캘빈회로에서 3분자의 CO₂가 3분자의 RuBP와 결합하여 6분자의 3PG가 생성되고, 6분자의 3PG는 6분자의 ATP와 6분자의 NADPH를 이용하여 6분자의 PGAL로 환원되므로 X는 3PG, Y는 PGAL, Z는 RuBP이다. PGAL 6분자 중 1분자는 회로를 빠져나와 포도당을 만드는 데 이용되고, 5분자는 RuBP 3분자로 전환되므로 ㉑은 6, ㉒은 1, ㉓은 5이다.

ㄱ. 6분자의 3PG(X)가 6분자의 PGAL(Y)로 전환되는 과정에서 6분자의 NADPH가 사용되고, 5분자의 PGAL(Y)이 3분자의 RuBP(Z)로 전환되는 과정에서 3분자의 ATP가 사용된다. 따라서 $\frac{\text{과정 I에서 소모되는 NADPH의 분자 수}}{\text{과정 II에서 소모되는 ATP의 분자 수}} = \frac{6}{3} = 2$ 이다.

바로알기 | ㄴ. X는 3PG, Y는 PGAL, Z는 RuBP이다.

ㄷ. ㉑은 6, ㉒은 1, ㉓은 5이다. ㉑+㉓=11이다.

444



1분자당 3PG의 탄소 수는 3, 인산기 수는 1이고, 1분자당 RuBP의 탄소 수는 5, 인산기 수는 2이므로, ㉒이 3PG일 경우 ㉔는 5, ㉕는 3, ㉖는 2이고, ㉔+㉖(7)>㉕(3)이 되어 조건에 모순된다. 따라서 ㉑은 3PG, ㉒은 RuBP이고, ㉔는 3, ㉕는 5, ㉖는 1이다. 빛이 있다가 없어졌을 때 3PG 농도는 증가하고, RuBP 농도는 감소한다.

ㄱ. 빛 조건을 달리했을 때 3PG(㉑)의 농도는 증가하고, RuBP(㉒)의 농도는 감소하므로 (가)는 '빛 있음', (나)는 '빛 없음'이다.

ㄷ. 캘빈회로에서 3PG(㉑)가 RuBP(㉒)로 전환되는 과정에 ATP와 NADPH가 사용된다.

바로알기 | ㄴ. ㉑은 3PG, ㉒은 RuBP이다.

445

세포호흡 과정에서 포도당이 산화되어 CO₂가 발생하고, 광합성 과정의 캘빈회로에서 CO₂를 고정하여 포도당을 합성한다. 따라서 (가)는 미토콘드리아, (나)는 엽록체에서 일어나는 물질대사 과정이고, ㉑은 TCA 회로, ㉒은 캘빈회로이다. ㉓은 H₂O, ㉔는 O₂, ㉕는 CO₂이다. TCA 회로에서 FAD가 FADH₂로 환원되고, 캘빈회로에서 NADPH가 NADP⁺로 산화된다. 따라서 I은 FAD, II는 FADH₂, III은 NADPH, IV는 NADP⁺이다.

ㄱ. TCA 회로에서 생성된 FADH₂는 전자전달계에 전자를 전달하므로, I은 FAD이고, II는 FADH₂이다.

ㄴ. 미토콘드리아(가)에서 ㉔(O₂)는 전자전달계의 최종 전자수용체로 작용한다.

바로알기 | ㄷ. 엽록체(나)에서 ATP는 광인산화를 통해 합성된다.