완자

정답친해

세포와 물질대사

I 세포

1 생물체의 구성 물질

01 / 생물체의 구성 물질

개념 확인 문제 12쪽

❶ 탄수화물 ❷ 지질 ❸ 펩타이드결합 ❹ 염기

1 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) × **2** 인지질 **3** 단백질: 아미노산, 핵산: 뉴클레오타이드

1 (1) 생물체의 구성 성분 중 가장 많은 것은 물이고, 탄소 화합물 중에는 단백질의 비율이 가장 높다.
(2) 탄수화물은 생물의 주요 에너지원으로 사용된다.
(3) 탄소로 구성된 고리 화합물 4개가 연결된 것은 스테로이드이다. 중성지방은 글리세롤 1분자와 지방산 3분자로 구성된다.
(4) 단백질은 항체의 주성분으로 방어작용을 담당한다.
(5) 핵산에는 DNA와 RNA가 있으며, 단당류, 이당류, 다당류로 구분되는 것은 탄수화물이다.

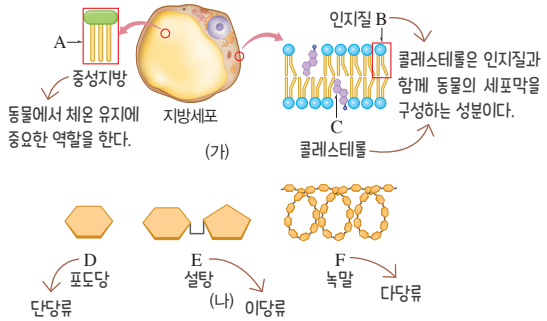
2 1분자의 글리세롤에 2분자의 지방산과 1분자의 인산 등이 결합한 인지질은 생체막을 구성하는 주요 성분이다.

3 단백질의 단위체는 아미노산이며, 수많은 아미노산이 펩타이드결합으로 연결되어 폴리펩타이드를 형성한다. 핵산의 단위체는 뉴클레오타이드로, 한 뉴클레오타이드의 당이 다른 뉴클레오타이드의 인산과 공유결합으로 연결되어 폴리뉴클레오타이드를 형성한다.

대표 자료 분석 1 13쪽

1 A: 중성지방, B: 인지질, C: 콜레스테롤, D: 포도당, E: 설탕, F: 녹말 **2** (1) 유기용매 (2) ㉠ 없고, ㉡ 있다 (3) C (4) 많다 (5) 스테로이드 **3** (1) ㉡ (2) ㉠ (3) ㉢ **4** (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ○ (6) × (7) ×

꼼꼼 문제 분석



1 A는 글리세롤 1분자와 지방산 3분자가 결합되어 있으므로 중성지방이고, B는 세포막에서 이중층을 이루고 있는 인지질이다. C는 탄소로 구성된 고리 화합물 4개가 연결된 스테로이드의 한 종류인 콜레스테롤이다. D는 1개의 당으로 구성되어 있으므로 포도당, E는 2개의 단당류가 결합되어 있으므로 설탕, F는 수많은 단당류가 결합되어 있으므로 녹말이다.

2 (1) 지질에 해당하는 중성지방(A), 인지질(B), 콜레스테롤(C)은 물에 잘 녹지 않고 유기용매에 잘 녹는다.
(2) 중성지방(A)은 글리세롤 1분자와 지방산 3분자로 구성되고, 인지질(B)은 글리세롤에 지방산과 인산 등이 결합되어 있다.
(3), (5) 콜레스테롤(C)은 스테로이드에 속하며, 콜레스테롤(C)에서 에스트로젠과 같은 스테로이드 호르몬이 합성된다.
(4) 중성지방은 같은 양의 탄수화물보다 두 배 이상의 에너지를 저장할 수 있어 주요 저장 에너지원으로 쓰인다.

3 (1) 포도당(D)은 1개의 당으로 구성되어 있으므로 단당류에 해당하며, 단당류에는 포도당, 과당, 갈락토스 등이 있다.
(2) 설탕(E)은 단당류 2개가 결합한 이당류에 해당하며, 이당류에는 젖당, 설탕, 엿당 등이 있다.
(3) 녹말(F)은 여러 개의 단당류가 결합한 다당류에 해당하며, 다당류에는 셀룰로스, 녹말, 글라이코젠 등이 있다.

4 (1) 중성지방(A)은 동물의 체온 유지에 중요한 역할을 한다.
(2), (3) 인지질(B)은 생체막을 구성하는 주요 성분이다. 인지질(B)은 친수성과 소수성을 나타내는 부분이 있어 생체막에서 이중층을 형성한다.
(4) 콜레스테롤(C)은 4개의 고리 화합물이 연결된 스테로이드이다. 지방산과 글리세롤로 이루어진 물질은 중성지방(A)이다.

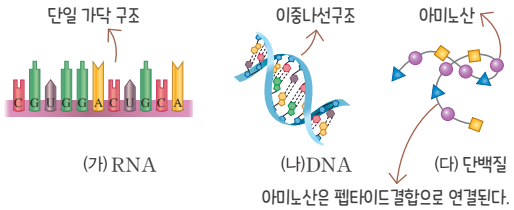
(5) 포도당(D)은 생명체의 가장 대표적인 에너지원이며, 식물의 광합성으로 만들어진다.
(6) 탄수화물은 탄소(C), 수소(H), 산소(O)로 이루어져 있다.
(7) 엿당은 포도당이 2개 결합된 이당류이고, 녹말(F)은 수많은 단당류가 결합된 다당류이다.

대표 자료 분석 2

14쪽

1 (가) RNA (나) DNA (다) 단백질 **2** 아미노산, 펩타이드결합
3 (1) 단일 가닥 (2) ㉠ (가), ㉡ (나) (3) 뉴클레오타이드 (4) 디옥시라이보스 (5) (다) (6) (가) **4** (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ○ (6) × (7) ×

꼼꼼 문제 분석



1 (가)는 한 가닥의 폴리뉴클레오타이드로 구성된 단일 가닥 구조의 핵산인 RNA이고, (나)는 두 가닥의 폴리뉴클레오타이드로 구성된 이중나선구조의 핵산인 DNA이다. (다)는 단위체인 아미노산이 펩타이드결합으로 연결된 단백질이다.

2 단백질(다)의 단위체는 아미노산이며, 아미노산은 펩타이드결합으로 연결되어 폴리펩타이드를 형성한다.

3 (1) RNA(가)는 단일 가닥의 폴리뉴클레오타이드로 되어 있다.
(2) RNA(가)는 유전정보가 발현될 때 DNA(나)에 저장된 유전정보를 라이보솜에 전달하고, 아미노산을 라이보솜에 운반하는 등 단백질합성 과정에 관여한다.
(3) 핵산((가), (나))의 단위체는 뉴클레오타이드이고, 단백질(다)의 단위체는 아미노산이다.
(4) RNA(가)를 구성하는 당은 라이보스, DNA(나)를 구성하는 당은 디옥시라이보스이다.
(5) 단백질(다)이 주성분인 효소와 호르몬은 물질대사와 생리작용을 조절한다.
(6) RNA(가)의 염기에는 A, G, C, U이 있고, DNA(나)의 염기에는 A, G, C, T이 있다.

4 (1) 핵산의 단위체인 뉴클레오타이드는 인산, 당, 염기가 1 : 1 : 1로 구성되어 있다.
(2) RNA(가)의 염기에는 A, G, C, U이 있고, DNA(나)의 염기에는 A, G, C, T이 있다.
(3) 핵산 중 DNA(나)는 유전정보를 저장한다.
(4) 핵산((가), (나))과 단백질(다)은 공통적으로 탄소(C), 수소(H), 산소(O), 질소(N)를 포함한다.
(5), (6) 단백질(다)의 기능은 입체 구조에 의해 결정되며, 항체의 주성분인 단백질(다)은 방어작용에 관여한다.
(7) 생명체를 구성하는 물질에는 물이 가장 많다.

내신 만점 문제

15쪽~16쪽

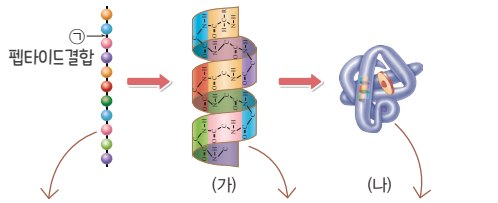
01 ② **02** ③ **03** ④ **04** ③ **05** ②
06 해설 참조 **07** ㄱ **08** ④ **09** ④

01 ① 친수성 머리와 소수성 꼬리로 구성된 인지질은 세포막이나 핵막 등 생체막을 구성하는 주요 성분이다.
③ 포도당은 단당류, 젖당은 이당류, 셀룰로스는 다당류이다.
④ 핵산 중 DNA는 유전정보를 저장하며, RNA는 유전정보를 전달하고 유전자로부터 단백질이 합성되는 데 관여한다.
⑤ 단백질은 생물의 몸을 구성하는 주성분이며, 효소와 호르몬의 주성분으로 물질대사와 생리작용을 조절한다.
바로알기 ② 단백질의 단위체는 아미노산이다. 뉴클레오타이드는 핵산의 단위체이다.

02 ㉠은 단당류, ㉡은 이당류, ㉢은 다당류이다.
ㄱ. 단당류(㉠)에는 포도당, 과당, 갈락토스 등이 있다.
ㄴ. 이당류(㉡)에는 엿당, 설탕, 젖당 등이 있다.
바로알기 ㄷ. 다당류(㉢) 중 셀룰로스는 식물 세포의 형태를 유지하는 세포벽을 구성한다. 동물의 에너지 저장 물질은 글라이코젠, 식물의 에너지 저장 물질은 녹말이다.

03 ㄴ. 콜레스테롤은 인지질과 함께 동물의 세포막을 구성하는 성분이다.
ㄷ. 동물의 지방은 에너지를 저장할 뿐만 아니라 체온을 유지하는 데 중요한 역할을 한다. 추운 곳에 사는 펭귄이나 고래가 체온을 유지할 수 있는 것은 피부 밑에 두꺼운 지방층이 있기 때문이다.
바로알기 ㄱ. 지질은 물에 잘 녹지 않고 유기용매에 잘 녹는 물질이다.

04 꼼꼼 문제 분석



바로알기 ㄴ. (가)는 2차 구조를 나타낸다. 3차 구조를 나타내는 것은 (나)이다.

05 ㄱ. DNA의 단위체는 인산, 당, 염기가 1 : 1 : 1로 구성되어 있는 뉴클레오타이드(가)이다.

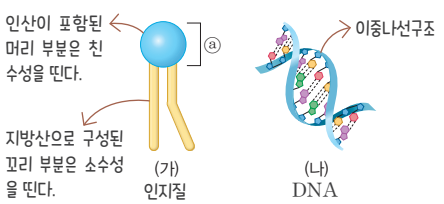
ㄴ. ㉠은 당, ㉡은 염기이다.

바로알기 ㄷ. ㉡은 DNA에 존재하는 염기이므로 아데닌(A), 구아닌(G), 사이토신(C), 타이민(T) 중 하나이다. 유라실(U)은 RNA에만 존재하는 염기이다.

06 모범 답안 DNA를 구성하는 당은 디옥시라이보스이고, RNA를 구성하는 당은 라이보스이다. DNA를 구성하는 염기는 아데닌(A), 구아닌(G), 사이토신(C), 타이민(T)이고, RNA를 구성하는 염기는 아데닌(A), 구아닌(G), 사이토신(C), 유라실(U)이다.

채점 기준	배점
DNA와 RNA를 구성하는 당과 염기의 차이를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
DNA와 RNA를 구성하는 당과 염기의 차이 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

07 꼼꼼 문제 분석

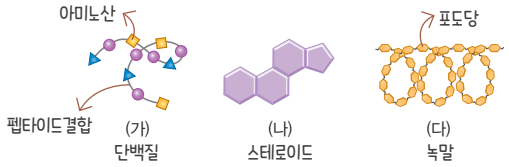


ㄱ. 인지질은 친수성 머리(ⓐ)와 소수성 꼬리로 구성된다.

바로알기 ㄴ. DNA(나)의 단위체는 뉴클레오타이드이다.

ㄷ. 인지질(가)은 생체막의 주요 구성 성분이며, DNA(나)는 유전 정보를 저장하는 유전물질이다.

08 꼼꼼 문제 분석



① 단백질(가)은 탄소(C), 수소(H), 산소(O), 질소(N)로 구성되며, 황(S)을 함유하는 것도 있다.

② 단백질(가)은 세포막을 통해 물질을 수송하는 데 관여한다.

③ 스테로이드(나)는 고리 화합물 4개가 연결된 구조로 되어 있으며, 콜레스테롤은 스테로이드(나)에 속한다.

⑤ 녹말(다)은 식물의 에너지 저장 물질이다.

바로알기 ④ 효소와 호르몬의 주성분은 단백질(가)이다.

09 녹말, 인지질, DNA 중 당이 포함된 물질은 녹말과 DNA이다. 녹말은 수많은 단당류가 결합하여 이루어지고, DNA에는 디옥시라이보스가 포함되어 있다. 따라서 ㉠과 ㉢은 각각 녹말과 DNA 중 하나이고, ㉡은 인지질이다. 녹말, 인지질, DNA 중 인산이 포함된 물질은 인지질과 DNA이다. 따라서 ㉢은 DNA이고, ㉠은 녹말이다.

ㄴ. 세포막은 인지질 이중층으로 이루어져 있으므로 인지질(㉡)은 세포막의 주요 구성 성분이다.

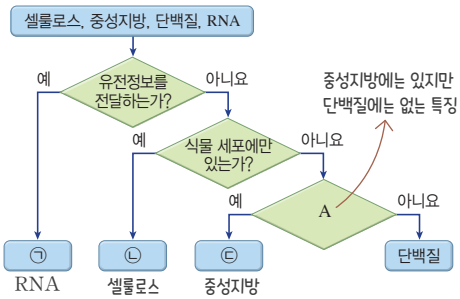
ㄷ. DNA(㉢)는 두 가닥의 폴리뉴클레오타이드가 이중나선구조를 이루고 있다.

바로알기 ㄱ. 녹말(㉠)은 탄수화물의 한 종류이며, 다당류에 해당한다. 지질에 해당하는 것은 인지질(㉡)이다.

실력 UP 문제 16쪽

01 ① 02 ④

01 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 탄수화물의 한 종류인 셀룰로스(㉡)는 식물 세포의 세포벽을 구성하는 성분이다.

바로알기 ㄴ. 중성지방(㉢)은 지질의 한 종류이다. 탄수화물에 속하는 것은 셀룰로스(㉡)이다.

ㄷ. A는 중성지방(㉢)에는 있지만 단백질에는 없는 특징이므로 '방어작용에 관여하는가?'는 A에 해당하지 않는다. 단백질은 항체의 주성분으로 방어작용에 관여한다.

02 꼼꼼 문제 분석

특징
• 지질에 속한다. 스테로이드 • 호르몬의 구성 성분이다. • 구성 원소에 탄소(C)가 있다.

(가)

물질	특징의 개수
DNA	ⓐ 1
스테로이드 ㉠	3
글라이코젠 ㉡	ⓐ 1
단백질 ㉢	ⓑ 2

(나)

단백질, 스테로이드 — DNA, 단백질, 글라이코젠, 스테로이드

ㄴ. 스테로이드(㉠)는 지질에 속한다. 지질은 물에 잘 녹지 않고 유기용매에 잘 녹는 물질이다.

ㄷ. 단백질(㉢)의 기능은 입체 구조에 의해 결정된다.

바로알기 ㄱ. DNA는 특징 중 1가지를 가지므로 ⓐ는 1이다. 글라이코젠은 특징 중 1가지를 가지므로 ㉡에 해당한다. 따라서 ㉢은 단백질이며, 단백질은 특징 중 2가지를 가지므로 ⓑ는 2이다.

중단원 핵심 정리 17쪽

1 단당류 2 이당류 3 다당류 4 친수성 5 소수성
6 콜레스테롤 7 아미노산 8 펩타이드결합 9 항체
10 뉴클레오타이드 11 디옥시라이보스 12 라이보스

중단원 마무리 문제 18쪽~19쪽

01 ⑤ 02 ② 03 ⑤ 04 ① 05 ⑤
06 해설 참조 07 해설 참조 08 해설 참조

01 엿당과 셀룰로스는 탄수화물, RNA는 핵산, 인지질과 콜레스테롤은 지질에 해당한다.

02 ㉠은 탄수화물, ㉡은 단백질, ㉢은 지질이다.

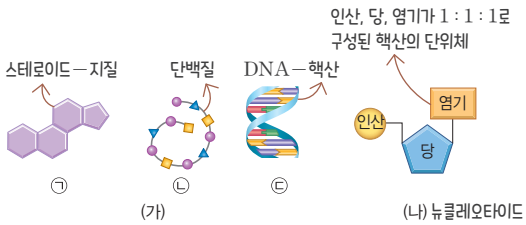
① 녹말은 탄수화물에 해당하므로 ㉠은 탄수화물이다.

③, ④ 단백질(㉡)의 단위체는 아미노산이며, 아미노산은 펩타이드결합으로 연결된다. 따라서 ㉡에는 펩타이드결합이 있다.

⑤ 지질(㉢)은 중성지방, 인지질, 스테로이드 등으로 구분된다.

바로알기 ② 녹말은 수많은 단당류가 결합한 긴 사슬 구조의 물질로 다당류에 해당하며, 식물의 에너지 저장 물질이다.

03 꼼꼼 문제 분석

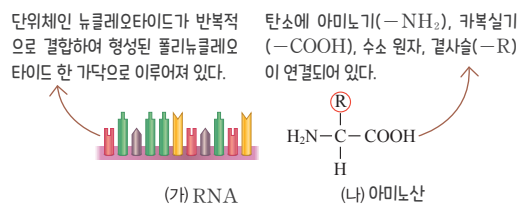


ㄱ. 콜레스테롤은 스테로이드(㉠)에 속한다.

ㄴ. 단백질(㉡)과 핵산(㉢)은 공통적으로 탄소(C), 수소(H), 산소(O), 질소(N)를 포함한다.

ㄷ. 뉴클레오타이드(나)는 핵산인 DNA(㉢)의 단위체이다.

04 꼼꼼 문제 분석



② RNA(가)는 유전정보를 전달하고, 유전자로부터 단백질이 합성되는 데 관여한다.

③ 핵산의 단위체는 인산, 당, 염기가 1 : 1 : 1로 구성되어 있는 뉴클레오타이드이다.

④, ⑤ 수많은 아미노산(나)이 펩타이드결합으로 연결되어 폴리펩타이드가 형성된다.

바로알기 ① RNA(가)를 구성하는 염기에는 A, G, C, U이 있고, DNA를 구성하는 염기에는 A, G, C, T이 있다.

05 A는 과당, B는 단백질, C는 콜레스테롤이다.

①, ② 과당(A)은 1개의 당으로 구성된 단당류이며, 설탕은 과당(A)과 포도당이 결합한 이당류이다.

③ 단백질(B)은 단위체인 아미노산이 펩타이드결합으로 연결되어 형성된다.

④ 단백질(B)은 효소와 호르몬의 주성분이며, 콜레스테롤(C)에서 에스트로젠과 같은 스테로이드 호르몬이 합성된다.

바로알기 ⑤ 콜레스테롤(C)은 탄소로 구성된 고리 화합물 4개가 연결된 구조이다. 글리세롤 1분자에 지방산 3분자가 결합된 것은 중성지방이다.

06 (가)는 핵산, 단백질, 콜레스테롤이 모두 가지고 있는 특징을, (나)는 핵산은 가지고 있지 않고 단백질과 콜레스테롤만 가지고 있는 특징을 나타낸다.

모범 답안 (가) 구성 원소로 탄소(C)를 포함하고 있다(탄소 화합물이다.). 등
(나) 호르몬의 구성 성분이다. 등

채점 기준	배점
(가)와 (나)에 해당하는 것을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
(가)와 (나)에 해당하는 것 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

07 수많은 아미노산이 펩타이드결합으로 연결되어 폴리펩타이드가 되며, 폴리펩타이드는 고유한 입체 구조를 이루어 단백질이 된다. 단백질의 입체 구조는 기본적으로 아미노산서열에 의해 결정된다.

모범 답안 같은 수와 같은 종류의 아미노산으로 구성된 단백질이라도 아미노산의 배열 순서에 따라 입체 구조가 다를 수 있다.

채점 기준	배점
아미노산의 배열 순서에 따라 달라진다고 옳게 서술한 경우	100 %
아미노산서열에 따라 달라진다고 서술한 경우도 정답 인정	100 %

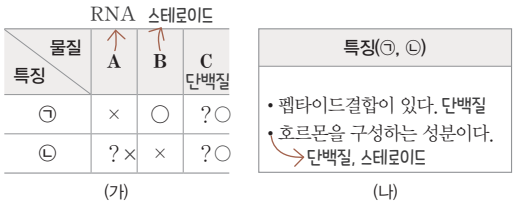
08 모범 답안 (1) DNA, DNA는 두 가닥의 폴리뉴클레오타이드로 구성된 이중나선구조이고, RNA는 한 가닥의 폴리뉴클레오타이드로 구성된 단일 가닥 구조인데, (가)는 폴리뉴클레오타이드 두 가닥이 결합되어 있기 때문이다.
(2) 타이민(T), DNA 이중나선에서 폴리뉴클레오타이드 두 가닥이 결합할 때 아데닌(A)은 항상 다른 가닥의 타이민(T)과 결합하여 상보적 염기쌍을 형성하기 때문이다.

채점 기준		배점
(1)	DNA라고 쓰고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	50 %
	DNA라고만 쓴 경우	20 %
(2)	타이민(T)이라고 쓰고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	50 %
	타이민(T)이라고만 쓴 경우	20 %

중단원 고난도 문제 19쪽

01 ① **02** ⑤

01 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석
㉠ A는 핵산에 속한다.
ㄴ. B는 물에 잘 녹는다.
ㄷ. ㉠은 '펩타이드결합이 있다.'이다. ㉡

전략적 풀이 ❶ 두 가지 특징 중 RNA, 단백질, 스테로이드가 가진 특징을 파악한다.
RNA는 특징을 모두 갖지 않고, 스테로이드는 특징을 1개, 단백질은 특징을 2개 갖는다. 따라서 B는 스테로이드이고, ×가 있는 A는 RNA이며, 나머지 C는 단백질이다.
ㄱ. RNA(A)는 핵산이다.
ㄴ. 스테로이드(B)는 물에 잘 녹지 않고 유기용매에 잘 녹는다.
❷ 두 가지 특징이 ㉠과 ㉡ 중 각각 무엇에 해당하는지 파악한다.
ㄷ. ㉠은 '호르몬을 구성하는 성분이다.'이고, ㉡은 '펩타이드결합이 있다.'이다.

02 꼼꼼 문제 분석

물질	특징
A 인지질	㉠
B 단백질	㉠, ㉡
핵산	㉡

선택지 분석
㉠ A는 인지질이다.
ㄴ. '세포막의 구성 성분이다.'는 ㉠에 해당한다.
ㄷ. '단위체가 반복적으로 결합하여 형성된다.'는 ㉡에 해당한다.

전략적 풀이 ❶ 그림의 물질이 인지질인 것을 파악한다.
ㄱ. 그림은 인지질의 구조이므로 A는 인지질, B는 단백질이다.
❷ 인지질과 단백질의 공통점과 단백질과 핵산의 공통점을 이해한다.
ㄴ. 세포막을 구성하는 주성분은 인지질(A)과 단백질(B)이다.
ㄷ. 단백질(B)은 아미노산, 핵산은 뉴클레오타이드가 각각 반복적으로 결합하여 형성된다.

2 세포의 구조와 기능

01 세포의 연구 방법

완자쌤 비법 특강 25쪽

Q1 ㄱ, ㄴ, ㄷ **Q2** 해설 참조

Q1 ㄱ. (나)에서 대물마이크로미터 대신 세포를 관찰하고 있으므로, 이때 보이는 눈금은 접안마이크로미터이다. 따라서 (가)에서 A는 접안마이크로미터이고, B는 대물마이크로미터이다.

ㄴ. (가)에서 접안마이크로미터(A)의 눈금 40칸과 대물마이크로미터(B)의 눈금 20칸이 겹치므로, 접안마이크로미터 눈금 한 칸의 길이는 $\frac{\text{대물마이크로미터 눈금의 칸 수}}{\text{접안마이크로미터 눈금의 칸 수}} \times 10\ \mu m = \frac{20}{40} \times 10\ \mu m = 5\ \mu m$이다.

ㄷ. (나)에서 세포는 접안마이크로미터(A)의 눈금 20칸과 겹치므로, 세포의 크기(l)는 $5\ \mu m \times 20칸 = 100\ \mu m$이다.

Q2 대물렌즈의 배율을 바꿔 현미경의 배율을 n배 높이는 경우 대물렌즈만 변경했으므로 현미경으로 보이는 접안마이크로미터의 길이는 변하지 않지만, 현미경으로 보이는 대물마이크로미터의 상은 n배 증가한다. 따라서 대물마이크로미터와 접안마이크로미터 눈금의 대응 관계는 달라지지만, 대물마이크로미터 눈금 한 칸의 실제 길이는 배율과 관계없이 항상 10 μm로 일정하다. 즉, 200배의 배율에서는 대물마이크로미터의 눈금 20칸과 접안마이크로미터의 눈금 40칸이 겹쳤지만, 400배의 배율에서는 대물마이크로미터의 눈금 10칸과 접안마이크로미터의 눈금 40칸이 겹친다. 따라서 현미경의 배율이 400배일 때 접안마이크로미터 눈금 한 칸의 길이는 $\frac{\text{대물마이크로미터 눈금의 칸 수}}{\text{접안마이크로미터 눈금의 칸 수}} \times 10\ \mu m = \frac{10}{40} \times 10\ \mu m = 2.5\ \mu m$이다. 한편 측정된 세포의 크기는 관찰 대상의 실제 크기이므로, 현미경의 배율이 변해도 그 값은 변하지 않는다.

모범 답안 접안마이크로미터 눈금 한 칸의 길이는 2.5 μm로 줄어들지만, 측정된 세포의 크기는 변화 없다.

채점 기준	배점
접안마이크로미터 눈금 한 칸의 길이 변화와 측정된 세포의 크기 변화를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
접안마이크로미터 눈금 한 칸의 길이 변화와 측정된 세포의 크기 변화 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

개념 확인 문제 26쪽

❶ 가시광선 ❷ 전자선 ❸ 투과 ❹ 주사 ❺ 자기방사법 ❻ 세포분획법

1 (1) ㉢ (2) ㉠ (3) ㉡ **2** (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ **3** 자기방사법 **4** (1) ○ (2) × (3) ○ **5** (1) ㉠ 속도, ㉡ 크기 (2) ㉠ 크고 무거운, ㉡ 작고 가벼운 **6** ㉠ 엽록체, ㉡ 라이보솜

1 (1) 광학 현미경은 대물렌즈와 접안렌즈를 이용하여 가시광선을 굴절시켜 시료의 확대된 상을 얻는다.

(2) 투과 전자 현미경(TEM)은 얇게 자른 시료의 단면에 전자선을 투과시켜 시료 단면의 영상을 얻는다.

(3) 주사 전자 현미경(SEM)은 금속으로 코팅한 시료 표면에 전자선을 주사하여 시료 표면의 입체 영상을 얻는다.

2 (1) 전자 현미경은 가시광선보다 파장이 짧은 전자선을 이용하므로 광학 현미경보다 해상력이 높고, 높은 배율에서도 선명한 상을 얻을 수 있다. 따라서 광학 현미경으로 관찰하기 어려운 세포의 미세 구조를 연구하는 데에는 전자 현미경이 유용하다.

(2) 위상차 현미경과 형광 현미경은 모두 광학 현미경에 속하므로, 광원으로 가시광선을 이용한다.

(3) 투과 전자 현미경(TEM)은 얇게 자른 시료에 전자선을 투과시켜 시료 단면의 확대된 영상을 관찰하므로 세포 내부의 미세 구조를 연구하는 데 적합하다.

(4) 주사 전자 현미경(SEM)은 금속으로 코팅한 시료 표면에 전자선을 주사하여 시료 표면에서 반사된 전자를 검출함으로써 시료 표면의 입체 영상을 관찰하므로 세포의 표면을 입체적으로 관찰할 수 있다.

3 자기방사법은 방사성 동위원소에서 방출되는 방사선을 추적해 세포 안에서 물질의 위치나 이동 경로, 변화되는 과정을 확인하는 연구 방법이다. 방사성 동위원소 ^{35}S이나 ^{14}C로 표지된 아미노산을 세포에 공급하고 이를 추적하면 세포에서 단백질이 합성되어 이동하는 경로를 알 수 있다.

4 (1), (2) 자기방사법은 방사성 동위원소로 표지된 화합물을 세포에 공급한 후 시간이 지남에 따라 방사성 동위원소에서 방출되는 방사선을 추적하는 방법이다. 세포소기관을 크기와 밀도에 따라 종류별로 분리하여 세포소기관의 기능을 연구하는 데 이용하는 연구 방법은 세포분획법이다.

(3) 자기방사법을 이용하여 ^{14}C로 표지된 이산화 탄소를 식물 세포에 공급하고 이를 추적하면 세포에서 광합성으로 포도당이 합성되는 과정을 알 수 있다.

5 (1) 세포분획법은 세포나 조직을 균질기로 부수어 얻은 세포 파쇄액을 원심분리기에 넣고 속도와 시간을 다르게 하여 회전시킴으로써 세포소기관을 크기와 밀도에 따라 단계적으로 침전시켜 분리하는 연구 방법이다.
(2) 원심분리기의 회전 속도가 느리고 회전 시간이 짧으면 비교적 크고 무거운 세포소기관(핵)이 침전되어 분리되고, 회전 속도가 빨라지고 회전 시간이 길어지면 점차 작고 가벼운 세포소기관(엽록체, 마이토콘드리아, 라이보솜 등)이 침전되어 분리된다.

6 세포벽을 제거한 식물 세포를 세포분획하면 핵, 엽록체, 마이토콘드리아, 세포막과 소포체 등 내부 막 조각, 라이보솜 순으로 분리된다. 식물 세포에만 있는 구조(엽록체)를 제외하면 동물 세포의 세포분획 순서와 같다.

대표 자료 분석 1 27쪽

1 A: 투과 전자 현미경, B: 광학 현미경, C: 주사 전자 현미경
2 (가) 전자선 (나) 가시광선 **3** (1) 높다 (2) 길다 (3) B (4) 외부 형태
4 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ×

1 A는 해상력이 가장 높고 백혈구의 내부 단면을 상세하게 관찰하였으므로 투과 전자 현미경, B는 해상력이 가장 낮으므로 광학 현미경, C는 백혈구의 외부 형태를 입체적으로 상세하게 관찰하였으므로 주사 전자 현미경이다.

2 전자 현미경인 투과 전자 현미경(A)과 주사 전자 현미경(C)의 광원인 (가)는 전자선이고, 광학 현미경(B)의 광원인 (나)는 가시광선이다.

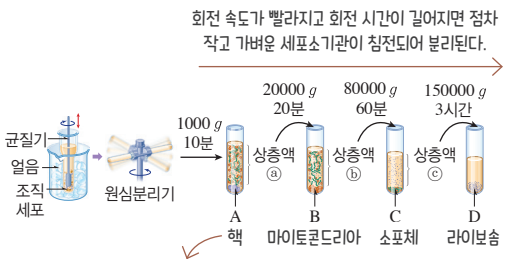
3 (1) 해상력은 매우 가까이에 있는 두 점을 구별할 수 있는 능력으로, 2개의 점이 확실하게 2개의 점으로 분리되어 보이는 최소한의 거리로 나타낸다. 따라서 해상력이 높을수록 높은 배율에서도 상이 선명하게 보인다. 전자 현미경(A, C)은 광학 현미경(B)보다 해상력이 높아 광학 현미경으로 관찰하기 어려운 세포의 미세 구조를 연구하는 데 유용하다.
(2) 광학 현미경(B)의 광원인 가시광선(나)은 전자 현미경(A, C)의 광원인 전자선(가)보다 파장이 길다. 전자 현미경은 파장이 짧은 전자선을 이용하므로 광학 현미경보다 해상력이 높다.
(3) 살아 있는 세포를 관찰하기에 적합한 현미경은 광학 현미경(B)이다. 전자 현미경은 시료 준비 과정에서 세포가 죽기 때문에 살아 있는 세포를 관찰할 수 없다.
(4) 투과 전자 현미경(A)은 세포 내부의 미세 구조를 관찰하는 데 적합하며, 주사 전자 현미경(C)은 세포의 표면이나 외부 형태를 연구하는 데 적합하다.

4 (1) 투과 전자 현미경(A)은 얇게 자른 시료의 단면에 전자선을 투과시켜 스크린에 시료 단면의 영상을 형성한다.
(2) 투과 전자 현미경(A)을 이용하여 살아 있는 백혈구를 관찰할 수 없다. 살아 있는 백혈구의 움직임을 관찰할 수 있는 것은 광학 현미경(B)이다.
(3) 광학 현미경(B)은 빛을 모아 물체를 확대해서 보여주는 대물렌즈와 접안렌즈를 통해 가시광선을 굴절시켜 확대된 상을 얻는다.
(4) 전자 현미경(A, C)으로 관찰한 상은 흑백이므로 색깔 구분이 어렵다. 자료에 나타난 색은 특정 구조를 강조하거나 구별하기 위해 색을 처리한 것이다. 백혈구의 색깔을 관찰할 수 있는 것은 광학 현미경(B)이다.
(5) 백혈구를 구성하는 세포소기관의 내부 단면 구조를 관찰하기에는 투과 전자 현미경(A)이 적합하며, 세포 표면을 입체적으로 관찰하기에는 주사 전자 현미경(C)이 적합하다.

대표 자료 분석 2 28쪽

1 A: 핵, B: 마이토콘드리아, C: 소포체, D: 라이보솜 **2** (1) A (2) D **3** (1) ㉠ 큰, ㉡ 작은 (2) ㉠ 빠르고, ㉡ 길다 (3) 핵 (4) 먼저
4 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○ (6) × (7) ×

꼼꼼 문제 분석



- 동물 세포의 세포분획 순서: 핵 → 마이토콘드리아 → 세포막과 소포체 등 내부 막 조각 → 라이보솜
- 세포벽이 제거된 식물 세포의 세포분획 순서: 핵 → 엽록체 → 마이토콘드리아 → 세포막과 소포체 등 내부 막 조각 → 라이보솜

1 동물 세포를 균질기로 파쇄하여 얻은 세포 파쇄액을 원심분리기에 넣고 속도와 시간을 다르게 하여 회전시키면 비교적 크고 무거운 핵이 가장 먼저 침전되어 분리되고, 회전 속도가 빨라지고 회전 시간이 길어지면 점차 작고 가벼운 세포소기관이 침전되어 분리된다. 따라서 A는 핵, B는 마이토콘드리아, C는 소포체, D는 라이보솜이다.

2 (1) 세포분획 시 원심분리기의 회전 속도가 느리고 회전 시간이 짧으면 크고 무거운 세포소기관이 침전되어 분리된다. 따라서 핵, 소포체, 라이보솜, 마이토콘드리아 중 가장 크고 무거운 세포소기관은 핵(A)이다.
(2) 상층액 ⓒ에는 소포체(C)보다 가벼운 세포소기관이 들어 있으므로 ⓒ에는 라이보솜(D)이 포함되어 있다.

3 (1), (2) 원심분리기의 속도를 단계적으로 높여가며 회전시키면 크기와 밀도가 큰 세포소기관부터 작은 세포소기관까지 순차적으로 분리되므로, 라이보솜(D)을 분리할 때는 핵(A)을 분리할 때보다 원심분리기의 회전 속도가 빠르고 회전 시간이 길다.
(3), (4) 세포벽을 제거한 식물 세포를 세포분획하면 핵 → 엽록체 → 마이토콘드리아 → 세포막과 소포체 등 내부 막 조각 → 라이보솜 순으로 분리된다.

4 (1) 핵(A)은 유전물질인 DNA를 갖는다.
(2) 마이토콘드리아(B)에서 포도당을 분해하여 ATP를 생성하는 세포호흡이 일어난다.
(3) 소포체(C)가 라이보솜(D)보다 먼저 침전되었으므로 소포체(C)가 라이보솜(D)보다 크고 무겁다.
(4) ⓐ에는 세포파쇄액을 1000 g에서 10분 동안 원심분리했을 때 가라앉지 않은 세포소기관이 들어 있으므로, 마이토콘드리아(B), 소포체(C), 라이보솜(D)이 있다.
(5) 핵(A), 마이토콘드리아(B), 소포체(C)보다 작고 가벼운 라이보솜(D)은 ⓐ~ⓒ에 모두 있다.
(6) 방사성 동위원소로 표지된 단백질의 이동 경로를 확인할 수 있는 세포 연구 방법은 자기방사법이다.
(7) 세포를 파쇄할 때 얼음을 넣는 것은 균질기의 마찰열에 의한 단백질의 변성을 막고, 세포 파괴 시 세포에서 방출되는 가수분해효소의 작용을 억제하여 세포가 손상되는 것을 방지하기 위해서이다.

내신 만점 문제

29쪽~30쪽

01 ㄴ, ㄹ **02** ㄴ, ㄷ **03** 해설 참조 **04** ③ **05** ①
06 ③ **07** 해설 참조 **08** ⑤

01 ㄱ. 광학 현미경을 이용하면 살아 있는 세포의 구조와 크기 및 핵, 엽록체 등 일부 세포소기관을 관찰할 수 있다.
ㄴ. 자기방사법은 방사성 동위원소로 표지된 화합물을 세포나 조직에 공급한 후, 방사성 동위원소에서 방출되는 방사선을 추적하여 세포 속 물질의 위치나 이동 경로를 분석하는 방법이다.
바로알기 ㄷ. 세포분획법은 원심분리기를 이용하여 세포소기관을 크기와 밀도에 따라 분리하는 방법이다.

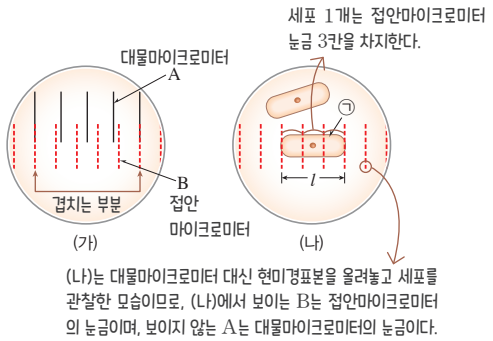
02 ㄴ. (나)는 원심분리기를 이용하여 세포소기관을 종류별로 분리하는 세포분획법이다. 따라서 세포분획법(나)을 이용하여 식물 세포의 엽록체를 분리할 수 있다.
ㄷ. (다)는 방사성 동위원소로 표지된 아미노산에서 방출되는 방사선을 추적하여 세포에서 단백질이 이동하는 경로를 확인하는 자기방사법이다.
바로알기 ㄱ. (가)는 금속으로 코팅한 시료 표면에 전자선을 주사하여 시료 표면에서 반사된 전자를 검출함으로써 시료 표면의 입체 영상을 관찰하는 주사 전자 현미경을 이용한 방법이다. 전자 현미경을 통해 얻은 상은 흑백이므로 시료의 색을 관찰할 수 없다.

03 전자 현미경은 가시광선보다 파장이 짧은 전자선을 이용하므로 광학 현미경보다 해상력이 뛰어나며, 그 결과 높은 배율에서도 선명한 상을 얻을 수 있다. 또한 광학 현미경의 배율은 최대 천 배에 불과한 반면, 전자 현미경은 배율이 최대 수십만 배에 이르므로 광학 현미경으로 관찰하기 어려운 세포의 미세 구조를 관찰하는 데 적합하다.
모범 답안 전자 현미경(A)은 가시광선보다 파장이 짧은 전자선을 광원으로 이용하여 해상력이 높으므로, 라이보솜과 같은 미세 구조를 관찰할 수 있기 때문이다.

채점 기준	배점
광원의 파장과 해상력의 관계를 포함하여 옳게 서술한 경우	100 %
전자 현미경의 해상력이 광학 현미경의 해상력보다 높기 때문이라고만 서술한 경우	70 %

04 ㄱ. 광원이 가시광선인 B는 광학 현미경이고, 자료에서 C를 이용하여 세포소기관의 단면을 관찰하였으므로 C는 투과 전자 현미경이다. 따라서 A는 주사 전자 현미경이다.
ㄴ. 투과 전자 현미경(C)은 세포소기관의 내부 막 구조와 같이 미세한 단면 구조를 연구하는 데 적합하다.
바로알기 ㄷ. 투과 전자 현미경(C)은 가시광선보다 파장이 짧은 전자선을 이용하므로 광학 현미경(B)보다 해상력이 높다. 따라서 가까이 있는 두 개의 점을 구별할 수 있는 최소한의 거리는 투과 전자 현미경(C)이 광학 현미경(B)보다 짧다.

05 꼼꼼 문제 분석



(나)는 대물마이크로미터 대신 현미경표본을 올려놓고 세포를 관찰한 모습이므로, (나)에서 보이는 B는 접안마이크로미터의 눈금이며, 보이지 않는 A는 대물마이크로미터의 눈금이다.

❶ 접안마이크로미터 눈금 한 칸의 길이:

$\frac{\text{대물마이크로미터 눈금의 칸 수}}{\text{접안마이크로미터 눈금의 칸 수}} \times 10\ \mu m = \frac{4}{5} \times 10\ \mu m = 8\ \mu m$

이다.

❷ 세포의 크기(l): 세포 1개가 접안마이크로미터 눈금 3칸과 겹쳐 있으므로, 세포의 크기는 $8\ \mu m \times 3$칸$= 24\ \mu m$이다.

ㄴ. (가)에서 측정한 접안마이크로미터 눈금 한 칸의 길이는 8 μm이고, (나)에서 세포 1개는 접안마이크로미터 눈금 3칸을 차지하므로 세포의 크기(l)는 $8\ \mu m \times 3 = 24\ \mu m$이다.

바로알기 ㄱ. (가)에서 접안마이크로미터 눈금 한 칸의 길이는 $\frac{4}{5} \times 10\ \mu m = 8\ \mu m$이다.

ㄷ. 대물렌즈의 배율만 변화시켜 현미경의 배율을 200배로 하면 상이 더 확대되어 보이므로 접안마이크로미터 눈금 한 칸의 길이는 짧아진다. 즉, 접안마이크로미터 눈금 한 칸의 길이는 현미경의 배율 변화에 반비례하며, 현미경의 배율이 n배로 변하면 접안마이크로미터 눈금 한 칸의 길이는 $\frac{1}{n}$배로 변한다. 따라서 현미경의 배율을 100배에서 200배로 높이면 접안마이크로미터 눈금 한 칸의 길이는 8 μm에서 4 μm로 짧아지고, ㉠과 겹치는 접안마이크로미터 눈금의 칸 수는 3개에서 6개로 증가한다.

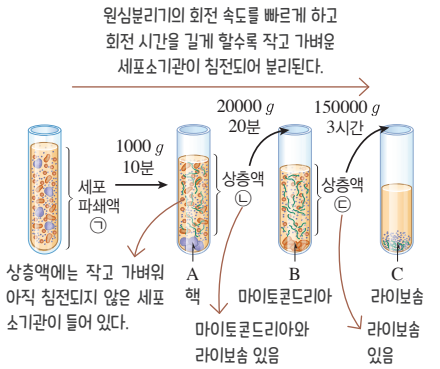
06

ㄱ. 방사성 동위원소로 표지된 아미노산을 세포에 공급한 후 각 세포소기관에서 검출되는 단백질의 방사선 양을 추적하므로 자기방사법이 이용되었다.

ㄴ. 시간이 지남에 따라 A, B, C에서 검출되는 단백질의 방사선 양이 변하는 것은 세포 내에서 방사성 아미노산이 이동하기 때문으로, 이를 통해 합성된 단백질이 A → B → C 순으로 이동한다는 것을 알 수 있다.

바로알기 ㄷ. 자기방사법을 이용하여 단백질의 입체 구조를 확인할 수는 없다. 자기방사법은 단백질의 합성과 분비 경로, 광합성과 세포호흡의 물질대사 경로 등을 확인하거나 세포분열 및 유전 연구 등에 이용된다.

[07~08] 꼼꼼 문제 분석



07

모범 답안 A는 핵, B는 마이토콘드리아, C는 라이보솜이다. 원심분리기의 회전 속도가 느리고 회전 시간이 짧으면 비교적 크고 무거운 핵이 먼저 침전되어 분리되고, 회전 속도가 빨라지고 회전 시간이 길어질수록 점차 작은 세포소기관이 침전되어 분리되기 때문이다.

채점 기준	배점
A~C를 각각 쓰고, 세포분획법의 원리 및 세포분획 순서를 언급하여 옳게 서술한 경우	100 %
A~C를 각각 쓰고, 핵이 가장 크고 무거우며 라이보솜이 가장 작기 때문이라고만 서술한 경우	70 %
A~C만 각각 옳게 쓴 경우	30 %

08

ㄱ. 세포 파쇄액 ㉠을 20000 g에서 20분 동안 원심분리하면 1000 g에서 10분 동안 원심분리했을 때 침전되는 핵(A)과 20000 g에서 20분 동안 원심분리했을 때 침전되는 마이토콘드리아(B)가 모두 침전되어 침전물에 포함된다.

ㄴ. 비교적 크고 무거운 핵이 먼저 침전되므로 ㉡에는 크기와 밀도가 핵보다 작아 침전되지 않은 마이토콘드리아와 라이보솜 등의 세포소기관이 들어 있다. 이후 회전 속도를 높이고 시간을 길게 하면 마이토콘드리아, 라이보솜 순으로 차례대로 침전되므로 ㉢에는 크기와 밀도가 마이토콘드리아보다 작은 라이보솜이 들어 있다.

ㄷ. 원심분리기를 이용하여 크기와 밀도에 따라 세포소기관을 분리하고 있으므로, 이 과정은 세포분획법이다.

실력 UP 문제 30쪽

01 ⑤ 02 ②

01 꼼꼼 문제 분석

(가) 현미경의 배율을 200배로 하고 두 마이크로미터의 눈금이 겹쳐지도록 하였더니, 접안마이크로미터 눈금 4칸과 대물마이크로미터 눈금 1칸이 일치하였다.
→ 접안마이크로미터 눈금 한 칸의 길이는 $\frac{1}{4}\times 10\ \mu m = 2.5\ \mu m$이다.

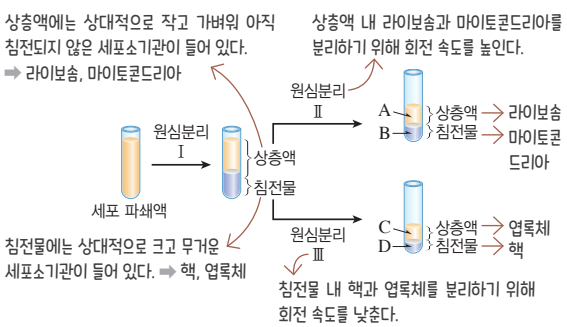
(나) 대물마이크로미터 대신 세포 A의 표본을 올려놓고 관찰하였더니 접안마이크로미터 눈금 5칸을 차지하였다.
→ A의 크기는 $2.5\ \mu m \times 5 = 12.5\ \mu m$이다.

ㄱ. A는 접안마이크로미터 눈금 5칸을 차지하므로, A의 크기는 $2.5\ \mu m \times 5 = 12.5\ \mu m$이다.

ㄴ. 대물렌즈의 배율만 $\frac{1}{2}$배로 변화시켜 현미경의 배율을 100배로 하면 접안마이크로미터 눈금 한 칸의 길이는 2배로 변한다. 따라서 접안마이크로미터 눈금 한 칸의 길이는 $2.5\ \mu m \times 2 = 5\ \mu m$이다.

ㄷ. 대물렌즈의 배율만 2배로 변화시켜 현미경의 배율을 400배로 하면 접안마이크로미터 눈금 한 칸의 길이는 $\frac{1}{2}$배로 변하므로, 세포와 겹치는 접안마이크로미터 눈금의 칸 수는 2배로 변한다. 따라서 A와 겹치는 접안마이크로미터 눈금의 칸 수는 $5 \times 2 = 10$이다.

02 꼼꼼 문제 분석



ㄷ. 원심분리 Ⅰ의 결과 얻은 상층액을 한번 더 원심분리(Ⅱ)하여 라이보솜(A)과 마이토콘드리아(B)를 분리하므로 원심분리기의 회전 속도는 Ⅱ가 Ⅰ보다 빠르다. 또한 Ⅰ의 결과 얻은 침전물을 한번 더 원심분리(Ⅲ)하여 엽록체(C)와 핵(D)을 분리하므로 원심분리기의 회전 속도는 Ⅰ이 Ⅲ보다 빠르다. 따라서 원심분리기의 회전 속도는 Ⅱ에서 가장 빠르고 Ⅲ에서 가장 느리다.

바로알기 ㄱ. 마이토콘드리아(B)에서는 세포호흡이 일어나며, 광합성이 일어나는 세포소기관은 엽록체(C)이다.

ㄴ. 엽록체(C)는 동물 세포에서는 발견되지 않고 식물 세포에서만 관찰된다.

02 세포소기관의 구조와 기능

개념 확인 문제 36쪽

❶ 핵 ❷ 라이보솜 ❸ 엽록체 ❹ 마이토콘드리아 ❺ 라이소솜 ❻ 액포 ❼ 세포골격 ❽ 중심체 ❾ 원핵세포 ❿ 진핵세포

1 B: 세포벽, E: 엽록체 **2** (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ○ (6) × **3** ㉠ 핵, ㉡ 거친면소포체, ㉢ 골지체 **4** (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ○ (6) ×

1 A는 세포질, B는 세포벽, C는 세포막, D는 핵, E는 엽록체, F는 마이토콘드리아이다. 세포벽(B)과 엽록체(E)는 동물 세포에는 없고 식물 세포에만 있다.

2 (1) 핵에는 유전물질인 DNA가 들어 있다. 따라서 핵은 세포의 구조와 기능을 결정하고, 세포의 생명활동을 조절한다.
(2) 거친면소포체는 단백질을 가공 및 운반하는 역할을 한다. 인지질과 스테로이드를 합성하는 세포소기관은 매끈면소포체이다.
(3) 골지체는 소포체로부터 운반된 단백질과 지질을 가공한 후 세포의 다른 곳으로 수송하거나 세포 밖으로 분비하므로 분비 작용이 활발한 세포에 발달해 있다.
(4) 마이토콘드리아와 엽록체는 자체 DNA와 라이보솜을 가지고 있어 스스로 복제하고 증식할 수 있다.
(5) 라이소솜에는 다양한 가수분해효소가 들어 있다. 따라서 라이소솜은 세포 밖에서 들어온 이물질이나 세포 내 손상된 세포소기관을 분해하는 세포내소화를 담당한다.
(6) 세포골격을 구성하는 단백질 섬유 중 미세소관의 굵기가 가장 굵고, 미세섬유의 굵기가 가장 가늘다.

3 단백질은 핵(㉠)에 들어 있는 DNA의 유전정보에 따라 라이보솜에서 합성된다. 합성된 단백질은 거친면소포체(㉡)에서 가공된 후 운반 소낭에 담겨 골지체(㉢)로 운반된다. 이후 골지체(㉢)에서 단백질을 가공한 후 운반 소낭을 통해 세포막 쪽으로 운반하며, 운반 소낭의 막과 세포막이 결합하면서 소낭 속 단백질이 세포 밖으로 분비된다.

4 (1) 원핵세포는 하나의 원형 DNA를 가지며, 일부 원핵세포는 플라스미드를 가진다.
(2) 진핵세포는 핵막이 있어 유전물질이 핵 속에 들어 있으며, 핵막이 없는 원핵세포의 유전물질이 세포질에 퍼져 있다.
(3) 원핵세포와 진핵세포에는 공통적으로 유전물질(DNA), 라이보솜, 세포막이 있다.

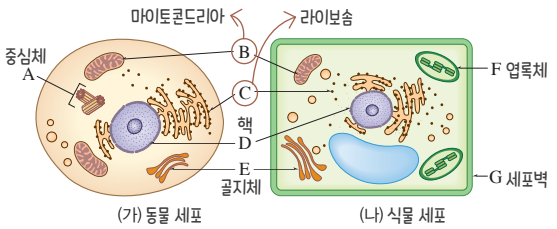
(4) 원핵세포의 라이보솜은 진핵세포의 라이보솜보다 크기가 작고, 구성하는 단백질과 RNA의 종류도 다르다.
(5) 진핵세포에는 소포체, 골지체, 마이토콘드리아 등 막으로 둘러싸인 세포소기관이 있고, 원핵세포에는 막으로 둘러싸인 세포소기관이 없다.
(6) 원핵세포의 세포벽을 이루는 주성분은 펩티도글리칸이고, 식물 세포의 세포벽을 이루는 주성분은 셀룰로스이다.

대표 자료 분석 1

37쪽

1 (1) ㉣ (2) ㉡ (3) ㉤ (4) ㉠ (5) ㉢ (6) ㉥ (7) ㉦ **2** (1) B, D, E, F (2) B, F (3) B, D, F (4) G (5) E **3** (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ○ (6) × (7) × (8) ×

꼼꼼 문제 분석



특징		세포 내 구조
동물 세포(가)와 식물 세포(나)에 공통으로 존재		마이토콘드리아(B), 라이보솜(C), 핵(D), 골지체(E), 소포체, 세포막, 세포골격
주로 동물 세포(가)에서 발견		중심체(A), 라이소솜
식물 세포(나)에만 존재		엽록체(F), 세포벽(G)
막 구조	이중막	마이토콘드리아(B), 핵(D), 엽록체(F)
	단일막	골지체(E), 소포체, 라이소솜, 액포
	막 구조 없음	중심체(A), 라이보솜(C), 세포골격

1 A는 2개의 중심립이 직각으로 배열되어 있는 중심체, B는 크리스타 구조를 갖는 마이토콘드리아, C는 작은 알갱이 모양으로 거친면소포체에 붙어 있거나 세포질에 흩어져 있는 라이보솜, D는 세포에서 가장 크고 뚜렷하게 보이는 핵, E는 시스터나가 쌓여 있는 모양인 골지체, F는 타이라코이드가 쌓인 그라나 구조를 갖는 엽록체, G는 세포막 바깥을 둘러싼 세포벽이다.

2 (1) 막으로 둘러싸여 있는 구조는 마이토콘드리아(B), 핵(D), 골지체(E), 엽록체(F)이고, 막으로 둘러싸여 있지 않은 구조는 중심체(A)와 라이보솜(C)이다.
(2) 에너지전환에 관여하는 구조는 마이토콘드리아(B)와 엽록체(F)이다. 마이토콘드리아(B)는 유기물 속 화학 에너지를 ATP의 화학 에너지로 전환하며, 엽록체(F)는 빛에너지를 화학 에너지로 전환하여 유기물에 저장한다.
(3) 내막과 외막의 이중막 구조이며 핵산(DNA 또는 RNA)을 갖는 구조는 마이토콘드리아(B), 핵(D), 엽록체(F)이다.
(4) 세포를 보호하고 세포의 형태 유지에 관여하는 구조는 세포벽(G)이다. 세포벽은 세포막 바깥쪽에 형성되는 두껍고 단단한 구조물이다.
(5) 단일막 구조이며 단백질의 수송과 분비에 관여하는 구조는 골지체(E)이다. 골지체는 단백질이나 지질을 가공 및 분비하는 역할을 한다.

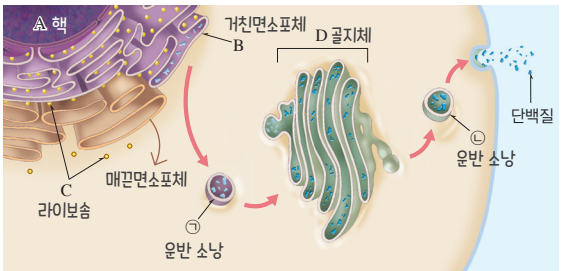
3 (1) (가)에는 주로 동물 세포에서 관찰되는 중심체(A)가 있고 세포벽이 없으며, (나)에는 식물 세포에만 있는 엽록체(F)와 세포벽(G)이 있다. 따라서 (가)는 동물 세포이고, (나)는 식물 세포이다.
(2) 중심체(A)는 미세소관 다발로 이루어진 2개의 중심립이 직각으로 배열된 구조로, 미세소관으로 이루어져 있다.
(3) 마이토콘드리아(B)에서는 유기물 속 화학 에너지를 ATP의 화학 에너지로 전환하는 세포호흡이 일어난다.
(4) 라이보솜(C)은 rRNA와 단백질로 구성된 작은 알갱이 모양의 세포소기관으로, 크기가 다른 2개의 단위체(대단위체, 소단위체)로 구성된다.
(5) 진핵세포의 핵(D)에 들어 있는 DNA는 히스톤 단백질과 결합하여 염색질을 이룬다.
(6) 골지체(E)의 막은 핵막과 연결되어 있지 않으며 내부가 서로 연결되어 있지 않다. 반면 소포체는 막의 일부가 핵막과 연결되어 있고 내부가 서로 연결되어 있다.
(7) 엽록체(F)의 내막 안쪽은 그라나와 스트로마로 구분된다. 크리스타는 마이토콘드리아(B)에서 볼 수 있는, 내막이 안쪽으로 접혀 들어가 형성된 주름진 구조이다.
(8) 세포벽(G)은 물과 용질을 모두 통과시키는 구조로, 물질 출입을 선택적으로 조절하지 못한다. 세포 안팎으로 이동하는 물질의 출입을 조절하는 구조는 세포막이다.

대표 자료 분석 2

38쪽

1 ㉠ C, 라이보솜, ㉡ B, 거친면소포체, ㉢ D, 골지체 **2** (1) A, C (2) B, D (3) D **3** (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○ (5) × (6) ○ (7) ○

꼼꼼 문제 분석



❶ 핵(A) 속 DNA의 유전정보에 따라 라이보솜(C)에서 단백질 합성 → ❷ 거친면소포체(B)에서 단백질 가공 후 운반 소낭(㉠)에 담아 골지체(D)로 운반 → ❸ 운반 소낭(㉠)의 막이 골지체(D) 막과 결합하며 단백질 전달 → ❹ 골지체(D)에서 단백질 가공 후 운반 소낭(㉡)에 담아 세포막 쪽으로 운반 → ❺ 운반 소낭(㉡)의 막이 세포막과 결합하면서 소낭 속 단백질이 세포 밖으로 분비

1 핵(A)에 들어 있는 DNA의 유전정보에 따라 라이보솜(C)에서 합성된 단백질은 거친면소포체(B)와 골지체(D)에서 가공되어 세포 밖으로 분비된다.

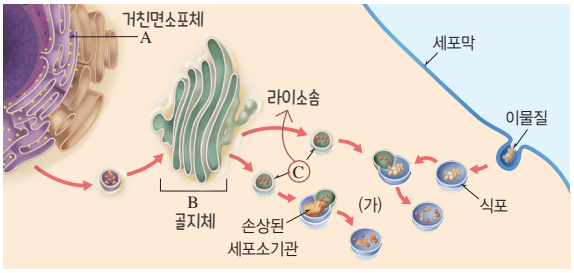
2 (1) RNA가 있는 세포소기관은 핵(A)과 라이보솜(C)이다. 핵(A) 내부의 인에서 rRNA가 합성되며, 이 rRNA가 핵공을 통해 세포질에서 유입된 라이보솜 단백질과 결합하여 라이보솜(C)의 단위체를 구성한다.
(2) 단백질의 가공과 운반에 관여하는 세포소기관은 거친면소포체(B)와 골지체(D)이다. 단백질은 거친면소포체에서 입체적으로 접히거나 당이 결합하는 초기 가공 과정을 거친 후 골지체로 전달된다. 이어 골지체의 시스터나 내부로 들어온 단백질은 추가적인 변형 과정을 거친 후 시스터나의 말단에서 다시 소낭에 싸여 다음 시스터나로 전해진다. 이러한 방식으로 연속된 시스터나를 통과하면서 단백질은 최종 목적지에 맞게 단계적으로 완성된다.
(3) 편평하고 넓적한 자루 모양의 구조물인 시스터나가 쌓여 있으며 내부가 서로 연결되어 있지 않은 세포소기관은 골지체(D)이다.

3 (1) 라이보솜(C)은 인지질 이중층으로 된 막을 갖지 않는다.
(2) 핵(A)의 막 곳곳에는 핵과 세포질 사이의 물질(RNA, 단백질 등) 이동 통로인 핵공이 있다.
(3) 거친면소포체(B)는 이자의 소화효소 분비 세포나 형질세포와 같이 분비 작용이 활발한 세포에 발달해 있다.
(4) 라이보솜(C)에서는 단위체인 아미노산이 펩타이드결합으로 연결되어 폴리펩타이드가 만들어진다.
(5) 독성 물질의 해독과 칼슘 이온(Ca^{2+})의 저장은 매끈면소포체에서 일어난다.
(6) ㉠은 소포체에서 가공한 단백질을 소포체의 막 일부로 둘러싸서 만든 운반 소낭으로, 단백질을 골지체로 운반한다.
(7) 골지체에서 떨어져 나온 운반 소낭(㉡)의 막과 세포막이 결합하면서 소낭 속에 담긴 단백질이 세포 밖으로 분비된다.

대표 자료 분석 3 39쪽

1 A: 거친면소포체, B: 골지체, C: 라이소솜 **2** C **3** 세포내소화 **4** (1) 단일막 (2) 동물 세포 (3) 여러 종류 **5** (1) ○ (2) × (3) × (4) × (5) × (6) ○ (7) ○

꼼꼼 문제 분석



❶ 거친면소포체(A)에 붙어 있는 라이보솜에서 가수분해효소가 합성된 후 소포체를 거쳐 골지체(B)로 이동 → ❷ 가수분해효소가 들어 있는 골지체(B)의 일부가 떨어져 나와 라이소솜(C) 형성 → ❸ 라이소솜(C) 속 가수분해효소가 세포 내로 들어온 이물질을 분해하거나 세포 내 손상된 세포소기관과 노폐물을 분해

1 A는 세포 표면에 라이보솜이 붙어 있는 거친면소포체, B는 소포체에서 떨어져 나온 운반 소낭과 결합하는 골지체, C는 골지체의 일부가 떨어져 나와 만들어진 라이소솜이다.

2 라이소솜(C)은 탄수화물, 단백질, 지질, 핵산 등을 분해하는 가수분해효소가 있어 물질 분해 기능을 한다.

3 (가)는 손상된 세포소기관이 담긴 소낭이나 세포 밖 이물질이 담긴 식포가 라이소솜과 결합하여 라이소솜 속 가수분해효소에 의해 세포소기관이나 이물질이 분해되는 세포내소화 과정이다.

4 (1) 라이소솜(C)은 인지질 이중층의 단일막 구조이다.
(2) 라이소솜(C)은 주로 동물 세포에서 관찰되며, 일부 원생생물에도 존재한다.
(3) 라이소솜(C)에는 탄수화물, 단백질, 지질, 핵산 등을 분해하는 여러 종류의 가수분해효소가 들어 있다.

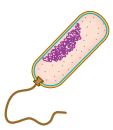
5 (1) 거친면소포체(A)의 표면에는 라이보솜이 붙어 있으며, 라이보솜에서 합성된 단백질은 소포체 내부로 들어간다.
(2) 라이소솜(C)은 골지체(B)의 일부가 떨어져 나와 만들어진다.
(3) 식포는 세포가 세포 밖에 있는 이물질을 세포막으로 둘러싸서 만든 소낭으로, 골지체(B)가 아닌 세포막 일부가 떨어져 나와 만들어진다.
(4) 라이소솜(C)에 들어 있는 가수분해효소는 라이보솜에서 합성되어 거친면소포체(A)와 골지체(B)를 거쳐 라이소솜으로 운반된 것이다.
(5) 라이소솜(C)은 자체 DNA와 라이보솜이 없어 스스로 복제하고 증식할 수 없다.
(6) 라이소솜(C)과 세포 밖 이물질을 포함한 식포가 결합하면 라이소솜(C)의 가수분해효소에 의해 이물질이 가수분해된다.
(7) 라이소솜(C)의 가수분해 작용으로 나온 산물은 재활용되어 세포의 생명활동에 이용되기도 한다.

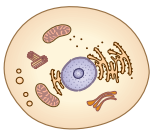
대표 자료 분석 4

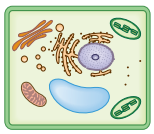
40쪽

1 (가) 세균 (나) 동물 세포 (다) 식물 세포 **2** (가) 원핵세포 (나) 진핵세포 (다) 진핵세포 **3** (1) (나), (다) (2) (가), (나), (다) (3) (가), (다) (4) (다) (5) (나), (다) **4** 해설 참조 **5** (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○ (5) ○ (6) ○ (7) ×

꼼꼼 문제 분석


(가) 세균


(나) 동물 세포


(다) 식물 세포

구분	세균(가) – 원핵세포	동물 세포(나) – 진핵세포	식물 세포(다) – 진핵세포
유전물질	하나의 원형 DNA	다수의 선형 DNA	다수의 선형 DNA
핵막	×	○	○
막성 세포소기관	×	○	○
라이보솜	○	○	○
세포막	○	○	○
세포벽	○	×	○

(○: 있음, ×: 없음)

1 (가)는 핵막과 막으로 둘러싸인 세포소기관이 없으므로 세균, (나)는 핵막과 막으로 둘러싸인 세포소기관이 있지만 세포벽과 엽록체가 없는 동물 세포, (다)는 핵막과 막으로 둘러싸인 세포소기관이 있고 세포벽과 엽록체가 있으며 액포가 크게 발달해 있는 식물 세포이다.

2 세균(가)은 핵막이 없어 유전물질이 세포질에 퍼져 있고 막성 세포소기관이 없으므로 원핵세포이다. 반면 동물 세포(나)와 식물 세포(다)는 막으로 둘러싸인 핵 속에 유전물질이 들어 있으며 막성 세포소기관이 있으므로 진핵세포이다.

3 (1), (5) 핵막과 막으로 둘러싸인 세포소기관은 진핵세포에만 있으므로, '핵막이 있다.'와 '막으로 둘러싸인 세포소기관이 있다.'는 동물 세포(나)와 식물 세포(다)만 가지는 특징이다.
(2) 모든 세포는 공통적으로 세포막으로 둘러싸여 있으며, 세포막 안쪽에 유전물질인 DNA와 단백질을 합성하는 라이보솜이 있다. 따라서 'DNA가 있다.'는 (가)~(다)의 공통 특징이다.
(3) 세포벽은 세균과 식물 세포에는 있지만 동물 세포에는 없으므로, '세포벽이 있다.'는 세균(가)과 식물 세포(다)만 가지는 특징이다.
(4) 엽록체는 식물 세포와 광합성을 하는 일부 원생생물에만 있으므로, '엽록체가 있다.'는 식물 세포(다)만 가지는 특징이다.

4 모범 답안 (가)의 라이보솜은 (다)의 라이보솜보다 크기가 작다. (가)의 라이보솜은 (다)의 라이보솜과 구성하는 단백질 및 RNA의 종류가 다르다. 등

채점 기준	배점
(가)의 라이보솜이 (다)의 라이보솜과 다른 점을 한 가지만 옳게 서술한 경우	100 %
(가)의 라이보솜과 (다)의 라이보솜의 크기가 다르다고만 서술한 경우	70 %

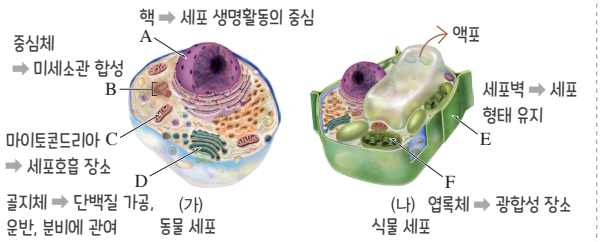
5 (1) 세균(가)은 하나의 원형 DNA를, 동물 세포(나)와 식물 세포(다)는 여러 개의 선형 DNA를 갖는다.
(2), (6) 동물 세포(나)와 식물 세포(다)는 히스톤 단백질이 있어 DNA와 뉴클레오솜을 형성하지만, 세균(가)은 뉴클레오솜을 형성하지 않는다. 히스톤 단백질은 DNA를 응축시키는 데 관여하며, DNA가 8개의 히스톤 단백질을 감아 뉴클레오솜을 형성한다.
(3) 동물 세포(나)와 식물 세포(다)는 마이토콘드리아, 소포체, 골지체와 같은 막성 세포소기관을 갖는다.
(4) (가)~(다)에는 공통적으로 세포막이 있으며, 인지질은 세포막을 구성하는 주성분이다.
(5) (가)~(다)는 구성 물질로 단백질을 갖는다.
(7) 세포벽 성분으로 세균(가)은 펩티도글리칸을, 식물 세포(다)는 셀룰로스를 갖는다.

내신 만점 문제

41쪽~43쪽

01 ③	02 ⑤	03 ③	04 ④	05 ①, ②
06 해설 참조		07 ⑤	08 ①	09 ② 10 ①
11 ⑤	12 ②, ③	13 해설 참조		14 ④ 15 ⑤

01 꼼꼼 문제 분석



① (가)는 중심체(B)가 있고, 세포벽과 엽록체가 없으므로 동물 세포이다. 반면 (나)는 액포가 크게 발달해 있고, 세포벽(E)과 엽록체(F)가 있으므로 식물 세포이다.

② 핵(A)에는 유전물질인 DNA가 있다.

④ 골지체(D)는 소포체로부터 운반된 단백질을 가공한 후 세포의 다른 곳으로 수송하거나 세포 밖으로 분비하는 역할을 한다.

⑤ 식물 세포(나)의 세포벽을 구성하는 주성분은 셀룰로스이다.

바로알기 ③ 중심체(B)는 막 구조가 아니며, 마이토콘드리아(C)와 엽록체(F)는 모두 외막과 내막의 이중막 구조이다.

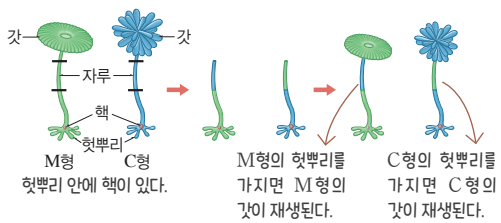
02 ㄱ. 핵에서 다른 부분보다 어둡게 관찰되는 인(A)에서는 라이보솜(B)을 구성하는 rRNA(라이보솜 RNA)가 합성된다.

ㄴ. 스테로이드의 합성 장소인 매끈면소포체(C)는 부신겉질 세포와 같이 스테로이드 호르몬을 합성하는 세포에 발달해 있다.

ㄷ. 핵과 세포질 사이의 물질 이동 통로인 핵공(D)을 통해 RNA나 단백질이 이동한다.

ㄹ. 핵막(E)은 인지질로 이루어진 내막과 외막의 이중막 구조이다.

03 꼼꼼 문제 분석



ㄷ. 실험 결과에서 교환 이식된 자루 부분의 종류에 관계없이 M형의 헛뿌리를 가지면 M형의 갓이, C형의 헛뿌리를 가지면 C형의 갓이 재생되는 것을 볼 수 있다. 이를 통해 핵에는 생물의 형질을 결정하는 유전물질이 존재한다는 것을 알 수 있다.

바로알기 ㄱ. 삿갓말은 단세포생물로, 하나의 세포로 이루어진다.

ㄴ. 재생되는 갓의 모양은 자루가 아닌 헛뿌리의 종류에 따라 결정된다.

04 ㄱ. 단백질은 라이보솜(A)에서 합성되며 소포체를 거쳐 골지체(B)로 이동한다. 골지체(B)는 합성한 단백질을 소낭을 통해 세포 밖으로 분비하거나 가수분해효소를 포함한 라이소솜(C)을 만든다.

ㄷ. 라이소솜(C)은 세포 안으로 들어온 이물질이나 세포 내 손상된 세포소기관 등을 분해하는 세포내소화를 담당한다.

바로알기 ㄴ. 라이소솜(C)은 골지체(B)의 일부가 떨어져 나와 만들어진 것으로, 라이소솜(C)이 골지체(B)로부터 유래한 것이다.

05 ③ 마이토콘드리아(나)의 내막으로 둘러싸인 안쪽 공간인 바탕질에는 세포호흡에 관여하는 여러 종류의 효소가 있다.

④ 엽록체(가)와 마이토콘드리아(나)는 모두 자체 DNA와 라이보솜이 있어 스스로 복제하여 증식할 수 있다.

⑤ 엽록체(가)와 마이토콘드리아(나)는 모두 외막과 내막의 이중막 구조이다.

바로알기 ① 크리스타는 마이토콘드리아(나)의 내막이 안쪽으로 접혀 들어가 형성된 주름진 구조이다. 엽록체(가)의 내막 안쪽에는 타이라코이드가 쌓여 층을 이룬 구조인 그라나가 있다.

② 엽록체(가)는 식물 세포와 광합성을 하는 원생생물의 세포에는 있지만, 간세포와 같은 동물 세포에는 존재하지 않는다.

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

채점 기준	배점
제시된 요소를 모두 포함하여 옳게 서술한 경우	100 %
제시된 요소의 일부만 포함하여 옳게 서술한 경우	50 %

07 ㄱ. 단백질 가공 및 운반에 관여하는 거친면소포체(A)는 이자세포와 같이 분비 작용이 활발한 세포에 발달해 있다.

ㄴ. 골지체(B)는 납작한 주머니 모양의 시스터나가 쌓여 있다. 시스터나는 단일막으로 이루어져 있으며, 내부에 액체가 채워져 있는 구조물이다.

ㄷ. 라이소솜(C)에는 탄수화물, 지질, 핵산, 단백질 등을 분해하는 가수분해효소가 들어 있다.

08 A는 1차 세포벽, B는 2차 세포벽이다.

ㄱ. 식물 세포가 성숙하면서 세포막과 1차 세포벽 사이에 2차 세포벽이 형성된다. 따라서 1차 세포벽(A)이 2차 세포벽(B)보다 먼저 형성된 것이다.

바로알기 ㄴ. 동물 세포에는 세포벽이 존재하지 않는다.

ㄷ. 세포 안팎으로 이동하는 물질의 출입은 세포막에 의해 조절된다. 세포벽은 세포막과 달리 물과 용질을 모두 통과시키는 구조로, 물질의 출입을 선택적으로 조절하지 못한다.

09 막으로 둘러싸여 있는 주머니 모양으로, 단백질, 무기염류와 같은 영양소나 노폐물을 저장하는 세포소기관은 액포이다. 성숙한 식물 세포에서는 여러 개의 작은 액포가 합쳐져 하나의 큰 액포로 발달하며, 이 액포가 식물 세포의 대부분을 차지한다.

10 엽록체, 라이보솜, 미세소관 중 엽록체와 라이보솜은 핵산(DNA 또는 RNA)을 가진다. 따라서 A가 라이보솜이고, B는 미세소관이다.

ㄴ. 라이보솜(A)은 막으로 둘러싸여 있지 않고, 소포체에 붙어 있거나 세포질에 흩어져 있다.

바로알기 ㄱ. 라이보솜(A)에서는 단백질 합성이, 엽록체에서는 포도당 합성이 일어나므로, '동화작용이 일어나는가?'는 라이보솜과 엽록체 모두에 해당하는 특징이다. 따라서 '동화작용이 일어나는가?'는 (가)에 해당하지 않는다.

ㄷ. 그라나는 엽록체에서 타이라코이드가 쌓여 층을 이룬 구조이다. 미세소관(B)은 세포골격을 구성하는 단백질 섬유 중 지름이 가장 큰 원통형 관이다.

11 ㄴ. ㉡은 세포가 분열할 때 방추사가 형성되어 염색체를 양쪽으로 끌어당기는 중심체이다. 중심체는 미세소관 다발이 모여 이루어진 중심립 2개가 직각으로 배열되어 있는 구조물이다.

ㄷ. ㉢은 세포소기관을 고정하거나 이동시키는 데 관여하는 세포골격이다. 세포골격은 단백질로 구성된 섬유가 세포질 내에 그물처럼 얽혀 있는 구조물로, 주성분은 단백질이다.

바로알기 ㄱ. ㉠은 독성 물질의 해독에 관여하는 매끈면소포체이다.

12 ① (가)는 핵막과 막으로 둘러싸인 세포소기관이 있으므로 진핵세포이고, (나)는 핵막과 막으로 둘러싸인 세포소기관이 없으므로 원핵세포이다.

④ 진핵세포(가)와 원핵세포(나)는 모두 유전물질로 이중나선 DNA를 갖는다.

⑤ 진핵세포(가)의 라이보솜은 원핵세포(나)의 라이보솜보다 크기가 크며, 진핵세포(가)와 원핵세포(나)는 라이보솜을 구성하는 단백질과 RNA의 종류도 다르다.

바로알기 ② 진핵세포((가), 식물 세포)의 세포벽 성분에는 셀룰로스가, 원핵세포(나)의 세포벽 성분에는 펩티도글리칸이 있다.

③ 원핵세포(나)에는 마이토콘드리아, 소포체, 골지체, 엽록체 등과 같은 막성 세포소기관이 없다.

13 모범 답안 • 공통점: 유전물질을 갖는다. 라이보솜을 갖는다. 세포막을 갖는다. 등

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

채점 기준	배점
공통점과 차이점을 각각 한 가지씩 옳게 서술한 경우	100 %
공통점과 차이점 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

14 ㉠, ㉡ 원핵세포에 속하는 대장균은 핵막이 없어 유전물질(DNA)이 세포질에 퍼져 있으며, 세포질에 있는 DNA의 유전 정보가 mRNA를 통해 라이보솜으로 전달되어 단백질이 합성된다. 즉, 전사와 번역이 모두 세포질에서 일어난다.

㉣ 대장균을 포함한 모든 생물에서는 물질대사가 일어나며, 촉매 작용을 하는 다양한 효소가 있다.

바로알기 ㉢ 대장균에는 막으로 둘러싸인 세포소기관이 없다.

㉤ 대장균의 세포벽은 펩티도글리칸으로 구성되어 있다. 키틴 성분의 세포벽은 진핵세포 중 균류에 있다.

15 남세균(광합성세균)은 원핵세포에, 동물인 토끼의 피부세포와 식물인 시금치의 공변세포는 진핵세포에 속한다. 따라서 '핵막이 있다.'는 토끼의 피부세포와 시금치의 공변세포만 갖는 특징이고, '엽록체가 있다.'는 시금치의 공변세포만 갖는 특징이다. A~C가 갖는 특징의 개수는 각각 1개~3개이므로 특징 ⓐ는 A~C가 모두 갖는 공통 특징에 해당하며, A는 남세균, B는 토끼의 피부세포, C는 시금치의 공변세포이다.

ㄱ. 남세균(A)은 원형 DNA를 갖고, 토끼의 피부세포(B)와 시금치의 공변세포(C)는 다수의 선형 DNA를 갖는다.

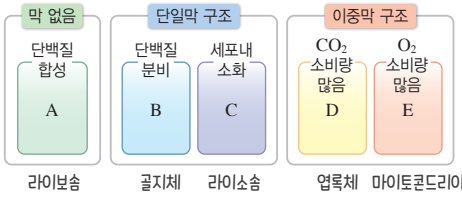
ㄴ. 토끼의 피부세포(B)와 시금치의 공변세포(C)는 모두 마이토콘드리아와 같은 막성 세포소기관을 갖는다.

ㄷ. ⓐ는 남세균(A), 토끼의 피부세포(B), 시금치의 공변세포(C)가 모두 갖는 특징이므로, '세포막을 갖는다.'는 ⓐ에 해당한다.

실력 UP 문제 44쪽

01 ①, ⑤ 02 ③ 03 ⑤ 04 ①

01 꼼꼼 문제 분석



- 엽록체: 빛에너지를 이용하여 CO_2와 물을 재료로 포도당을 합성하는 광합성이 일어난다.
- 마이토콘드리아: O_2를 이용해 유기물을 분해하여 에너지가 방출되는 세포호흡이 일어난다.

① 라이보솜(A)은 rRNA와 단백질로 구성된다. 엽록체(D)와 마이토콘드리아(E)는 DNA와 라이보솜을 가지고 있어, 자체 DNA로부터 전사된 mRNA를 이용해 일부 단백질을 스스로 합성한다.

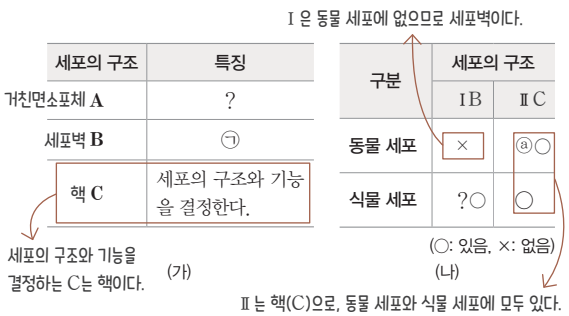
⑤ 마이토콘드리아(E)의 내막에는 ATP 합성에 필요한 효소 단백질이 있다.

바로알기 ② 남세균은 원핵세포에 속하므로 라이보솜(A)은 갖지만 엽록체(D)를 포함한 막으로 둘러싸인 세포소기관은 갖지 않는다. 광합성세균인 남세균은 엽록체는 없지만 세포질에 엽록소(광합성색소, 광합성에 필요한 빛에너지를 흡수)가 있어서 광합성을 한다.

③ 골지체(B)는 소포체와 달리 막의 일부가 핵막과 연결되어 있지 않다.

④ C는 세포내소화를 담당하는 라이소솜이다.

02 꼼꼼 문제 분석

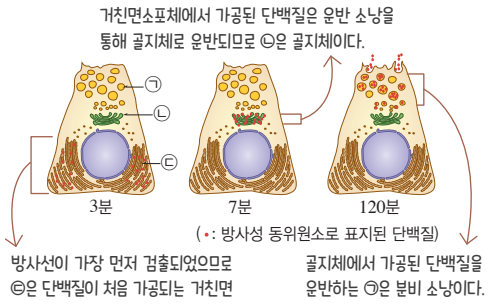


ㄱ. 핵(C, Ⅱ)은 동물 세포와 식물 세포에 모두 있으므로, ⓐ는 '○'이다.

ㄴ. 단백질 가공 및 운반을 담당하는 거친면소포체(A)는 이자세포나 형질세포와 같이 분비 작용이 활발한 세포에 발달해 있다.

바로알기 ㄷ. rRNA는 핵(C)의 인에서 합성되므로, 'rRNA가 합성된다.'는 ㉠에 해당하지 않는다.

03 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 이 실험에서 방사성 동위원소로 표지된 화합물에서 방출되는 방사선을 추적하는 자기방사법이 이용되었다.

ㄴ. 골지체(㉡)는 납작한 주머니 모양의 시스터나가 쌓여 있는 모양이다.

ㄷ. 방사성 동위원소로 표지된 아미노산을 일정 시간만 공급하면 시간이 지남에 따라 방사선이 방출되는 세포소기관이 달라진다. 이를 통해 합성된 단백질이 거친면소포체(㉢)와 골지체(㉡)를 거쳐 분비 소낭(㉠)으로 이동한다는 것을 알 수 있다.

04 꼼꼼 문제 분석

(가)

구분	특징	
㉠	핵막이 있다.	➡ 아메바, 공변세포
㉡	DNA가 있다.	➡ 대장균, 아메바, 공변세포
㉢	세포벽이 있다.	➡ 대장균, 공변세포

(나)

세포	A와 B	A와 C
공통 특징	㉠, ㉡	㉡, ㉢

- A ➡ 특징 ㉠~㉢을 모두 가지므로 감나무의 공변세포이다.
- B ➡ 특징 ㉠과 ㉡만 가지므로 아메바이다.
- C ➡ 특징 ㉡과 ㉢만 가지므로 대장균이다.

ㄱ. 일반적으로 유전물질의 양은 진핵세포가 원핵세포보다 많으므로 감나무의 공변세포(A)가 대장균(C)보다 많다.

바로알기 ㄴ. 아메바(B)는 진핵생물역 원생생물계에 속하는 생물로, 진핵세포로 이루어진 단세포 진핵생물이다.

ㄷ. DNA가 히스톤 단백질을 감고 있는 구조인 뉴클레오솜은 진핵세포만 가지는 특징이다. 원핵세포인 대장균(C)에는 히스톤 단백질이 없으며, 뉴클레오솜을 형성하지 않는다.

03 / 세포막을 통한 물질 이동

개념 확인 문제 46쪽

❶ 인지질 이중층 ❷ 막단백질 ❸ 유동

1 (1) × (2) ○ (3) ○ **2** ㉠ 인산, ㉡ 친수성, ㉢ 지방산, ㉣ 소수성 **3** ⑤ **4** (1) × (2) ○ (3) ○

1 (1) A는 두 겹으로 구성되어 이중층을 형성하는 인지질이고, B는 세포막을 관통하고 있는 막단백질이다.
(2) 세포 안팎의 수용성 환경에서 인지질(A)의 머리 부분은 막의 양쪽 바깥으로 배열하여 물과 접하고, 꼬리 부분은 서로 마주 보며 배열하여 물과 접하지 않는다.
(3) 막단백질(B)은 인지질 이중층을 관통하거나, 인지질 이중층에 일부가 파묻혀 있거나, 표면에 붙어 있다.

2 인지질은 인산을 포함하여 친수성을 띠는 머리와 지방산으로 되어 있어 소수성을 띠는 꼬리로 구성되어 있다.

3 막단백질에는 물질 운반에 관여하는 수송단백질, 세포 간 인식에 관여하는 탄수화물이 붙어 있는 단백질, 신호 전달에 관여하는 수용체단백질, 물질대사에 관여하는 효소단백질 등이 있다. 세포막의 유동성은 온도에 따라 달라지며, 동물 세포의 경우 세포막에 있는 콜레스테롤에 의해 조절된다.

4 (1) 세포막의 인지질은 특정 위치에 고정되어 있지 않고 유동성이 있다.
(2) 세포막의 막단백질은 물질 운반, 세포 인식, 신호 전달 등을 통해 세포막의 주요 기능을 담당한다.
(3) 세포막은 물질의 종류나 크기 등에 따라 어떤 물질은 잘 투과시키고 어떤 물질은 잘 투과시키지 않는 특성을 가져, 물질의 출입을 선택적으로 조절한다.

개념 확인 문제 50쪽

❶ 단순확산 ❷ 촉진확산 ❸ 물 ❹ 작아지고 ❺ 커진다 ❻ 증가 ❼ 감소

1 (가) 산소, 지방산, 이산화 탄소 (나) Na^+, 포도당, 아미노산 **2** (1) ○ (2) × (3) × **3** A: 촉진확산, B: 단순확산 **4** (1) A에서는 낮아지고, B에서는 높아진다. (2) 삼투 **5** ㉠ 고장액, ㉡ 작아지다가, ㉢ 원형질분리, ㉣ 저장액, ㉤ 팽윤

1 크기가 작은 분자나 소수성 물질(예 산소, 이산화 탄소, 지방산 등)은 인지질 이중층을 직접 통과하고, 크기가 비교적 큰 분자나 전하를 띤 이온, 친수성 물질(예 포도당, 아미노산, Na^+, K^+ 등)은 세포막의 수송단백질을 통해 이동한다.

2 (1) 확산은 농도 기울기에 따라 분자가 스스로 운동하여 일어나는 현상이므로, 물질이 확산될 때는 에너지가 사용되지 않는다.
(2) 허파꽈리와 모세혈관 사이에서의 기체 교환은 인지질 이중층을 직접 통과하는 단순확산에 의해 일어난다.
(3) 단순확산은 물질이 인지질 이중층을 직접 통과하는 방식이므로 수송단백질이 이용되지 않는다. 반면 촉진확산은 물질이 세포막에 있는 수송단백질을 통해 이동하는 방식이므로 통로단백질이나 운반체단백질이 이용된다.

3 세포 안팎의 물질 농도 차에 비례하여 물질의 이동 속도가 계속 증가하는 B의 이동 방식은 단순확산이고, 농도 차가 일정 수준 이상일 때 물질의 이동 속도가 더 이상 증가하지 않는 A의 이동 방식은 촉진확산이다.

4 반투과성막을 경계로 농도가 다른 두 용액이 있으면 물의 농도가 높은 용액(A, 용질의 농도가 낮은 용액)에서 물의 농도가 낮은 용액(B, 용질의 농도가 높은 용액)으로 물이 확산하는데, 이를 삼투라고 한다. 즉, A에서 B로 물이 이동하여 A에서는 설탕 용액의 수면 높이가 낮아지고, B에서는 높아진다.

5 식물 세포를 고장액에 넣으면 세포 밖으로 빠져나가는 물의 양이 더 많아 세포질의 부피가 작아지다가 세포막이 세포벽에서 떨어지는 원형질분리가 일어난다. 반면 식물 세포를 저장액에 넣으면 세포 안으로 들어오는 물의 양이 더 많아 세포의 부피가 커지는 팽윤이 일어난다.

개념 확인 문제 52쪽

❶ 능동수송 ❷ 운반체단백질 ❸ 세포내섭취 ❹ 세포외배출

1 (1) × (2) ○ (3) ○ **2** ㉠ Na^+, ㉡ K^+ **3** ㉠ 사용된다, ㉡ 식세포작용, ㉢ 음세포작용 **4** ㄴ, ㄹ

1 (1) 능동수송은 농도가 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 농도 기울기를 거슬러 물질을 이동시키는 방식이다.
(2) 능동수송을 통해 물질이 이동할 때는 에너지(ATP)가 소모되므로, ATP 생성을 저해하는 세포호흡 저해제를 처리하면 능동수송이 억제된다.

(3) 작은창자에서 당이나 아미노산을 흡수할 때, 콩팥에서 포도당이나 아미노산의 재흡수가 일어날 때, 식물의 뿌리털에서 무기 양분을 흡수할 때 능동수송이 일어난다.

2 Na^+-K^+펌프는 ATP를 사용하여 Na^+은 세포 밖으로, K^+은 세포 안으로 이동시키므로, 세포 안에서 밖으로 이동하는 ㉠은 Na^+이고, 세포 밖에서 안으로 이동하는 ㉡은 K^+이다.

3 세포내섭취와 세포외배출이 일어날 때는 세포막의 변형이 일어나 물질이 수송되며, 이때 에너지가 사용된다. 세포내섭취는 고체 물질을 세포 안으로 이동시키는 식세포작용과 액체 상태의 물질을 세포 안으로 이동시키는 음세포작용이 있다.

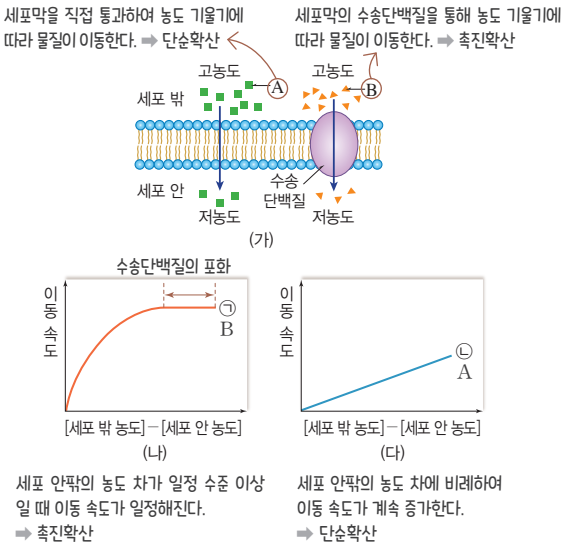
4 세포외배출은 이자세포에서 인슐린을 분비할 때, 신경세포의 축삭돌기 말단에서 신경전달물질을 방출할 때, 형질세포가 항체를 분비할 때 일어난다. 백혈구의 식세포작용은 세포내섭취에 의해 일어나며, Na^+-K^+펌프를 통한 Na^+과 K^+의 이동은 능동수송에 해당한다.

대표 자료 분석 1

53쪽

1 A: 단순확산, B: 촉진확산 **2** A: 산소, 이산화 탄소, 지방산 등, B: 포도당, 아미노산, Na^+, K^+ 등 **3** 해설 참조 **4** (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ○ (6) ×

꼼꼼 문제 분석



1 A는 세포막의 인지질 이중층을 직접 통과하여 농도 기울기에 따라 이동하므로 단순확산에 의해 이동하는 물질이고, B는 세포막에 있는 수송단백질을 통해 농도 기울기에 따라 이동하므로 촉진확산에 의해 이동하는 물질이다.

2 산소, 이산화 탄소와 같이 크기가 작은 분자나 지방산과 같은 소수성 물질은 단순확산으로 이동한다. 반면 포도당, 아미노산과 같이 크기가 비교적 큰 친수성 물질이나 Na^+, K^+과 같이 전하를 띠는 물질은 수송단백질을 통한 촉진확산으로 이동한다.

3 모범 답안 ㉠은 세포막의 수송단백질을 통해 촉진확산으로 이동하므로, 세포 안과 밖의 농도 차가 커질수록 이동 속도가 빨라진다. 그러나 수송단백질의 수는 한정되어 있어 일정 농도 차 이상에서는 모든 수송단백질이 물질 운반에 관여하는 포화 상태가 되어 이동 속도가 더 이상 증가하지 않고 일정해진다.

채점 기준	배점
㉠의 수송에 관여하는 수송단백질의 수가 한정되어 있다는 내용을 포함하여 옳게 서술한 경우	100 %
수송단백질이 포화되었기 때문이라고만 서술한 경우	70 %

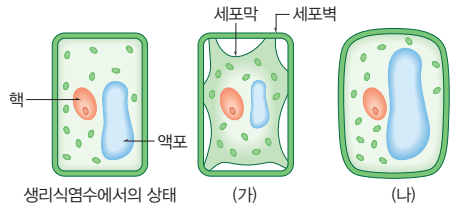
4 (1) ㉠은 세포 안팎의 농도 차가 커질수록 물질 이동 속도가 빨라지다가 일정해지므로 촉진확산으로 이동하는 B이고, ㉡은 세포 안팎의 농도 차에 비례하여 물질 이동 속도가 계속 빨라지므로 단순확산으로 이동하는 A이다.
(2) A는 세포막의 인지질 이중층을 직접 통과하므로 A의 이동에는 막단백질이 관여하지 않으며, B는 세포막에 있는 통로단백질이나 운반체단백질과 같은 수송단백질을 통해 이동한다.
(3), (4) A와 B는 농도 기울기(고농도 → 저농도)에 따른 분자 운동에 의해 이동하므로 세포막을 통한 물질 이동에 ATP가 소모되지 않는다.
(5), (6) 인슐린 작용에 의해 혈액 속 포도당이 세포로 유입되는 이동 방식은 운반체단백질을 통한 촉진확산이며, 신경세포에서 신경자극의 전도 시 K^+통로를 통한 K^+의 이동 방식은 통로단백질을 통한 촉진확산이다.

대표 자료 분석 2

54쪽

1 원형질분리 **2** X: 10 % 소금물, Y: 증류수 **3** ㉠ 고장액, ㉡ 많아, ㉢ 작아진다 **4** (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○ (6) ×

꼼꼼 문제 분석



세포의 모양이 유지된다.

세포막이 세포벽에서 떨어졌다(원형질분리).
➡ 10 % 소금물(고장액)에 넣은 상태

세포의 부피가 커져 팽윤상태이다.
➡ 증류수(저장액)에 넣은 상태

1 (가)의 세포는 생리식염수에서의 식물 세포에 비해 세포질의 부피가 작으며 세포막이 세포벽에서 떨어져 있는데, 이러한 현상을 원형질분리라고 한다. 식물 세포를 10 % 소금물과 같이 세포 안의 용액보다 삼투압이 높은 고장액에 넣으면 세포 밖으로 물이 빠져나가면서 세포질의 부피가 작아지다가 원형질분리가 일어난다.

2 (나)의 세포는 생리식염수에서의 식물 세포에 비해 세포의 부피가 커져 팽윤상태이다. 식물 세포를 증류수와 같이 세포 안의 용액보다 삼투압이 낮은 저장액에 넣으면 세포 안으로 물이 들어와 세포의 부피가 커지는 팽윤이 일어난다. 따라서 X는 고장액인 10 % 소금물이고, Y는 저장액인 증류수이다.

3 세포벽의 유무로 인해 동물 세포와 식물 세포에서 삼투에 의해 일어나는 현상은 서로 다르다. 등장액에 있던 적혈구를 고장액에 넣으면 물이 빠져나가면서 적혈구의 부피가 작아진다. 반대로 적혈구를 저장액에 넣으면 물이 들어와 적혈구의 부피가 점점 커지다가 결국 세포막이 터지는 용혈이 일어나기도 한다.

4 (1) 생리식염수와 같은 등장액에서 세포는 부피가 변하지 않아 세포막을 통해 물이 이동하지 않는 것처럼 보이지만, 이때에도 물은 이동한다. 즉, 세포막을 통한 물의 이동이 양쪽으로 일어나지만 드나드는 물의 양이 같아서 세포의 모양 변화가 없는 것이다. 저장액과 고장액에서도 물은 세포막을 통해 양방향으로 이동하며, 물이 이동하는 양의 차이로 인해 세포의 모양이 변한다.

(2) 생리식염수에 있던 세포를 증류수에 넣으면 (나)와 같이 식물 세포의 부피가 최대가 될 때까지 물이 세포 속으로 들어오는데, 이때 세포막을 통해 세포 안으로 들어오는 물의 속도는 세포 밖으로 빠져나가는 물의 속도보다 빠르다.

(3) 용혈은 저장액에서 적혈구가 부풀어 오르다가 세포막이 터지는 현상을 말한다. 식물 세포는 세포막 바깥에 단단한 세포벽이 있어 터지지 않고 일정 부피까지만 커지므로 용혈 현상이 나타나지 않는다.

(4), (5) 팽압은 세포 내부로부터 세포벽이 받는 압력이다. 원형질분리가 일어난 (가)의 세포는 팽압이 0인 상태로, 삼투압이 팽압보다 크다. 팽윤상태인 (나)의 세포는 팽압이 0보다 크므로, 팽압은 (가)의 세포에서가 (나)의 세포에서보다 작다.

(6) 삼투로 인해 물이 이동하면 액포의 부피도 변한다. (가)의 세포는 액포에서 물이 빠져나가 액포의 부피가 작아졌고, (나)의 세포는 액포로 물이 들어와 액포의 부피가 커졌다.

대표 자료 분석 3

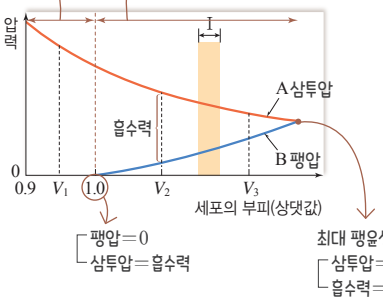
55쪽

1 A: 삼투압, B: 팽압 **2** ㉠>㉡ **3** 흡수력=삼투압−팽압
4 삼투압=팽압, 흡수력=0 **5** (1) ○ (2) × (3) × (4) × (5) ○ (6) ○ (7) ○ (8) ×

꼼꼼 문제 분석

고장액에서 물이 빠져나가 원형질분리가 일어난 상태이다.

세포로 물이 들어와 세포의 부피가 증가함에 따라 삼투압(A)은 감소하고, 팽압(B)은 증가한다.



팽압=0
삼투압=흡수력

최대 팽윤상태
삼투압=팽압
흡수력=0

1 삼투압은 세포 안으로 물이 들어오려는 힘이고, 팽압은 세포 안의 용액이 세포벽을 밀어내는 힘이다. 삼투에 의해 세포의 부피가 증가함에 따라 A는 감소하고, B는 증가하므로 A는 삼투압, B는 팽압이다.

2 식물 세포를 설탕 용액 ㉠에 넣어 원형질분리가 일어난 상태일 때 설탕 용액 ㉡으로 옮기면, 식물 세포 안으로 물이 들어오므로 식물 세포의 부피가 증가하면서 삼투압(A)은 감소하고 팽압(B)은 증가한다. 따라서 설탕 용액의 농도는 ㉠>㉡이다.

3 흡수력은 식물 세포가 물을 흡수하려는 힘으로, 삼투압과 팽압의 차이이다. 따라서 흡수력은 삼투압이 높을수록, 팽압이 낮을수록 커진다.

4 식물의 부피가 최대인 최대 팽윤상태일 때 삼투압(A)과 팽압(B)은 같고 흡수력은 0이 되어 식물 세포는 더 이상 물을 흡수하지 않으며, 이때 팽압(B)은 최대가 된다.

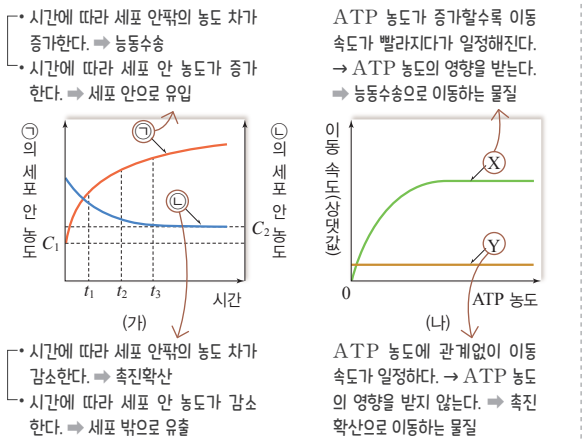
5 (1) V_1일 때 팽압(B)이 작용하지 않고 세포의 부피가 1.0보다 작으므로, X는 원형질분리가 일어난 상태이다.
(2) 흡수력은 삼투압(A)과 팽압(B)의 차이이며, V_2일 때 팽압이 0보다 크므로 X의 흡수력은 삼투압(A)보다 작다.
(3) 세포의 부피가 V_2~V_3인 구간에서 세포 안으로 물이 계속 들어와 세포의 부피가 커지고 삼투압(A)은 감소, 팽압(B)은 증가하고 있다. 따라서 V_3일 때 X는 팽윤 상태이다. X가 최대로 팽윤된 상태(최대 팽윤상태)에서는 삼투압과 팽압이 같다.
(4) 팽압이 최대일 때 흡수력은 0이 되며, 세포막을 경계로 물의 이동이 없는 것처럼 보이지만 실제 물의 이동은 계속 일어나고 있다. 즉, 세포 안으로 유입되는 물의 양과 세포 밖으로 유출되는 물의 양이 같다.
(5) 구간 Ⅰ에서는 삼투압(A)이 팽압(B)보다 크며, 세포막을 통해 세포 안으로 유입되는 물의 양이 세포 밖으로 유출되는 물의 양보다 많아 세포의 부피가 증가한다.
(6) V_1일 때 삼투압(A)과 흡수력은 같으며, V_2일 때 삼투압(A)은 흡수력보다 크다. 따라서 X의 $\frac{\text{흡수력}}{\text{삼투압}}$은 V_1일 때가 V_2일 때보다 크다.
(7) 물이 세포 안으로 들어오면 액포로 물이 유입되어 액포의 부피도 커진다. 따라서 X에서 액포의 부피는 V_1일 때가 V_3일 때보다 작다.
(8) 삼투압(A)은 V_2일 때가 V_3일 때보다 크고 팽압(B)은 V_2일 때가 V_3일 때보다 작으므로, X의 $\frac{\text{삼투압}}{\text{팽압}}$은 V_2일 때가 V_3일 때보다 크다.

대표 자료 분석 4

56쪽

1 ㉠ 능동수송, ㉡ 촉진확산 **2** X: ㉠, Y: ㉡ **3** ⓐ 저농도 → 고농도, ⓑ 사용한다. ⓒ 이용한다. ⓓ 고농도 → 저농도, ⓔ 사용하지 않는다. ⓕ 이용한다. **4** (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) ○ (6) ○ (7) ×

꼼꼼 문제 분석



1 ㉠은 처음에 세포 안팎의 농도가 C_1로 같았으나, 시간이 지날수록 세포 안팎의 농도 차가 증가하였다. 이는 물질이 농도 기울기를 거슬러 이동했음을 의미하므로, ㉠의 이동 방식은 능동수송이다. 반면 ㉡은 시간이 지날수록 세포 안팎의 농도 차가 감소하여 C_2에서 같아졌으므로, 물질이 농도 기울기에 따라 이동하여 세포 안팎의 농도가 같아진 것이다. 따라서 ㉡의 이동 방식은 촉진확산이다.

2 ATP 농도의 영향을 받는 X는 에너지(ATP)를 사용하는 능동수송으로 이동하므로 ㉠이다. 반면 ATP 농도의 영향을 받지 않는 Y는 에너지(ATP)를 사용하지 않는 촉진확산으로 이동하므로 ㉡이다.

3 능동수송은 세포막에 있는 특정 운반체단백질을 통해 농도가 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 물질을 이동시키는 방식으로, 에너지(ATP)를 사용한다. 반면 촉진확산은 세포막에 있는 특정 막단백질(통로단백질이나 운반체단백질)을 통해 농도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 물질을 이동시키는 방식으로, 분자 운동에 의해 일어나므로 에너지(ATP)를 사용하지 않는다.

4 (1) 시간이 지남에 따라 ㉠의 세포 안 농도가 증가하므로 ㉠은 세포 밖에서 안으로 이동한다.
(2) 시간이 지남에 따라 ㉡의 세포 안 농도가 감소하므로 ㉡은 세포 안에서 밖으로 이동한다.
(3) 고분자 물질인 글루카곤은 분자의 크기가 커서 확산이나 능동수송을 통해 세포막을 통과할 수 없다. 이자세포에서 만들어진 글루카곤이 세포 밖으로 분비되는 방식은 세포외배출이다.

(4) Na^+-K^+펌프를 통해 Na^+이 이동하는 방식은 ㉠과 같은 능동수송이다.
(5) 세포막을 통한 물질의 이동 속도는 그래프에서 접선의 기울기로 판단한다. (가)에서 ㉠의 접선의 기울기는 t_1일 때가 t_3일 때보다 크므로, ㉠의 이동 속도도 t_1일 때가 t_3일 때보다 빠르다.
(6) ㉠은 세포 밖에서 안으로 이동하므로 세포 밖인 배양액의 ㉠ 농도는 시간이 지날수록 감소한다. 따라서 배양액의 ㉠ 농도는 t_2일 때가 t_3일 때보다 높다.
(7) (가)에서 ㉡의 접선의 기울기는 t_1일 때가 t_2일 때보다 크므로 세포막을 통한 ㉡의 이동 속도도 t_1일 때가 t_2일 때보다 빠르다. 또한 촉진확산에 의해 물질이 이동할 때 수송단백질이 포화되기 전에는 물질 이동 속도가 세포 안과 밖의 농도 차에 비례한다. 따라서 t_1일 때 ㉡의 세포 안과 밖의 농도 차는 t_2일 때 ㉡의 세포 안과 밖의 농도 차보다 크다.

내신 만점 문제

57쪽~60쪽

01 A, B, D		**02** ㄱ, ㄷ	**03** 해설 참조	**04** ①
05 ⑤	**06** ④	**07** ③	**08** 해설 참조	**09** ③
10 ②	**11** ③	**12** ④	**13** ①	**14** 해설 참조
15 ⑤	**16** ⑤	**17** ③	**18** ②	**19** ③

01 A. 모든 세포는 세포의 바깥쪽을 둘러싸고 있는 세포막을 갖는다.
B. 세포막의 주성분은 친수성 머리와 소수성 꼬리를 갖는 인지질과 아미노산으로 구성된 단백질이다.
D. 세포막은 세포 보호 및 형태 유지, 신호 전달, 물질 출입 조절 등의 역할을 한다.
바로알기 C. 세포막은 인지질의 소수성 꼬리 부분이 서로 마주 보며 배열하고 있는 인지질 이중층의 단일막 구조이다. 이중막 구조는 핵, 마이토콘드리아, 엽록체의 막과 같이 두 겹의 생체막으로 구성된 구조이다.

02 ㄱ. 인지질(A)은 친수성 머리와 소수성 꼬리로 이루어져 있다.
ㄷ. 막단백질(B)은 신호 전달, 물질 운반, 효소로 작용, 세포 인식 등 다양한 기능을 담당한다.
바로알기 ㄴ. 인지질(A)과 막단백질(B)은 일반적으로 세포막의 특정 위치에 고정되어 있지 않고 유동성이 있어 이동할 수 있다.

03 모범 답안 세포막에 있는 막단백질은 특정 위치에 고정되어 있지 않고 유동성이 있어 이동할 수 있다.

채점 기준	배점
막단백질의 유동성을 옳게 서술한 경우	100 %
막단백질이 특정 위치에 고정되어 있지 않다라고만 서술한 경우	70 %

04 ㄱ. 물질의 크기, 친수성과 소수성 같은 화학적인 성질, 해당 물질을 이동시키는 막단백질의 유무 등에 따라 특정 물질만 세포막을 통과할 수 있는데, 세포막이 물질의 종류와 특성에 따라 물질 출입을 조절하는 특성을 선택적 투과성이라고 한다.
ㄴ. 전하를 띤 이온은 인지질 이중층을 직접 통과하기 어려워 세포막에 있는 수송단백질을 통해 이동한다.
바로알기 ㄷ. 포도당, 아미노산과 같이 크기가 비교적 큰 친수성 물질은 세포막에 있는 수송단백질을 통해 이동한다. 산소와 같이 크기가 작은 분자나 소수성 물질이 인지질 이중층을 직접 통과하여 이동한다.
ㄹ. 세포막의 선택적 투과성으로 인해 세포 안과 밖의 물질 조성은 서로 다르게 유지되며, 이는 세포 내부의 환경을 일정하게 유지하여 생명활동이 원활하게 일어나게 한다.

05 ㄱ. (가)는 물질이 세포막의 인지질 이중층을 직접 통과하여 이동하므로 단순확산이고, (나)는 물질이 세포막의 수송단백질을 통해 이동하므로 촉진확산이다.
ㄴ, ㄷ. 단순확산(가)과 촉진확산(나)에서 모두 세포막을 경계로 물질이 농도 기울기에 따라 고농도에서 저농도로 이동하며, 분자 운동에 의해 물질이 이동하므로 에너지를 사용하지 않는다.

06 모세혈관과 조직 세포 사이에서 산소와 이산화 탄소가 이동하는 방식은 단순확산이다.
④ 폐로 들어온 공기 중의 산소가 허파꽈리에서 주변 모세혈관으로 이동하는 방식과 혈액 속 이산화 탄소가 모세혈관에서 허파꽈리로 이동하는 방식은 모두 단순확산이다.
바로알기 ① 백혈구의 식세포작용 중 우리 몸에 침입한 병원체를 세포 안으로 끌어들이는 과정은 세포내섭취에 해당한다.
②, ⑤ 혈액에서 세포로의 포도당 유입은 운반체단백질을 통한 촉진확산이고, 신경세포에서 신경자극 전도 시 Na^+통로를 통한 Na^+의 이동은 통로단백질을 통한 촉진확산이다.
③ 방어작용을 담당하는 형질세포가 혈액으로 항체를 분비할 때는 세포외배출이 일어난다.

07 ㄱ. 세포 안과 밖의 농도 차가 같을 때 A는 B에 비해 물질 이동 속도가 빠르지만 최대 속도에 도달하면 더 이상 속도가 증가하지 않는다. 반면 B는 물질 이동 속도가 세포 안과 밖의 농도 차에 비례하여 계속 증가한다. 따라서 A의 이동 방식은 촉진확산, B의 이동 방식은 단순확산이다.

ㄷ. 세포 안과 밖의 농도 차가 S_1일 때 A의 이동 속도는 이미 최댓값에 도달하여 일정하며, 이후 농도 차가 증가해도 속도는 더 이상 증가하지 않는다. 이는 A의 이동에 관여하는 수송단백질의 수가 한정되어 모든 수송단백질이 물질 운반에 관여하는 포화 상태이기 때문이다.

바로알기 ㄴ. Na^+-K^+펌프를 통한 Na^+과 K^+의 이동 방식은 능동수송이다.

08 모범 답안 • 공통점: 물질이 농도 기울기에 따라 고농도에서 저농도로 이동한다. 물질 이동에 에너지가 사용되지 않는다. 등

• 차이점: 촉진확산은 수송단백질을 통해 물질이 이동하지만, 단순확산은 수송단백질이 관여하지 않는다. 촉진확산은 농도 차가 커질수록 물질 이동 속도가 증가하다가 일정 수준 이상에서는 일정해지지만, 단순확산은 농도 차에 비례하여 물질 이동 속도가 계속 증가한다. 등

채점 기준	배점
공통점과 차이점을 각각 한 가지씩 옳게 서술한 경우	100 %
공통점과 차이점 중 하나만 옳게 서술한 경우	50 %

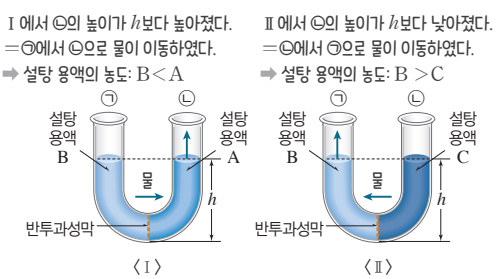
09 ㄱ. 삼투는 반투과성막을 사이에 두고 물의 농도가 높은 쪽(용액의 농도가 낮은 쪽)에서 물의 농도가 낮은 쪽(용액의 농도가 높은 쪽)으로 물이 확산하는 현상이다.

ㄴ. 삼투는 분자 운동에 의한 확산에 해당하므로 에너지가 사용되지 않는다.

ㄷ. 삼투가 일어날 때 물(용매)의 이동에 의해 반투과성막에 작용하는 압력을 삼투압이라고 한다.

바로알기 ㄹ. 삼투압은 반투과성막을 경계로 양쪽 용액의 농도 차가 클수록, 온도가 높을수록 증가한다.

10 꼼꼼 문제 분석

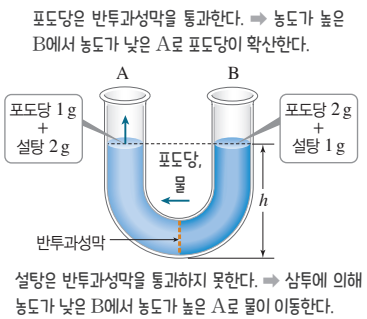


ㄷ. 설탕 용액의 농도는 A가 C보다 높으므로, 세포 내액의 농도가 (가)의 A와 같은 식물 세포를 (가)의 C에 넣으면 세포 안으로 들어오는 물의 양이 세포 밖으로 나가는 물의 양보다 많아 팽윤 상태가 된다.

바로알기 ㄱ. Ⅰ에서 설탕 용액의 농도는 B<A이고 Ⅱ에서 설탕 용액의 농도는 B>C이므로, (가)에서 설탕 용액의 농도는 A>B>C이다.

ㄴ. 용질인 설탕이 반투과성막을 통과할 수 있다면 설탕이 확산하여 ㉠과 ㉡에서의 농도가 같아지고, 물의 순이동도 일어나지 않아 수면 높이 차가 나타나지 않는다. 그러나 실험 결과 삼투에 의해 수면 높이 차가 나타난 후 그 차이가 일정하게 유지되었으므로, 설탕은 반투과성막을 통과하지 못한다는 것을 알 수 있다.

11 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 포도당은 반투과성막을 통해 농도 기울기에 따라 B에서 A로 확산하여 이동한다.

ㄴ. 설탕은 반투과성막을 통과하지 못하므로 반투과성막을 경계로 A와 B에서의 용액의 농도가 다르다. 따라서 삼투에 의해 설탕 용액의 농도가 낮은 B에서 설탕 용액의 농도가 높은 A로 물이 이동하므로, A의 수면 높이는 h보다 높아지고 B의 수면 높이는 h보다 낮아진다.

바로알기 ㄷ. 설탕은 반투과성막을 통과하지 못하므로 A와 B에서 설탕의 양은 변하지 않는다.

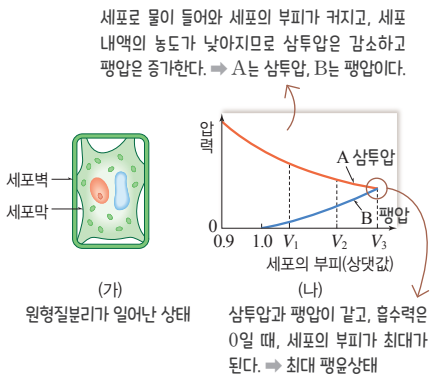
12 적혈구를 X에 넣었을 때 적혈구 속 물이 빠져나가 적혈구의 부피가 줄어들었으므로 X는 세포 내액보다 농도가 높다. 식물 세포를 Y에 넣었을 때 물이 세포 안으로 들어가 식물 세포의 부피가 커졌으므로 Y는 세포 내액보다 농도가 낮다.

ㄱ. X의 농도는 ㉠의 세포 내액의 농도보다 높고, Y의 농도는 ㉢의 세포 내액의 농도보다 낮다.

ㄷ. 팽압은 팽윤상태에서 세포 안의 용액이 세포벽을 밀어내는 힘이다. 세포 안으로 물이 들어와 세포의 부피가 커질수록 삼투압은 감소하고 팽압은 증가한다. 따라서 팽압은 ㉢에서가 ㉣에서보다 작다.

바로알기 ㄴ. 적혈구 ㉠이 적혈구 ㉡으로 변하는 과정 (가)에서 세포막을 통해 적혈구 안으로 들어오는 물의 양은 적혈구 밖으로 나가는 물의 양보다 적다.

[13~14] 꼼꼼 문제 분석



13 ㄱ. (가)에서 세포막이 세포벽에서 떨어지는 원형질분리가 일어났으며, (나)에서 원형질분리가 일어난 식물 세포의 부피가 0.9에서 V_3까지 커졌으므로, 설탕 용액의 농도는 ㉠이 ㉡보다 높다.

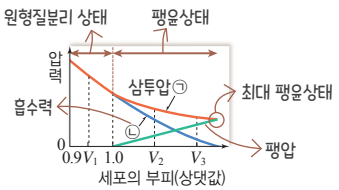
바로알기 ㄴ. 물이 세포 내로 들어오면 액포로도 물이 들어와 액포의 크기가 커지므로, 액포의 크기는 V_1일 때가 V_2일 때보다 작다.

ㄷ. V_3일 때는 삼투압(A)과 팽압(B)이 같아 흡수력이 0이며, 세포는 최대 팽윤상태이다. 이때 세포 안으로 들어오는 물의 순이동은 0이지만 물의 유입량과 유출량은 같으며, 세포막을 통한 물의 이동은 계속 일어난다.

14 모범 답안 흡수력은 삼투압(A)과 팽압(B)의 차이로, 삼투압이 높을수록, 팽압이 낮을수록 커진다. 따라서 흡수력은 세포의 부피가 V_1일 때 $>V_2$일 때$>V_3$일 때이다.

채점 기준	배점
세포의 부피에 따른 흡수력을 삼투압과 팽압의 변화를 포함하여 옳게 비교한 경우	100 %
세포의 부피에 따른 흡수력만 옳게 비교한 경우	40 %

15 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 고장액에 있던 식물 세포를 저장액에 넣으면 삼투에 의해 물이 유입되어 삼투압은 감소하고 팽압이 증가하여 흡수력은 감소한다. 흡수력은 삼투압과 팽압의 차이로 흡수력은 삼투압보다 클 수 없으므로 ㉠이 삼투압이고 ㉡이 흡수력이다.

ㄴ. V_1일 때 X의 부피는 1.0보다 작고 팽압이 0이므로, X는 원형질분리가 일어난 상태이다.

ㄷ. X의 삼투압은 V_2일 때가 V_3일 때보다 크고, 팽압(=삼투압 − 흡수력)은 V_2일 때가 V_3일 때보다 작다. 따라서 X의 $\frac{\text{삼투압}}{\text{팽압}}$은 V_2일 때가 V_3일 때보다 크다.

16 ㄱ. (가)는 농도 기울기에 따라 물질이 인지질 이중층을 직접 통과하는 단순확산, (나)는 농도 기울기에 따라 물질이 수송단백질을 통해 이동하는 촉진확산, (다)는 농도 기울기를 거슬러 물질이 수송단백질을 통해 이동하는 능동수송이다.

ㄴ. 촉진확산(나)과 능동수송(다)에는 모두 세포막에 있는 수송단백질이 이용된다.

ㄷ. 능동수송(다)은 ATP를 사용하여 물질을 이동시키는 방식이므로, ATP의 생성을 억제하면 능동수송(다)을 통한 물질 이동도 억제된다.

17 ㄱ. Na^+ 3개가 Na^+-K^+펌프에 먼저 결합하여 운반되고, 이후 K^+ 2개가 Na^+-K^+펌프에 결합하여 운반되므로 ㉠은 Na^+, ㉡은 K^+이다.

ㄴ. Na^+-K^+펌프는 Na^+을 세포 안에서 세포 밖으로 이동시키고, K^+은 세포 밖에서 세포 안으로 이동시키므로, (가)는 세포 밖, (나)는 세포 안이다.

바로알기 ㄷ. Na^+-K^+펌프에 의해 Na^+ 농도는 세포 밖(가)에서가 세포 안(나)에서보다 높게 유지되고, K^+ 농도는 세포 안(나)에서가 세포 밖(가)에서보다 높게 유지된다.

18 (가)는 촉진확산, (나)는 능동수송이다. ㉠은 세포 안과 밖의 농도가 C로 같았으나 시간이 지날수록 ㉠의 세포 안 농도가 증가하므로, ㉠의 이동 방식은 능동수송이다.

ㄴ. 구간 Ⅰ에서 ㉠의 세포 안 농도가 높아지고 있으므로 ㉠은 세포 밖에서 안으로 이동하고 있다.

바로알기 ㄱ. ㉠의 이동 방식은 능동수송(나)이다.

ㄷ. 신경세포의 축삭돌기 말단에서 신경전달물질이 방출되는 방식은 세포외배출이다.

19 ㄱ. (가)는 세포 안에 있는 소낭이 세포막과 융합하여 소낭 속 물질을 세포 밖으로 내보내므로 세포외배출이고, (나)는 세포 밖의 물질을 세포막으로 감싸 소낭을 만들어 세포 안으로 끌어들이므로 세포내섭취이다.

ㄴ. 세포외배출(가)과 세포내섭취(나)가 일어날 때는 소낭 형성, 세포막의 융합, 세포 내 이동 등에 ATP 에너지가 사용된다.

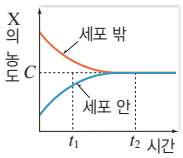
바로알기 ㄷ. 세포외배출(가)이 일어나면 세포막의 표면적이 증가하고, 세포내섭취(나)가 일어나면 세포막의 표면적이 감소한다.

실력 UP 문제

61쪽~62쪽

01 ㄱ　02 ①　03 ⑤　04 ⑤　05 ①　06 ③
07 ④　08 ②

01 꼼꼼 문제 분석

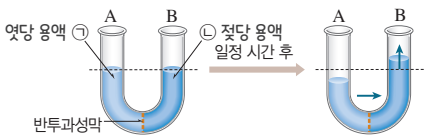


• 세포 밖: X의 농도 감소
• 세포 안: X의 농도 증가
➡ X는 세포 밖에서 세포 안으로 촉진확산에 의해 이동한다.

ㄱ. X는 세포막을 통해 고농도에서 저농도로 촉진확산된다.
바로알기 ㄴ. X는 촉진확산에 의해 이동하므로 t_1을 포함하여 전 시점에서 세포막을 통한 X의 이동에 에너지가 사용되지 않는다.
ㄷ. t_2일 때 세포 안과 밖에서의 X의 농도는 C로 일정하다. 즉, 세포 안으로 이동하는 X의 양과 세포 밖으로 이동하는 X의 양이 같아 세포막을 통한 X의 순이동이 없는 것이다.

02 꼼꼼 문제 분석

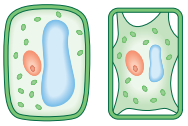
• 엿당 분해효소를 넣으면 젖당의 양은 변하지 않지만, 엿당은 분해되어 용질 입자 수가 증가한다.
• 포도당은 반투과성막을 통과하므로, 확산에 의해 농도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 이동한다.
• 엿당과 젖당은 반투과성막을 통과하지 못하므로, 물이 용질의 농도가 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 이들의 농도 차에 의한 삼투에 의해 이동한다.



ㄱ. A의 수면 높이는 낮아졌고, B의 수면 높이는 높아졌으므로 물이 삼투에 의해 A에서 B로 이동했음을 알 수 있다. 즉, 엿당 분해효소에 의해 A에서 포도당이 생성되어 포도당이 B로 확산하고, B에 있는 젖당은 반투과성막을 통과하지 못하므로 물이 A에서 B로 이동한 것으로, A에서 엿당 분해효소에 의해 엿당이 분해되었음을 알 수 있다. 따라서 A에 넣은 ㉠은 엿당 용액, B에 넣은 ㉡은 젖당 용액이다.

바로알기 ㄴ. 엿당 분해 결과 생성된 포도당은 확산에 의해 농도 평형에 이를 때까지 A에서 B로 이동한다. 따라서 (라)에서 물의 양이 적은 A 속 포도당의 양은 물의 양이 많은 B 속 포도당의 양보다 적다.
ㄷ. 반투과성막을 통한 포도당 분자의 이동은 확산에 의해 일어나므로 ATP가 사용되지 않는다.

03 꼼꼼 문제 분석

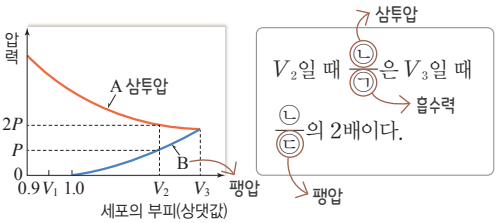

(가)　(나)

구분	팽압 A(기압)	삼투압 B(기압)	흡수력
(가)	3	㉠ 3	0
(나)	0	10	10

• (가)는 세포 안으로 많은 양의 물이 들어와 세포의 부피가 최대로 커진 최대 팽윤상태이다.
• (나)는 세포 밖으로 많은 양의 물이 빠져나가 세포질의 부피가 작아지다가 세포막이 세포벽에서 떨어진 원형질분리 상태이다.
• 최대 팽윤상태에서는 삼투압과 팽압이 같고 흡수력은 0이며, 원형질분리 상태에서는 삼투압과 흡수력이 같고 팽압은 0이다. ➡ A는 팽압, B는 삼투압이다.

ㄴ. 최대 팽윤상태인 (가)에서는 팽압(A)과 삼투압(B)이 같으므로 ㉠은 3이다.
ㄷ. 최대 팽윤상태인 (가)에서는 흡수력이 0이 되어 물의 순이동이 일어나지 않으며, 식물 세포는 더 이상 물을 흡수하지 않는다.
바로알기 ㄱ. A는 팽압, B는 삼투압이다.

04 꼼꼼 문제 분석



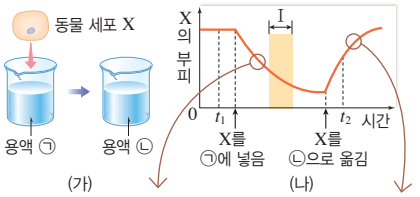
• 고장액에 있던 세포를 저장액에 넣으면 삼투에 의해 물이 세포 내부로 유입되어 세포의 부피가 증가하고, 이 과정에서 삼투압과 흡수력은 감소하고 팽압은 증가한다.
• 세포의 부피가 1.0일 때 B는 0이다. ➡ A가 삼투압, B가 팽압이다.
• V_2일 때 삼투압($2P$)은 팽압(P)과 흡수력(P)의 합이고, V_3일 때 삼투압은 팽압과 같고 흡수력은 0이다. ➡ ㉠은 흡수력, ㉡은 삼투압, ㉢은 팽압이다.

ㄱ. V_1일 때 X는 세포의 부피가 1.0보다 작고 팽압(B)은 0이므로 원형질분리가 일어난 상태이다.

ㄴ. V_2일 때 삼투압은 $2P$, 팽압은 P이므로, 세포 안으로 유입되는 물의 속도가 세포 밖으로 유출되는 물의 속도보다 빠르다.

ㄷ. V_2일 때 $\frac{\text{흡수력}(㉠)}{\text{팽압}(㉢)}=\frac{P}{P}=1$이고, V_3일 때 $\frac{\text{삼투압}(㉡)}{\text{팽압}(㉢)}=1$이므로 두 값은 같다.

05 꼼꼼 문제 분석



X를 ㉠에 넣은 이후 세포의 부피가 감소하므로 물의 유출량이 유입량보다 많다. ➡ ㉠은 고장액이다.

X를 ㉡에 넣은 이후 세포의 부피가 증가하므로 물의 유입량이 유출량보다 많다. ➡ ㉡은 저장액이다.

ㄴ. t_1일 때는 X를 용액에 넣기 전이고, t_2일 때는 고장액(㉠)에서 물이 빠져나간 후 저장액(㉡)으로 옮겨져 일부 물이 다시 들어왔으나, 여전히 t_1일 때보다 X의 부피가 감소한 상태이다. 이때 세포 내부의 용질 농도는 t_1일 때보다 t_2일 때가 크므로, X의 삼투압은 t_1일 때보다 t_2일 때가 크다.

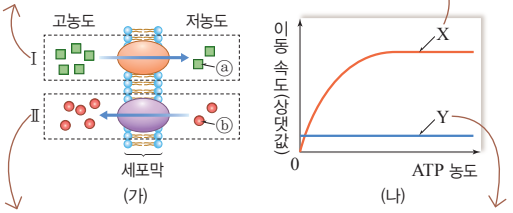
바로알기 ㄱ. ㉠은 고장액, ㉡은 저장액이므로 $C_1>C_2$이다.

ㄷ. 구간 I에서 X의 부피는 감소하고 있으므로 세포 밖으로 빠져나가는 물의 양이 세포 안으로 들어오는 물의 양보다 많다.

06 꼼꼼 문제 분석

물질이 고농도에서 저농도로 이동하며 수송단백질이 이용된다. ➡ I은 촉진확산이다.

X의 이동 속도는 ATP의 영향을 받는다. ➡ X는 ⓑ이다.



물질이 저농도에서 고농도로 이동하며 수송단백질이 이용된다. ➡ Ⅱ는 능동수송이다.

Y의 이동 속도는 ATP의 영향을 받지 않는다. ➡ Y는 ⓐ이다.

ㄱ. X는 능동수송(Ⅱ)에 의해 세포막을 통과하는 ⓑ이고, Y는 촉진확산(I)에 의해 세포막을 통과하는 ⓐ이다.

ㄷ. 토양 속 암모늄 이온(NH_4^+)과 같은 무기양분이 식물의 뿌리털로 흡수되는 방식은 능동수송(Ⅱ)에 해당한다.

바로알기 ㄴ. I은 촉진확산, Ⅱ는 능동수송이다.

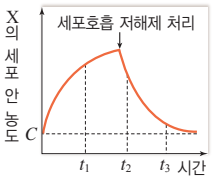
07

ㄴ. 'ATP가 소모된다.'는 능동수송과 세포내섭취의 특징이고, '물질이 막단백질을 통해 이동한다.'는 촉진확산과 능동수송의 특징이며, '소낭을 만들어 물질을 이동시킨다.'는 세포내섭취만 갖는 특징이다. 따라서 C가 촉진확산이고, ㉠은 '물질이 막단백질을 통해 이동한다.', ㉡은 'ATP가 소모된다.', ㉢은 '소낭을 만들어 물질을 이동시킨다.'이므로, A는 능동수송, B는 세포내섭취이다.

ㄷ. 미생물이나 세포 조각 같은 크기가 큰 고체 물질을 세포 안으로 이동시키는 식세포작용과 액체 상태의 물질을 세포 안으로 이동시키는 음세포작용은 세포내섭취(B)에 해당한다.

바로알기 ㄱ. A는 능동수송이고, C가 촉진확산이다.

08 꼼꼼 문제 분석



이동 방식	예
I 촉진확산	K^+ 통로를 통한 K^+의 이동
Ⅱ 능동수송	Na^+-K^+ 펌프를 통한 K^+의 이동

- 0~세포호흡 저해제 처리 시점: X는 주로 능동수송에 의해 세포 밖에서 안으로 이동하고, 일부는 촉진확산에 의해 세포 안에서 밖으로 이동한다.
- 세포호흡 저해제 처리 이후: ATP 생성이 저해되므로 능동수송이 억제된다. ➡ X는 주로 촉진확산에 의해 세포 안에서 밖으로 이동한다.

ㄷ. t_2일 때와 t_3일 때 세포 안에서 밖으로의 X의 이동 속도는 촉진확산에 의한 이동 속도이다. 그래프에서 t_2일 때의 접선의 기울기가 t_3일 때의 접선의 기울기보다 크므로, 세포 안에서 밖으로의 X의 이동 속도는 t_2일 때가 t_3일 때보다 빠르다.

바로알기 ㄱ. t_1일 때 X는 촉진확산(I)에 의해 세포 안에서 밖으로 이동하고, 능동수송(Ⅱ)에 의해 세포 밖에서 안으로 이동한다.

ㄴ. t_1일 때 X의 세포 안 농도와 C의 차가 t_3일 때 X의 세포 안 농도와 C의 차보다 크므로, t_1일 때 X의 세포 안과 밖의 농도 차는 t_3일 때 X의 세포 안과 밖의 농도 차보다 크다.

중단원 핵심 정리 63쪽~64쪽

① 전자선 ② 세포분획법 ③ 라이보솜 ④ 거친면
⑤ 매끈면 ⑥ 골지체 ⑦ 세포호흡 ⑧ 광합성 ⑨ 라이소솜
⑩ 중심체 ⑪ 원핵 ⑫ 진핵 ⑬ 인지질 이중층 ⑭ 막단백질
⑮ 선택적 투과성 ⑯ 단순확산 ⑰ 촉진확산 ⑱ 물
⑲ 팽윤 ⑳ 원형질분리 ㉑ 능동수송 ㉒ 세포내섭취
㉓ 세포외배출

중단원 마무리 문제 65쪽~68쪽

01 ⑤	02 ③	03 ④	04 ①	05 ⑤	06 ⑤
07 ②	08 ③	09 ④	10 ③	11 ③	12 ①
13 ③	14 ②	15 ④	16 ④	17 해설 참조	
18 해설 참조					

01 A. 자기방사법은 방사성 동위원소로 표지된 화합물을 공급한 후 방사성 동위원소에서 방출되는 방사선을 추적하는 방법이다.
B. 광학 현미경은 대물렌즈와 접안렌즈를 통해 가시광선을 굴절시켜 상을 확대한다.
C. 세포분획법은 원심분리기의 회전 속도와 시간을 다르게 하여 세포소기관을 크기와 밀도에 따라 분리하는 방법이다.

02 ㄱ. 광학 현미경(가)을 이용하면 살아 있는 세포의 모양과 크기를 관찰할 수 있다.
ㄴ. 투과 전자 현미경(나)은 얇게 자른 시료의 단면에 전자선을 투과시켜 시료 단면의 확대된 영상을 얻는다.
바로알기 ㄷ. 주사 전자 현미경(다)은 금속으로 코팅한 시료 표면에 전자선을 주사하여 시료 표면의 입체 영상을 얻는다. 따라서 투과 전자 현미경(나)은 세포 내부의 미세 구조를 연구하는 데 적합하고, 주사 전자 현미경(다)은 세포의 표면이나 외부 형태를 연구하는 데 적합하다.

03 A는 핵, B는 마이토콘드리아, C는 소포체이다.
ㄱ. 핵(A)에는 유전물질인 DNA가 히스톤 단백질과 결합되어 있으며, 마이토콘드리아(B)에는 자체 DNA와 세포호흡에 관여하는 효소가 있다.
ㄷ. (나)에서 핵이 가라앉아 분리되고, 상층액 ㉠에 마이토콘드리아, 소포체 등이 포함되어 있다. 이후 (다)에서 마이토콘드리아가 가라앉아 분리되고, 상층액 ㉡에 소포체 등이 포함되어 있다. 따라서 ㉠에는 마이토콘드리아와 소포체가 있고, ㉡에는 소포체가 있다.
바로알기 ㄴ. ATP는 마이토콘드리아(B)의 세포호흡 과정에서 합성된다.

04 ② 중심체(B)는 직각으로 배열된 중심립 2개로 구성되며, 중심립은 미세소관 다발로 이루어져 있다.
③ 마이토콘드리아(C)에는 자체 DNA와 라이보솜이 있어 마이토콘드리아(C)는 DNA를 복제하고 단백질을 합성하며 스스로 증식할 수 있다.
④ 골지체(D)는 납작한 주머니 모양의 시스터나가 쌓여 있는 모양이다.
⑤ 라이보솜(E)은 rRNA와 단백질로 구성된 작은 알갱이 모양이며, 세포 내에서 거친면소포체에 붙어 있거나 세포질에 흩어져 있다.
바로알기 ① 핵(A)과 마이토콘드리아(C)는 모두 내막과 외막으로 구성된 이중막 구조이다.

05 ㄱ. 라이보솜(A)은 DNA의 유전정보에 따라 단백질을 합성하므로, 단백질이 활발하게 합성되는 세포에서 많이 발견된다.
ㄴ. 라이보솜(A)이 붙어 있는 거친면소포체(B)의 막 일부는 핵막과 연결되어 있다.
ㄷ. 라이보솜(A)이 붙어 있지 않은 매끈면소포체(C)는 인지질과 스테로이드 합성, 탄수화물 대사, 독성 물질 해독, 칼슘 이온 저장 등의 역할을 한다.

06 ㄴ. 라이소솜(B)에는 단백질, 탄수화물, 지질, 핵산 등을 분해하는 여러 종류의 가수분해효소가 들어 있다.
ㄷ. (가) 과정은 세포 안에 있는 소낭이 세포막과 융합하면서 소낭 속 물질을 세포 밖으로 내보내는 세포외배출이며, 이 과정에서 에너지가 소모된다.
바로알기 ㄱ. 라이소솜(B)이 골지체(A)의 일부가 떨어져 나와 만들어진 것이다.

07 ㄷ. 모든 세포는 DNA, 라이보솜, 세포막을 가지므로, 대장균과 사람의 신경세포도 모두 라이보솜을 갖는다.
바로알기 ㄱ. 대장균은 원핵세포에 속하며, 엽록체, 소포체, 마이토콘드리아와 같은 막으로 둘러싸인 세포소기관을 갖지 않는다.
ㄴ. 진핵세포 중 동물 세포에 속하는 사람의 신경세포는 세포벽을 갖지 않는다.

08 꼼꼼 문제 분석

방사선이 모두 검출되었다. ➡ A는 거친면소포체이다.
정상 세포의 C에서 방사선이 가장 많이 검출되었다. ➡ C는 분비 소낭이다.

구분	거친면소포체 A	골지체 B	분비 소낭 C
정상 세포	+	+	++
세포 Ⅰ	+	+++	−
세포 Ⅱ	++++	−	−

(+: 많을수록 방사선이 많이 검출됨, −: 방사선이 검출되지 않음)

- 세포 Ⅰ: 단백질이 거친면소포체(A)에서 골지체(B)로 이동하였으나, 골지체(B)에서 분비 소낭(C)으로 이동하는 과정에 문제가 생겨 골지체(B)에 단백질이 축적되어 있다.
- 세포 Ⅱ: 단백질이 거친면소포체(A)에서 골지체(B)로 이동하는 과정에 문제가 생겨 거친면소포체(A)에 단백질이 축적되어 있다.

단백질은 라이보솜에서 합성되어 거친면소포체, 골지체, 분비 소낭을 거쳐 세포 밖으로 분비된다. 정상 세포, Ⅰ, Ⅱ의 A에서 공통적으로 방사선이 검출되었으므로 A는 합성된 단백질이 이동하는 경로의 시작점인 거친면소포체이다. 또한 정상 세포의 C에서 방사선이 가장 많이 검출되었으므로 C는 합성된 단백질이 이동하는 경로의 종착점인 분비 소낭이다. 따라서 B는 골지체이다.
ㄱ. 단백질의 이동 경로 추적에 방사성 동위원소를 이용한 자기방사법이 이용되었다.
ㄴ. 세포 Ⅰ은 단백질이 골지체(B)에서 분비 소낭(C)으로 이동하는 과정에 이상이 있어 골지체(B)에 단백질이 축적된 상태이다.
ㄷ. 세포 Ⅱ는 거친면소포체(A)의 기능 이상으로 단백질이 거친면소포체(A)에서 골지체(B)로 이동하는 과정에 이상이 있어 거친면소포체(A)에 단백질이 축적된 상태이다.
바로알기 ㄹ. 정상 세포에서 합성된 단백질은 거친면소포체(A) → 골지체(B) → 분비 소낭(C)의 경로로 분비된다.

09 ㄱ. 세포골격의 굵기를 비교하면 미세소관 > 중간섬유 > 미세섬유 순이므로, A는 미세섬유, B는 중간섬유, C는 미세소관이다.
ㄷ. 세포골격은 세포의 형태를 유지하고, 세포소기관의 이동에 관여하며, 세포의 운동을 담당한다.
바로알기 ㄴ. 중간섬유(B)는 세포의 형태를 유지하고 핵과 세포소기관의 위치를 고정하는 데 관여한다. 섬모, 편모, 중심체를 구성하는 세포골격은 미세소관(C)이다.

10 ㄱ. 세포막은 특정 물질만 선택적으로 출입시킴으로써 세포 안팎으로 드나드는 물질의 출입을 조절한다.
ㄷ. 세포막에서 인지질(B)은 친수성 머리 부분이 막의 양쪽 바깥을 향하고, 소수성 꼬리 부분은 서로 마주 보며 배열하여 이중층을 이룬다.
바로알기 ㄴ. 세포막의 막단백질(A)과 인지질(B)은 일반적으로 특정 위치에 고정되어 있지 않고 어느 정도 자유롭게 움직이는 유동성을 갖는다.

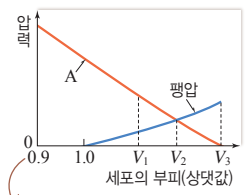
11 Ⅰ은 단순확산, Ⅱ는 능동수송이다.
ㄱ. (나)에서 ㉠은 세포 안팎의 농도가 C로 같았으나, 시간이 지날수록 세포 안팎의 농도 차가 증가하므로 ㉠의 이동 방식은 능동수송(Ⅱ)이다.
ㄴ. 배양액 속 ㉠은 세포 밖에서 안으로 능동수송에 의해 이동하므로, 배양액의 ㉠ 농도는 t_1일 때가 t_2일 때보다 높다.
바로알기 ㄷ. 포도당, 아미노산과 같이 크기가 비교적 큰 친수성 물질은 세포막을 직접 통과하기 어려워 세포막에 있는 막단백질을 통해 이동한다.

12 ㄱ. Ⅰ은 세포 안 물질을 막으로 감싸 소낭을 만들어 세포 밖으로 내보내는 방식인 세포외배출이고, Ⅱ는 물질이 세포막에 있는 수송단백질을 통해 확산하는 촉진확산이다.
바로알기 ㄴ. 형질세포에서 항체가 분비되는 방식은 세포외배출(Ⅰ)에 해당한다.
ㄷ. 세포외배출(Ⅰ)에는 에너지가 사용되지만, 촉진확산(Ⅱ)에는 에너지가 사용되지 않는다.

13 ㄱ. 백혈구의 식세포작용에서 세포 안으로 세균이 이동하는 과정은 세포내섭취에 해당하므로 ATP가 소모된다.
ㄴ. 등장액에 있던 적혈구를 증류수(저장액)에 넣으면 적혈구 안으로 이동하는 물의 양이 많아 부피가 점점 커지다가 세포막이 터지는 용혈 현상이 나타나기도 한다.
바로알기 ㄷ. 산소와 이산화 탄소는 크기가 작고 극성이 없는 물질로, 세포막의 인지질 이중층을 직접 통과하여 단순확산에 의해 이동한다. 따라서 허파꽈리와 모세혈관 사이에서 산소와 이산화 탄소는 단순확산에 의해 세포막을 통과한다.

14 ㄴ. Ⅰ에서 달걀을 넣기 전 NaCl 용액의 부피가 달걀을 꺼낸 후 NaCl 용액의 부피보다 크므로 달걀의 반투과성막을 통해 물이 달걀 내부로 들어간 것이다. 즉, Ⅰ의 달걀에서 반투과성막을 통해 달걀 내부로 유입된 물의 양은 외부로 유출된 물의 양보다 많다.
바로알기 ㄱ. Ⅰ과 Ⅲ에서 모두 달걀을 넣기 전보다 달걀을 꺼낸 후 NaCl 용액의 부피가 감소했으며, 변화량은 Ⅰ보다 Ⅲ에서 크다. 달걀을 넣기 전 NaCl 용액의 농도가 낮을수록 삼투에 의해 달걀 내부로 이동하는 물의 양이 많아져 달걀을 꺼낸 후 NaCl 용액의 부피가 크게 감소한다. 따라서 달걀을 넣기 전, NaCl 용액의 농도는 Ⅱ > Ⅰ > Ⅲ이다.
ㄷ. Ⅲ에 넣은 달걀에서 반투과성막을 통한 물 분자의 이동에는 ATP가 사용되지 않는다.

15 꼼꼼 문제 분석



- X의 내부로 물이 들어오면 삼투압은 감소하고, 팽압은 증가하여 흡수력(=삼투압−팽압)은 감소한다.
- 삼투압은 0이 되지 않으며, X의 부피가 V_3일 때 A는 0이다.

➡ A는 흡수력이다.

X의 부피가 0.9에서 V_3까지 커졌으므로 X로 물이 들어와 세포의 부피가 증가한 것이다. ➡ ㉠의 농도는 ㉡보다 높다.

ㄱ. 설탕 용액의 농도는 ㉠이 ㉡보다 높다.
ㄷ. V_3일 때는 X의 부피가 최대인 최대 팽윤상태이다.

바로알기 ㄴ. 세포의 팽압은 V_1일 때가 V_2일 때보다 작고, 삼투압(=흡수력+팽압)은 V_1일 때가 V_2일 때보다 크다. 따라서 X의 $\frac{\text{팽압}}{\text{삼투압}}$은 V_1일 때가 V_2일 때보다 작다.

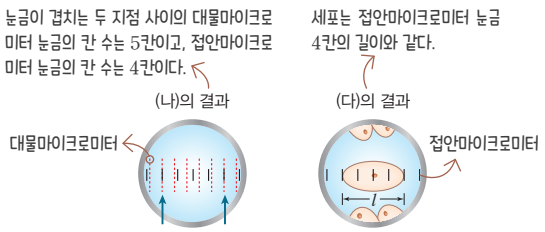
16 Ⅰ은 세 가지 특징을 모두 갖지 않는 단순확산, Ⅱ는 '막단백질을 이용한다.'는 특징 한 개를 갖는 촉진확산, Ⅲ은 세 가지 특징을 모두 갖는 능동수송이다.

ㄴ. 능동수송(Ⅲ)은 '막단백질을 이용한다.', '저농도에서 고농도로 물질이 이동한다.', 'Na^+-K^+펌프를 통해 Na^+이 이동하는 방식이다.'의 특징을 모두 가지므로, ㉠은 3이다.

ㄷ. 능동수송(Ⅲ)은 에너지를 소모하는 이동 방식이므로, 세포호흡 저해제로 ATP 합성을 억제하면 능동수송(Ⅲ)도 억제된다.

바로알기 ㄱ. 콩팥에서 아미노산과 포도당이 재흡수되는 방식은 능동수송(Ⅲ)에 해당한다.

17 꼼꼼 문제 분석



대물렌즈의 배율을 2배로 높이면 현미경의 배율이 2배로 증가하여 대물마이크로미터의 상이 2배로 확대되어 보이지만, 접안마이크로미터의 눈금은 그대로이다. 따라서 접안마이크로미터 눈금 한 칸의 길이는 $\frac{1}{2}$배로 감소한다.

모범 답안 (1) (나)에서 접안마이크로미터 눈금 한 칸의 길이는 $\frac{\text{대물마이크로미터 눈금의 칸 수}}{\text{접안마이크로미터 눈금의 칸 수}} \times 10\ \mu m = \frac{5}{4} \times 10\ \mu m = 12.5\ \mu m$이다. 접안마이크로미터 눈금 한 칸의 길이는 현미경의 배율 변화에 반비례하므로 (다)에서 접안마이크로미터 눈금 한 칸의 길이는 $12.5\ \mu m \times \frac{1}{2} = 6.25\ \mu m$이다.

(2) (다)에서 세포 1개는 접안마이크로미터의 눈금 4칸과 겹치므로, 세포의 크기(l)는 $6.25\ \mu m \times 4 = 25\ \mu m$이다.

채점 기준		배점
(1)	(나)와 (다)에서의 접안마이크로미터 눈금 한 칸의 길이를 풀이 과정과 함께 모두 옳게 서술한 경우	60 %
	(나)와 (다)에서의 접안마이크로미터 눈금 한 칸의 길이 중 한 가지만 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	30 %
	(나)와 (다)에서의 접안마이크로미터 눈금 한 칸의 길이만 옳게 구한 경우	10 %
(2)	세포의 크기를 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	40 %
	세포의 크기만 옳게 구한 경우	10 %

18 작은창자 내부에 있는 물질은 작은창자의 상피세포를 거쳐 모세혈관 속 혈액으로 흡수된다. 구간 (가)에서는 작은창자 내부(저농도)에서 작은창자의 상피세포(고농도)로 물질이 능동수송 방식으로 이동하고, (나)에서는 작은창자의 상피세포(고농도)에서 혈액(저농도)으로 물질이 확산 방식으로 이동한다.

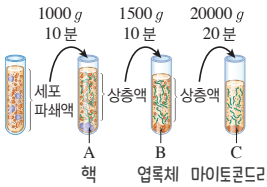
모범 답안 (가), 물질이 능동수송에 의해 저농도에서 고농도로 이동할 때 에너지가 사용되므로 A가 능동수송으로 이동하는 (가)에서 에너지가 소모된다.

채점 기준	배점
(가)를 쓰고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
(가)만 옳게 쓴 경우	30 %

중단원 고난도 문제 69쪽

01 ⑤ **02** ③ **03** ①

01 꼼꼼 문제 분석



핵, 엽록체, 마이토콘드리아는 모두 DNA를 가지고 있다. ➡ ⓐ는 '○'이다.

구분	㉠ 엽록체	㉡ 핵	㉢ 마이토콘드리아
DNA	?○	○	ⓐ ○
크리스타	×	?×	○
타이라코이드	ⓑ ○	×	×

(○: 있음, ×: 없음)

크리스타는 마이토콘드리아에서만 볼 수 있는 구조이고, 타이라코이드는 엽록체에서만 볼 수 있는 구조이다. ➡ ㉠은 엽록체, ㉡은 핵, ㉢은 마이토콘드리아이고, ⓑ는 '○'이다.

선택지 분석

ㄱ. ㉡은 A이다.

ㄴ. ⓐ와 ⓑ는 모두 '○'이다.

ㄷ. 산소 소비량은 ㉢에서가 ㉠에서보다 많다.

전략적 풀이 ❶ 세포벽을 제거한 식물 세포에서 세포소기관이 세포분획되는 순서를 알고, 각 세포소기관의 특징을 이해한다.

ㄱ, ㄴ. 원심분리기의 회전 속도가 빨라지고 회전 시간이 길어질수록 작고 가벼운 세포소기관이 분리되므로 A는 핵, B는 엽록체, C는 마이토콘드리아이다. 또한 핵, 엽록체, 마이토콘드리아는 모두 DNA를 가지며, 크리스타는 마이토콘드리아의 구조적 특징이고 타이라코이드는 엽록체의 구조적 특징이므로, ㉠은 엽록체, ㉡은 핵, ㉢은 마이토콘드리아이다. 따라서 ㉠은 B, ㉡은 A, ㉢은 C이고, ⓐ와 ⓑ는 모두 '○'이다.

❷ 마이토콘드리아의 세포호흡 과정에 대해 생각해 본다.

ㄷ. 마이토콘드리아는 산소를 이용해 유기물을 분해하여 에너지를 얻는 세포호흡을 하므로, 산소 소비량은 핵, 엽록체, 마이토콘드리아 중 마이토콘드리아(㉢, C)에서 가장 많다.

02 꼼꼼 문제 분석

- Ⅰ과 Ⅱ의 안쪽에 증류수를 넣은 후 각각 ㉠ 수용액에 넣었으므로 ㉠의 농도는 리포솜 밖에서가 안에서보다 높다.
- ⓐ와 ⓑ에서 ㉠ 수용액의 농도가 높아질수록 ㉠의 이동 속도가 빨라진다. ➡ ㉠은 리포솜 밖에서 안으로 농도 기울기에 따라 확산하는 물질이다.
- ⓑ: ⓑ를 통한 ㉠의 이동 속도는 ㉠ 수용액의 농도가 높아짐에 따라 계속 증가한다. ➡ ⓑ를 통한 ㉠의 이동 방식은 단순확산이다.
- ⓐ: ⓐ를 통한 ㉠의 이동 속도는 ㉠ 수용액의 농도가 높아짐에 따라 증가하다가 일정 농도 이상에서 그래프의 기울기가 완만해진다. ➡ ⓐ를 통한 ㉠의 이동 방식은 수송단백질을 통한 촉진확산과 단순확산이다.

∴ ⓐ는 Ⅱ, ⓑ는 Ⅰ이며, ㉠은 단순확산과 촉진확산에 의해 이동하는 물질이다.

선택지 분석

㉠ Ⅰ과 Ⅱ의 막은 인지질 이중층 구조이다.

㉡ ㉠ 수용액의 농도가 C_1일 때 ⓐ와 ⓑ를 통한 ㉠의 이동 속도가 다른 까닭은 X 때문이다.

~~㉢~~. Ⅱ에서 ㉠의 이동 방식은 Na^+-K^+펌프를 통한 K^+의 이동 방식과 같다. 같지 않다

전략적 풀이 ❶ 리포솜의 특징을 생각해 본다.

ㄱ. 리포솜은 인지질 이중층으로 이루어진 막으로 둘러싸여 있는 인공 구조물이다.

❷ 단순확산과 촉진확산의 차이점을 이해한다.

ㄴ. C_1일 때 ⓐ와 ⓑ를 통한 ㉠의 이동 속도가 다른 까닭은 막단백질 X의 삽입 여부가 다르기 때문이다. X가 삽입된 Ⅱ(ⓐ)에서는 ㉠이 주로 촉진확산에 의해 이동하므로 물질 이동 속도가 빠르고, X가 삽입되지 않은 Ⅰ(ⓑ)에서는 ㉠이 단순확산에 의해 이동하므로 물질 이동 속도가 느리다.

❸ 확산과 능동수송으로 이동하는 물질의 예를 생각해 본다.

ㄷ. Na^+-K^+펌프를 통한 K^+의 이동 방식은 능동수송이므로, ㉠의 이동 방식과 같지 않다.

03 꼼꼼 문제 분석

삼투에 의해 물이 세포 밖으로 빠져나가 X의 부피가 빠르게 감소하였다. 이후 감소한 X의 부피는 회복되지 않았다.
➡ ㉠은 '세포막을 통과할 수 없는 물질'이다.

삼투에 의해 물이 세포 밖으로 빠져나가 Y의 부피가 빠르게 감소한 후 다시 증가하였다.
➡ '세포막을 통과할 수 있는 물질'인 ㉡이 B와 Y 내액의 농도 차에 따라 세포 밖에서 안으로 이동하면서 물이 삼투에 의해 유입되었기 때문이다.

선택지 분석

㉠ (나)에서 A의 농도는 X 내액의 농도보다 높다.

~~㉡~~. X의 삼투압은 t_1일 때가 t_2일 때보다 크다. 작다

~~㉢~~. Y에 들어 있는 ㉡의 양은 t_3일 때가 t_4일 때보다 많다. 적다

전략적 풀이 ❶ 삼투의 원리에 대해 생각해 본다.

ㄱ. X를 A에 넣은 이후 X의 부피가 감소한 것은 삼투에 의해 물이 세포 밖으로 빠져나갔기 때문이다. 따라서 ㉠이 들어 있는 A의 농도는 X 내액의 농도보다 높다는 것을 알 수 있다.

❷ 삼투에 의한 세포의 압력과 부피 변화를 이해한다.

ㄴ. X의 부피는 X를 A에 넣기 전인 t_1일 때보다 넣은 후인 t_2일 때가 작다. 세포 밖으로 물이 빠져나가 세포의 부피가 감소하면 세포 내액의 농도가 높아져 삼투압이 증가하므로, X의 삼투압은 t_2일 때가 t_1일 때보다 크다.

❸ 확산의 원리를 생각해 본다.

ㄷ. ㉡은 '세포막을 통과할 수 있는 물질'이다. 농도 차에 의해 B에 들어 있는 ㉡이 Y 안으로 확산되어 들어오므로, 시간이 지날수록 Y에 들어 있는 ㉡의 양은 증가한다. 따라서 Y에 들어 있는 ㉡의 양은 t_4일 때가 t_3일 때보다 많다.

Ⅱ 물질대사와 에너지

1 물질대사와 에너지

01 / 물질대사와 에너지 균형

개념 확인 문제 74쪽

❶ 물질대사 ❷ 기초 ❸ 활동 ❹ 1일 ❺ 에너지 소비량

1 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) ○ **2** ㉠ 크고 복잡한, ㉡ 작고 단순한, ㉢ 분해, ㉣ 방출 **3** ㄱ, ㄴ, ㄷ **4** (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ○ **5** 지방

1 (1), (2) 물질대사는 효소가 관여하여 일어나며, 반응이 단계적으로 일어난다.
(3) 동화작용은 작은 분자들을 결합하여 큰 분자로 합성하는 반응으로, 에너지가 흡수되는 흡열 반응이다.
(4) 큰 분자를 작은 분자로 분해하는 반응은 이화작용에 해당하며, 에너지가 방출되는 발열 반응이다.
(5) 녹말의 소화, 글라이코젠의 분해 등이 이화작용에 해당한다.

2 세포호흡은 포도당을 이산화 탄소와 물로 분해하는 과정으로, 반응이 일어날 때 에너지가 방출되는 발열 반응이다. 따라서 한 분자당 에너지양은 반응물인 포도당이 생성물인 이산화 탄소와 물보다 많다.

3 기초대사량은 호흡운동, 심장박동, 체온 유지, 혈액 순환 등과 같이 생명 현상을 유지하는 데 필요한 최소한의 에너지양이다.

4 (1) 기초대사량은 체중, 성별, 나이 등에 따라 다르다.
(2) 1일 대사량은 하루에 필요한 에너지양으로, 기초대사량, 활동대사량, 음식물의 소화·흡수에 필요한 에너지양을 모두 합한 것이다.
(3) 에너지 섭취량보다 에너지 소비량이 많은 에너지 부족 상태가 지속되면 체중이 감소하고, 심하면 영양실조나 성장 장애 등의 증상이 나타날 수 있다.
(4) 에너지 섭취량이 에너지 소비량보다 많은 에너지 과잉 상태가 지속되면 체중이 증가하고, 체지방이 지나치게 쌓여 비만이 나타날 수 있다.
(5) 건강한 생활을 유지하기 위해서는 에너지 섭취량과 에너지 소비량이 서로 균형을 이루어야 한다.

5 사람은 음식물을 섭취하여 생명활동에 필요한 에너지를 얻는다. 에너지 섭취량이 에너지 소비량보다 많으면 우리 몸은 사용하고 남은 에너지를 주로 지방의 형태로 저장한다. 반면 에너지 섭취량이 에너지 소비량보다 적으면 우리 몸은 몸을 구성하는 지방이나 단백질을 분해하여 필요한 에너지를 얻는다.

대표 자료 분석 75쪽

1 Ⅰ **2** (1) 동화작용 (2) 흡열 반응 (3) 방출 (4) 작고 단순한 (5) 적다 **3** ㄷ, ㄹ **4** (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) × (6) ○

1 (나)에서 반응물이 생성물보다 에너지양이 적으므로 반응이 진행되면서 에너지가 흡수된다. 따라서 (나)는 흡열 반응인 동화작용(Ⅰ)이 일어날 때의 에너지 변화이다.

2 (1), (2) Ⅰ은 작고 단순한 아미노산을 결합하여 크고 복잡한 단백질을 합성하는 과정이므로 Ⅰ에서 동화작용이 일어난다. 동화작용은 에너지가 흡수되는 흡열 반응이다.
(3) Ⅱ는 크고 복잡한 단백질을 작고 단순한 아미노산으로 분해하는 과정이므로 Ⅱ에서 이화작용이 일어난다. 이화작용이 일어날 때는 크고 복잡한 물질에 저장되어 있던 에너지가 방출된다.
(4) 단백질은 여러 개의 아미노산이 결합한 물질로, 아미노산은 단백질보다 작고 단순한 물질이다.
(5) (나)에서 반응물의 에너지양이 생성물의 에너지양보다 적으므로 반응이 일어날 때 에너지가 흡수된다.

3 ㄱ, ㄴ. 이화작용에 해당하므로, 반응이 일어나면서 에너지가 방출된다.
ㄷ, ㄹ. 동화작용에 해당하므로, 반응이 일어나면서 (나)와 같은 에너지 변화가 나타난다.

4 (1) 물질대사는 생명체에서 생명을 유지하기 위해 일어나는 모든 화학 반응이다.
(2) 물질대사가 일어날 때는 반드시 에너지가 흡수되거나 방출된다.
(3) Ⅰ은 여러 아미노산이 결합하여 단백질로 합성되는 반응이다.
(4) 물질대사가 일어날 때는 항상 효소가 관여하므로, Ⅱ에서 효소가 이용된다.

(5) Ⅱ에서 한 분자당 에너지양은 반응물(단백질)이 생성물(아미노산)보다 크므로 $\frac{\text{반응물의 한 분자당 에너지양}}{\text{생성물의 한 분자당 에너지양}}$은 1보다 크다.

(6) 광합성은 작고 단순한 물질인 이산화 탄소와 물을 크고 복잡한 물질인 포도당으로 합성하는 과정으로 동화작용에 해당하므로, (나)와 같은 에너지 변화가 일어난다.

내신 만점 문제

76쪽~77쪽

01 ⑤ 02 ④ 03 해설 참조 04 ⑤ 05 ③
06 ①, ④ 07 ㄱ, ㄷ 08 ② 09 ② 10 ①

01 ㄱ. 생명체는 물질대사를 통해 몸의 구성 물질이나 생리작용을 조절하는 데 필요한 물질을 생성하고 에너지를 얻는다.
ㄴ. 물질대사 과정에는 반드시 에너지 출입이 함께 일어난다.
ㄷ. 여러 단계에 걸쳐 물질대사가 일어날 때, 각 단계마다 특정한 효소가 작용한다. 이때 각 단계의 반응에서 생성된 물질은 다음 반응의 반응물로 작용한다.

02 ① (가)는 작고 단순한 물질을 크고 복잡한 물질로 합성하는 동화작용이다.
② 광합성은 이산화 탄소와 물을 포도당으로 합성하는 반응으로 동화작용(가)에 해당한다.
③ 동화작용(가)은 에너지가 흡수되는 흡열 반응으로, 반응물(작고 단순한 물질)의 에너지양은 생성물(크고 복잡한 물질)의 에너지양보다 적다.
⑤ 이화작용(나)은 에너지가 방출되는 발열 반응으로, 반응물의 에너지양은 생성물의 에너지양보다 많다.
바로알기 ④ (나)는 크고 복잡한 물질을 작고 단순한 물질로 분해하는 이화작용이다.

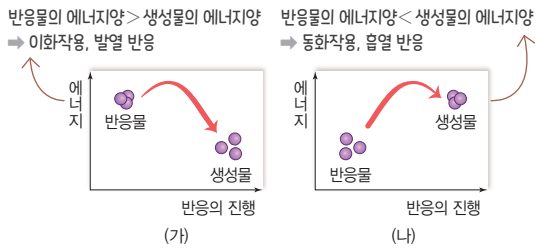
03 글라이코젠은 여러 개의 포도당이 결합한 물질로, 이를 분해하여 포도당을 얻을 수 있다.

모범 답안 이화작용, 크고 복잡한 물질인 글라이코젠을 작고 단순한 물질인 포도당으로 분해하는 과정이기 때문이다.

채점 기준	배점
이화작용이라고 쓰고, 크고 복잡한 물질을 작고 단순한 물질로 분해하는 과정이기 때문이라고 옳게 서술한 경우	100 %
이화작용이라고 쓰고, 물질이 분해되기 때문이라고만 서술한 경우	70 %
이화작용이라고만 쓴 경우	30 %

04 ㄱ. 녹말의 단위체는 포도당이며, 녹말은 소화 과정을 거쳐 포도당(㉠)으로 분해된다.
ㄴ. (가)에서 반응물인 녹말은 생성물인 포도당(㉠)보다 분자가 크고 복잡하다. 따라서 녹말이 포도당(㉠)으로 분해되는 과정에서는 에너지가 방출된다.
ㄷ. 단백질은 많은 수의 아미노산(㉡)이 결합되어 형성된다. 따라서 아미노산(㉡)을 단백질로 합성하는 과정에서 동화작용이 일어난다.

[05~06] 꼼꼼 문제 분석



05 ㄱ. (가)에서 생성물의 에너지양은 반응물의 에너지양보다 적으므로, (가)가 일어날 때는 에너지가 방출된다.
ㄷ. 생명체 내에서 물질대사가 일어날 때에는 항상 효소가 이용되므로, (가)와 (나)에서는 모두 효소가 이용된다.
바로알기 ㄴ. (나)는 생성물이 가진 에너지양이 반응물이 가진 에너지양보다 많으므로 동화작용이 일어날 때의 에너지 변화이다.

06 (나)는 흡열 반응으로, 동화작용에서의 에너지 변화이다.
① RNA는 여러 개의 뉴클레오타이드가 결합되어 형성된다. 따라서 뉴클레오타이드를 RNA로 합성하는 과정에서는 동화작용이 일어난다.
④ 이산화 탄소와 물로 포도당을 합성하는 과정에서는 동화작용이 일어난다.
바로알기 ② 카탈레이스에 의한 과산화 수소의 분해, ③ 세포호흡, ⑤ 영양소의 소화는 모두 이화작용에 해당하므로, 반응이 일어날 때 에너지가 방출된다.

07 ㄱ. 기초대사량은 생명 현상을 유지하는 데 필요한 최소한의 에너지양으로, 체중, 나이, 성별 등에 따라 다르다.
ㄷ. 활동대사량은 기초대사량 외에 다양한 신체 활동을 하는 데 필요한 에너지양이다.
바로알기 ㄴ. 아무 활동을 하지 않아도 심장박동, 호흡운동, 체온 유지 등 생명 현상을 유지하는 데 에너지가 소비된다.

08 ㄴ. (나)는 에너지 섭취량과 에너지 소비량이 서로 같은 에너지 균형 상태이다.

바로알기 ㄱ. (가)는 에너지 섭취량보다 에너지 소비량이 많은 에너지 부족 상태이다.

ㄷ. (다)는 에너지 섭취량이 에너지 소비량보다 많은 에너지 과잉 상태로, 이 상태가 지속되면 체중이 증가하고 비만이 나타날 수 있다.

09 ㄴ. 기초대사량은 호흡운동, 심장박동, 체온 유지 등 생명 현상을 유지하는 데 필요한 최소한의 에너지양이다.

바로알기 ㄱ. 활동대사량은 '1일 대사량−기초대사량−음식물의 소화·흡수에 필요한 에너지양'으로 구할 수 있다. 따라서 A의 활동대사량은 2200−1400−250=550 kcal이다.

ㄷ. A의 에너지 섭취량은 3200 kcal이고, 에너지 소비량은 2200 kcal이다. 에너지 섭취량이 에너지 소비량보다 많으므로 이 상태가 지속되면 남는 에너지가 주로 지방의 형태로 축적되어 체중이 증가하고 비만이 될 수 있다.

10 꼼꼼 문제 분석

❶ 1일 에너지 섭취량은 하루 동안 섭취한 음식물의 에너지양을 합산하여 구한다.

음식물	에너지양(kcal)	섭취량	음식물별 에너지 섭취량(kcal)
쌀밥 1공기	300	3공기	300×3=900
삶은 달걀 1개	100	4개	100×4=400
닭튀김 1조각	179	2조각	179×2=358
사과 1개	150	3개	150×3=450
탄산음료 1캔	125	2캔	125×2=250

➡ 1일 에너지 섭취량=2358 kcal

❷ 활동별 에너지 소비량은 체중 1 kg당 1시간 동안 소비되는 에너지양이므로 1일 에너지 소비량은 하루 동안 각 활동별로 소비한 에너지양(에너지 소비량×활동 시간×체중)을 합산하여 구한다.

구분	에너지 소비량 (kcal/kg·h)	활동한 시간(h)	하루 동안 활동별로 소비한 에너지양(kcal)
잠자기	0.9	9	0.9×9×60=486
서 있기	2.1	2	2.1×2×60=252
식사하기	1.6	2	1.6×2×60=192
TV 보기	1.1	2	1.1×2×60=132
달리기	8.4	1	8.4×1×60=504
공부하기	1.9	8	1.9×8×60=912

➡ 1일 에너지 소비량=2478 kcal

ㄴ. 만식이의 1일 에너지 섭취량은 1일 에너지 소비량보다 적으므로 $\frac{\text{1일 에너지 소비량}}{\text{1일 에너지 섭취량}}$은 1보다 크다.

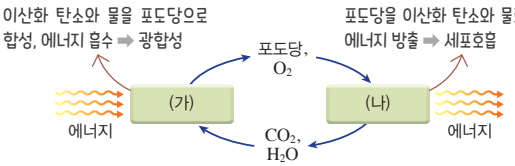
바로알기 ㄱ. 만식이의 1일 에너지 소비량은 2478 kcal이다.

ㄷ. 만식이가 하루 동안 가장 많은 에너지를 소비한 활동은 공부하기이다.

실력 UP 문제 78쪽

01 ④ 02 ⑤ 03 ① 04 ②

01 꼼꼼 문제 분석

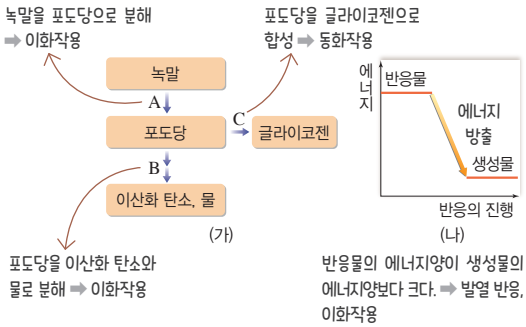


ㄴ. (나)는 포도당을 이산화 탄소와 물로 분해하는 세포호흡이고, 세포호흡은 이화작용에 해당한다. 이화작용이 일어날 때는 에너지가 방출된다.

ㄷ. 식물의 잎세포에서는 광합성(가)과 세포호흡(나)이 모두 일어난다.

바로알기 ㄱ. (가)는 이산화 탄소와 물을 포도당으로 합성하는 광합성이다. 동화작용이 일어날 때는 에너지가 흡수된다.

02 꼼꼼 문제 분석

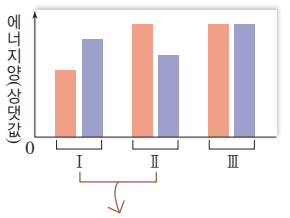


ㄱ. 녹말이 포도당으로 분해되는 과정(A)에서 이화작용이 일어나므로 반응이 일어날 때 에너지가 방출된다. 따라서 A에서는 (나)와 같은 에너지 변화가 일어난다.

ㄴ. 포도당이 이산화 탄소와 물로 분해되는 과정(B)에서 이화작용이 일어나므로, 이 과정에서 크고 복잡한 반응물(포도당)이 작고 단순한 생성물(이산화 탄소, 물)로 전환된다.

ㄷ. 포도당이 글라이코젠으로 합성되는 과정(C)에서 동화작용이 일어난다. 동화작용은 에너지가 흡수되는 흡열 반응으로, 한 분자당 에너지양은 반응물(포도당)이 생성물(글라이코젠)보다 적다.

03 꼼꼼 문제 분석



1일 에너지 섭취량
㉠
㉡
1일 에너지 소비량

사람	체중 변화
Ⅰ	감소함
Ⅱ	증가함
Ⅲ	ⓐ 변화 없음

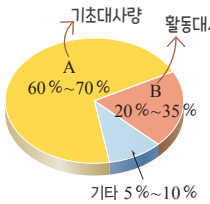
㉠보다 ㉡이 많은 Ⅰ은 체중이 감소하고, 반대로 ㉠이 ㉡보다 많은 Ⅱ는 체중이 증가했다. ➡ ㉠은 1일 에너지 섭취량이고, ㉡은 1일 에너지 소비량이다.

ㄱ. ㉠은 1일 에너지 섭취량, ㉡은 1일 에너지 소비량이다.

바로알기 ㄴ. Ⅲ은 1일 에너지 섭취량(㉠)과 1일 에너지 소비량(㉡)이 같은 에너지 균형 상태로, 이와 같은 상태가 오래 지속되어도 체중이 변하지 않는다.

ㄷ. Ⅱ는 1일 에너지 섭취량(㉠)이 에너지 소비량(㉡)보다 많은 에너지 과잉 상태이다.

04 꼼꼼 문제 분석



대사량	특징
A	체온을 유지하기 위해 필요한 에너지양이 포함된다.
B	㉠

- A: 체온 조절과 같은 생명 현상을 유지하는 데 필요한 최소한의 에너지양이다. ➡ 기초대사량
- B: 1일 대사량 중 기초대사량과 기타(음식물의 소화·흡수에 필요한 에너지양)를 제외한 에너지양이다. ➡ 활동대사량

ㄴ. 근육세포는 마이토콘드리아가 많고 대사 활동이 활발하여, 안정 상태에서도 ATP를 지속적으로 소비하므로 지방세포보다 에너지 소비량이 많다. 따라서 일반적으로 단위 체중당 근육량이 많은 사람이 적은 사람보다 기초대사량이 높으므로 운동을 하여 근육이 발달하면 기초대사량(A)이 높아진다.

바로알기 ㄱ. 체온 유지, 심장박동, 호흡운동과 같이 생명 현상을 유지하는 데 필요한 최소한의 에너지양은 기초대사량이므로, A는 기초대사량이다.

ㄷ. 활동대사량(B)에는 음식물의 소화·흡수에 필요한 에너지양이 포함되지 않는다.

02 생명활동과 에너지

개념 확인 문제 81쪽

❶ 빛에너지 ❷ 화학 에너지 ❸ 3 ❹ ADP

1 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ **2** (1) × (2) ○ (3) × (4) ○

1 (1) 광합성은 태양의 빛에너지를 흡수하여 이산화 탄소와 물을 포도당과 같은 유기물로 합성하는 과정이다. 이때 태양의 빛에너지는 포도당과 같은 유기물에 화학 에너지 형태로 저장된다.
(2) 세포호흡은 포도당을 이산화 탄소와 물로 분해하여 에너지를 얻는 과정으로, 크고 복잡한 물질을 작고 단순한 물질로 분해하는 이화작용에 해당한다.
(3) 세포호흡에서 방출된 에너지의 일부는 ATP에 저장되고, 나머지는 열로 방출된다.
(4) 광합성은 엽록체에서 일어난다. 세포호흡은 주로 마이토콘드리아에서 일어나며, 일부 과정은 세포질에서 진행된다.

2 (1) Ⅱ는 ㉠이 ㉡과 무기인산으로 분해되는 과정이므로, ㉠은 ATP이고, ㉡은 ADP이다.
(2) 마이토콘드리아에서는 세포호흡이 일어날 때 방출되는 에너지를 흡수하여 ADP(㉡)와 무기인산을 ATP(㉠)로 합성(Ⅰ)한다.
(3) ATP(㉠)가 분해(Ⅱ)될 때 방출되는 에너지는 여러 가지 형태의 에너지로 전환되어 다양한 생명활동에 이용된다.
(4) 세포분열 시 염색체가 이동할 때 ATP(㉠)에 저장된 에너지가 사용된다.

대표 자료 분석 82쪽

1 (가) 광합성 (나) 세포호흡 **2** (1) 엽록체 (2) 이화작용 (3) 방출된다 (4) 생성된다 **3** ㄱ, ㄴ, ㄷ, ㄹ **4** (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) × (6) × (7) ○ (8) ○

1 (가)는 태양의 빛에너지를 흡수하여 포도당을 합성하는 광합성이고, (나)는 포도당을 분해하여 에너지를 방출하는 세포호흡이다.

2 (1) 광합성(가)은 엽록체에서 일어난다.
(2) 세포호흡(나)은 포도당을 물과 이산화 탄소로 분해하는 이화작용에 해당한다.

(3) 세포호흡(나)에서 방출된 에너지를 흡수하여 ADP(ⓑ)와 무기인산이 ATP(ⓐ)로 재생된다. ATP(ⓐ)가 ADP(ⓑ)와 무기인산으로 분해될 때는 ATP(ⓐ)의 고에너지 인산 결합이 끊어지면서 에너지가 방출된다.
(4) 고에너지 인산 결합의 수는 ADP(ⓑ)가 1이고 ATP(ⓐ)가 2이므로, ADP(ⓑ)와 무기인산이 ATP(ⓐ)로 합성될 때 고에너지 인산 결합이 생성된다.

3 성장, 근육수축, 단백질의 합성, 세포분열 시 염색체 이동에는 ATP(ⓐ)가 이용된다.

4 (1) 광합성(가)에서 빛에너지가 포도당의 화학 에너지로 전환된다.
(2) 세포호흡(나)은 에너지가 방출되는 발열 반응이다.
(3) 광합성(가)과 세포호흡(나)과 같이 생명체에서 일어나는 화학 반응에는 효소가 관여한다.
(4) 식물의 잎 세포에는 엽록체와 마이토콘드리아가 모두 있어 광합성(가)과 세포호흡(나)이 모두 일어난다.
(5) 세포호흡(나)에서 방출된 에너지가 모두 ATP(ⓐ)에 저장되는 것은 아니다. 방출된 에너지 중 일부는 ATP에 저장되고 나머지는 열에너지로 방출된다.
(6) ADP(ⓑ)는 아데닌과 라이보스가 결합한 아데노신에 인산기 2개가 결합한 화합물이다.
(7) 세포막에서 Na^+-K^+펌프에 의한 Na^+의 이동은 능동수송에 의해 일어난다. 능동수송에는 ATP(ⓐ)가 분해될 때 방출되는 에너지가 이용된다.
(8) 태양의 빛에너지는 생명활동에 필요한 에너지의 근원이다.

내신 만점 문제

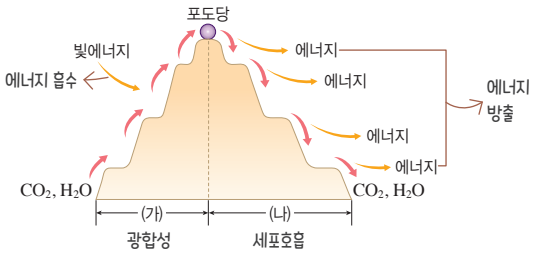
83쪽~84쪽

01 ① **02** ④ **03** ③ **04** ② **05** ㄴ, ㄷ **06** ㄷ
07 ⑤ **08** 해설 참조

01 ㄴ. 광합성이 일어나는 세포소기관은 엽록체(X)이다.
바로알기 ㄱ, ㄷ. 광합성은 빛에너지를 흡수하여 이산화 탄소와 물을 포도당과 같은 유기물로 합성하는 과정이며, 이 과정에서 산소가 생성된다. 따라서 ⓐ는 이산화 탄소이고, ⓑ는 산소이다.

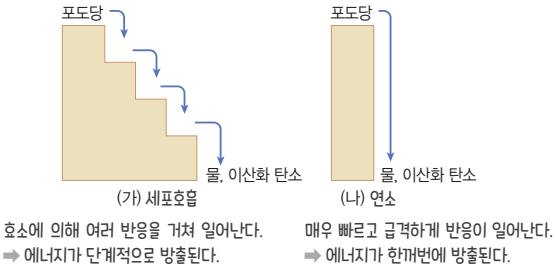
02 ㄱ. 생명체에서 물질대사는 효소가 관여하여 일어난다.
ㄷ. 생명활동에 필요한 물질의 합성과정에는 ATP(ⓐ)가 이용된다.
바로알기 ㄴ. 세포호흡을 통한 포도당의 최종 분해 산물은 이산화 탄소와 물이므로, ㉠은 이산화 탄소이다.

03 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 광합성(가)은 작고 단순한 물질인 이산화 탄소와 물을 크고 복잡한 물질인 포도당으로 합성하는 반응으로 동화작용에 해당한다.
ㄷ. 세포호흡(나) 과정에서 포도당에 저장되어 있던 에너지가 방출된다. 이때 방출된 에너지는 체온 유지, 물질 합성, 근육 운동, 정신 활동 등 다양한 생명활동에 이용된다.
바로알기 ㄴ. 세포호흡(나)에서 포도당의 화학 에너지는 ATP의 화학 에너지와 열에너지로 전환된다.

04 꼼꼼 문제 분석



ㄴ. 포도당이 생명체 밖에서 연소(나)될 때는 대부분 빛에너지와 열에너지 형태로 에너지가 방출된다.
ㄷ. 포도당이 세포호흡으로 분해(가)될 때는 효소에 의해 여러 단계를 걸쳐 반응이 일어나지만, 포도당이 연소(나)될 때는 반응이 빠르고 급격하게 일어난다. 따라서 반응 속도는 (가)에서가 (나)에서보다 느리다.
바로알기 ㄱ. (가)는 포도당이 세포호흡으로 분해되는 과정에서의 에너지 변화이다.
ㄹ. 포도당이 세포호흡으로 분해(가)될 때 방출되는 에너지양의 총합은 같은 양의 포도당이 연소(나)될 때 방출되는 에너지양과 같다.

05 발아 중인 콩에서는 세포호흡이 활발하게 일어나지만, 마른 콩에서는 세포호흡이 거의 일어나지 않는다. ㉠에서는 CO_2 농도와 온도가 변하지만 ㉡에서는 CO_2 농도와 온도가 거의 변하지

않으므로, ㉠은 발아 중인 콩을 넣은 A의 결과이고, ㉡은 마른 콩을 넣은 B의 결과이다.

ㄴ. A에서 발아 중인 콩이 세포호흡을 통해 유기물을 분해하여 CO_2를 생성하고 에너지를 방출한다. 이때 방출된 에너지의 일부가 열로 전환되어 주변 온도가 상승하였다. 따라서 A에서 이화작용이 일어난다.

ㄷ. 발아 중인 콩에서 유기물을 O_2와 반응시켜 CO_2와 물로 분해하는 세포호흡이 일어나므로 시간이 지날수록 주변의 O_2 농도가 낮아진다. 따라서 충분한 시간이 지난 후 O_2의 농도는 B에서가 A에서보다 높을 것이다.

바로알기 ㄱ. ㉡은 B의 결과이다.

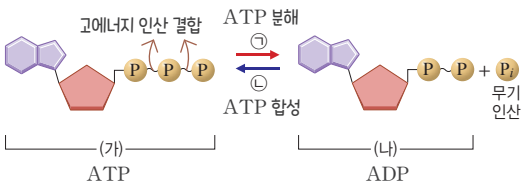
06 ATP는 아데닌(ⓐ)과 라이보스(ⓑ)에 3개의 인산기가 결합한 구조이다. 아데노신에 1개의 인산기가 결합한 ㉠은 AMP, 아데노신에 2개의 인산기가 결합한 ㉡은 ADP이다.

ㄷ. ADP(㉡)가 AMP(㉠)보다 고에너지 인산 결합의 수가 많으므로 한 분자당 에너지양은 ADP(㉡)가 AMP(㉠)보다 많다.

바로알기 ㄱ. ATP를 이루는 염기(ⓐ)는 아데닌이고, 당(ⓑ)은 라이보스이다. 디옥시라이보스는 라이보스보다 산소 원자 하나가 적은 당이다.

ㄴ. ㉠은 AMP이다.

07 꼼꼼 문제 분석



(가)는 ATP이고, (나)는 ADP이다.

ㄱ. ㉠은 ATP(가)가 ADP(나)와 무기인산으로 분해되면서 에너지가 방출되는 과정이다.

ㄴ. ㉡은 ADP(나)와 무기인산이 세포호흡에서 방출된 에너지를 흡수하여 ATP(가)로 합성되는 과정이다.

ㄷ. ATP(가)는 한 분자당 고에너지 인산 결합의 수가 2이고, ADP(나)는 한 분자당 고에너지 인산 결합의 수가 1이다.

08 ATP는 물질 합성, 능동수송, 기계적인 활동 등 생명활동에 직접적으로 사용되는 에너지 저장 물질이다.

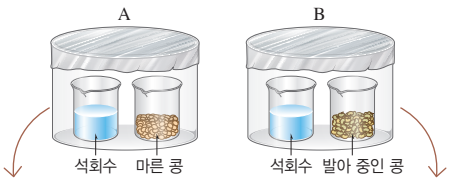
모범 답안 ATP의 끝에 있는 2개의 인산기 사이의 고에너지 인산 결합이 끊어져 ADP와 무기인산으로 분해되면서 에너지가 방출되고, 이때 방출된 에너지가 (가)와 (나)에 이용된다.

채점 기준	배점
ATP의 고에너지 인산 결합이 끊어지는 과정에서 일어나는 구조적 변화와 관련지어 에너지가 방출되는 과정을 옳게 서술한 경우	100 %
ATP가 분해되어 에너지가 방출된다고만 서술한 경우	50 %

실력 UP 문제 85쪽

01 ② **02** ⑤ **03** ③

01 꼼꼼 문제 분석

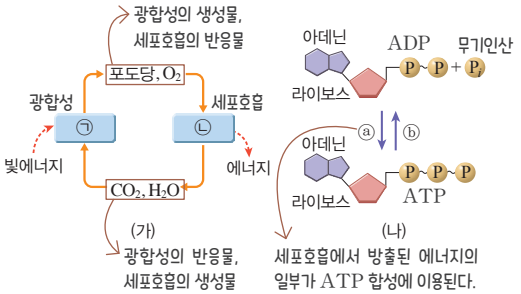


ㄴ. 석회수는 이산화 탄소와 반응하면 뿌옇게 흐려진다. B의 석회수가 뿌옇게 흐려졌으므로, B의 발아 중인 콩에서 세포호흡으로 영양소가 분해되고 이산화 탄소가 생성되었음을 알 수 있다.

바로알기 ㄱ. 실험 결과를 통해 마른 콩에서는 세포호흡이 거의 일어나지 않았지만, 발아 중인 콩에서는 세포호흡이 활발하게 일어났다는 것을 알 수 있다.

ㄷ. 콩을 삶으면 콩 속에 있는 세포호흡과 관련된 효소가 변성되어 세포호흡이 일어나지 않으므로 ㉠과 같은 결과가 나타나지 않는다.

02 꼼꼼 문제 분석

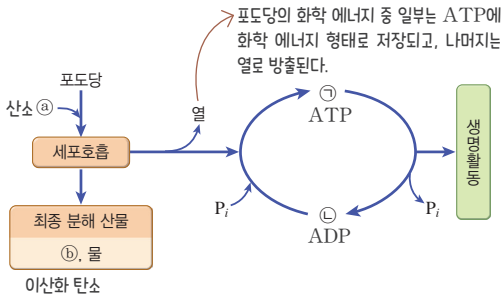


ㄱ. ㉠은 광합성이고, ㉡은 세포호흡이다. 광합성(㉠)의 생성물인 포도당은 세포호흡(㉡)의 반응물로 사용된다.

ㄴ. ⓐ는 ADP와 무기인산이 결합하여 ATP가 합성되는 반응이다. 세포호흡(㉡)에서 방출된 에너지의 일부는 ATP 합성(ⓐ)에 사용되어 ATP에 저장된다.

ㄷ. ⓑ는 ATP에서 고에너지 인산 결합이 끊어지면서 ADP와 무기인산으로 분해되는 과정이다. 섬모의 운동에는 ATP가 분해될 때(ⓑ) 방출되는 에너지가 이용된다.

03 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 세포호흡 과정에서 포도당은 산소와 반응하여 물과 이산화탄소로 분해되므로 ⓐ는 산소이고, ⓑ는 이산화 탄소이다.

ㄴ. 세포호흡 과정에서 방출된 에너지 중 일부는 ADP(㉡)와 무기인산의 결합으로 생성된 ATP(㉠)에 저장되므로 한 분자당 에너지양은 ATP(㉠)가 ADP(㉡)보다 많다. 따라서 $\frac{\text{㉠의 한 분자당 에너지양}}{\text{㉡의 한 분자당 에너지양}}$은 1보다 크다.

바로알기 ㄷ. 산소(ⓐ)는 모세혈관에서 조직 세포로 확산에 의해 이동한다. 확산은 ATP(㉠)를 사용하지 않는다.

중단원 핵심 정리 86쪽

❶ 효소 ❷ 에너지 ❸ 동화작용 ❹ 이화작용 ❺ 기초대사량 ❻ 활동대사량 ❼ 빛에너지 ❽ ATP ❾ 열에너지 ❿ 방출 ⓫ 흡수

중단원 마무리 문제 87쪽~88쪽

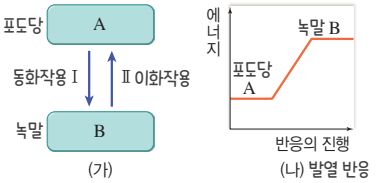
01 ① **02** ⑤ **03** ③ **04** ① **05** ⑤ **06** ②
07 해설 참조 **08** 해설 참조

01 ㄱ. 물질대사 과정에는 에너지가 흡수되거나 방출된다.

바로알기 ㄴ. 포도당이 세포호흡으로 분해되는 과정은 효소가 관여하여 체온 정도의 온도에서 단계적으로 일어난다. 반면 생명체 밖에서 포도당이 연소되는 과정은 고온에서 빠르게 일어난다.

ㄷ. 일반적으로 물질대사는 여러 단계의 화학 반응이 연속적으로 연결되어 이루어지며 각 단계마다 각기 다른 종류의 효소가 작용한다.

02 꼼꼼 문제 분석



ㄴ. Ⅱ는 녹말(B)이 포도당(A)으로 분해되는 과정이므로 이화작용에 해당한다. 이화작용에서는 반응물의 한 분자당 에너지양이 생성물의 한 분자당 에너지양보다 많아서 반응이 일어날 때 에너지가 방출된다.

ㄷ. 아미노산 여러 개를 결합하여 단백질을 합성하는 과정은 동화작용에 해당한다. (나)는 동화작용에 해당하는 Ⅰ에서의 에너지 변화이므로, 단백질의 합성 과정은 (나)와 같은 에너지 변화가 나타난다.

바로알기 ㄱ. Ⅰ은 포도당(A)을 녹말(B)로 합성하는 동화작용에 해당한다.

03 꼼꼼 문제 분석

체중 증가 ➡ 1일 에너지 섭취량이 1일 에너지 소비량보다 많은 상태가 지속되었다.

사람	1일 에너지 섭취량 ㉠	1일 에너지 소비량 ㉡
A	3070	2737
B	2386	2787

(단위: kcal)

체중 감소 ➡ 1일 에너지 소비량이 1일 에너지 섭취량보다 많은 상태가 지속되었다.

ㄱ. A의 체중이 증가한 것은 에너지 섭취량이 에너지 소비량보다 많은 상태가 지속되었기 때문이다. A의 ㉠은 ㉡보다 크므로 ㉠이 1일 에너지 섭취량이고, ㉡은 1일 에너지 소비량이다.

ㄴ. A는 1일 에너지 섭취량(㉠)이 1일 에너지 소비량(㉡)보다 많은 에너지 과잉 상태이다.

바로알기 ㄷ. B는 1일 에너지 섭취량(㉠)이 1일 에너지 소비량(㉡)보다 적으므로 $\frac{\text{1일 에너지 소비량(㉡)}}{\text{1일 에너지 섭취량(㉠)}}$은 1보다 크다.

04 꼼꼼 문제 분석

• A의 1일 에너지 섭취량: 3000 kcal
• A의 1일 에너지 소비량

활동	하루 동안 활동별로 소비한 에너지양(kcal)
식사	1.6×3×55=264
공부	1.9×6×55=627
수면	0.9×8×55=396
걷기	3.0×2×55=330
대화	1.6×2×55=176
축구	8.0×3×55=1320

➡ 하루 동안 활동별로 소비한 에너지양의 합산: 3113 kcal
• B의 1일 에너지 섭취량: 2800 kcal
• B의 1일 에너지 소비량

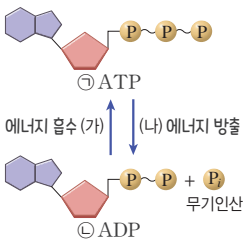
활동	하루 동안 활동별로 소비한 에너지양(kcal)
식사	1.6×2×60=192
공부	1.9×7×60=798
수면	0.9×9×60=486
걷기	3.0×2×60=360
대화	1.6×3×60=288
축구	8.0×1×60=480

➡ 하루 동안 활동별로 소비한 에너지양의 합산: 2604 kcal

ㄱ. A의 에너지 섭취량(3000 kcal)은 에너지 소비량(3113 kcal)보다 적다.
바로알기 ㄴ. A가 하루 동안 가장 많은 에너지를 소비한 활동은 축구이다.
ㄷ. B는 에너지 섭취량(2800 kcal)이 에너지 소비량(2604 kcal)보다 많은 에너지 과잉 상태이다. 이러한 상태가 오래 지속되면 B는 체중이 증가하고 비만이 나타날 확률이 높다.

05 엽록체에서 빛에너지를 흡수하여 광합성을 통해 포도당을 합성하고, 세포호흡을 통해 포도당이 분해될 때 에너지가 방출된다. 따라서 (가)는 빛에너지, (나)는 ATP, ㉠은 포도당, ㉡은 이산화 탄소이다.
ㄴ. 이산화 탄소(㉡)와 물로부터 포도당(㉠)이 합성되는 광합성은 동화작용이다. 동화작용은 에너지가 흡수되는 흡열 반응으로, 생성물(포도당, ㉠)의 한 분자당 에너지양이 반응물(이산화 탄소, ㉡)보다 많다.
ㄷ. ATP(나)에 저장된 화학 에너지는 포도당(㉠)의 화학 에너지에서 유래되었고, 포도당(㉠)의 화학 에너지는 태양의 빛에너지(가)에서 유래되었다. 따라서 ATP(나)의 화학 에너지의 근원은 태양의 빛에너지(가)이다.
바로알기 ㄱ. (가)는 빛에너지이다.

06 꼼꼼 문제 분석



• (가): 포도당과 같은 유기물이 세포호흡을 통해 분해될 때 방출되는 에너지의 일부를 이용하여 ADP(㉡)와 무기인산이 결합하여 ATP(㉠)가 합성된다.
• (나): ATP(㉠)가 ADP(㉡)와 무기인산으로 분해될 때 방출되는 에너지가 다양한 생명활동에 이용된다.

㉠은 ATP이고, ㉡은 ADP이다.
ㄷ. ATP(㉠)가 ADP(㉡)와 무기인산으로 분해되는 과정(나)에서 방출되는 에너지는 근육수축, 물질 합성 등 다양한 생명활동에 이용된다.
바로알기 ㄱ. 세포호흡에서 방출된 에너지 중 일부는 ADP(㉡)와 무기인산이 ATP(㉠)로 합성(가)되는 데 이용되고, 나머지는 열에너지 형태로 방출된다. 이때 방출된 열에너지는 ATP 합성에 이용되지 못한다.
ㄴ. ADP(㉡)는 아데닌과 라이보스가 결합한 아데노신에 2개의 인산기가 결합한 화합물이다.

07 글라이코젠과 녹말은 여러 개의 포도당으로 이루어진 물질이다. 인슐린은 포도당이 글라이코젠으로 합성(ⓐ)되는 과정을 촉진하고, 아밀레이스는 녹말이 포도당으로 분해(ⓑ)되는 과정을 촉진한다.

모범 답안 (1) ⓐ 합성, ⓑ 분해
(2) (가)는 동화작용이고, (나)는 이화작용이다. (가)에서 작고 단순한 포도당이 크고 복잡한 글라이코젠으로 합성될 때 에너지가 흡수되고, (나)에서 크고 복잡한 녹말이 작고 단순한 포도당으로 분해될 때 에너지가 방출되기 때문이다.

채점 기준		배점
(1)	ⓐ와 ⓑ를 모두 옳게 쓴 경우	20 %
(2)	(가)와 (나)의 물질대사 종류를 쓰고, 그 까닭을 물질 변화 및 에너지 출입과 관련지어 모두 옳게 서술한 경우	80 %
	(가)와 (나)의 물질대사 종류를 쓰고, 그 까닭을 물질 변화와 에너지 출입 중 한 가지만 언급하여 옳게 서술한 경우	50 %
	(가)와 (나)의 물질대사 종류만 옳게 쓴 경우	20 %

08 발아 중인 콩에서는 세포호흡이 일어나고, 이 과정에서 방출되는 에너지의 일부가 열로 전환되어 주변 온도가 높아진다.

모범 답안 A, 마른 콩에서는 세포호흡이 거의 일어나지 않아 온도가 변하지 않지만, 발아 중인 콩에서는 세포호흡이 활발히 일어나며 이 과정에서 에너지가 방출되어 주변 온도가 높아지기 때문이다.

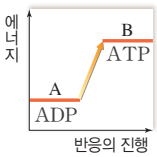
채점 기준	배점
A라고 쓰고, 세포호흡 과정에서 에너지가 방출되었기 때문이라고 옳게 서술한 경우	100 %
A라고 쓰고, 온도가 높아지기 때문이라고만 서술한 경우	50 %
A라고만 쓴 경우	20 %

중단원 고난도 문제 89쪽

01 ③ **02** ③ **03** ①

01 꼼꼼 문제 분석

반응물의 에너지양 < 생성물의 에너지양
➡ 동화작용, 흡열 반응



물질	한 분자당 고에너지 인산 결합의 수
ADP(가)	㉠ 1
ATP(나)	2

선택지 분석

ㄱ. ㉠은 1이다.

ㄴ. B는 (나)이다.

ㄷ. X가 일어날 때 A의 고에너지 인산 결합이 끊어진다. → 생성된다

전략적 풀이 ❶ 한 분자당 고에너지 인산 결합의 수를 비교하여 (가)와 (나)가 무엇인지를 파악한다.

ㄱ. 고에너지 인산 결합은 ATP와 ADP에서 인산기와 인산기 사이에 형성된다. ATP는 아데노신에 인산기가 3개 결합한 구조이므로, 한 분자당 고에너지 인산 결합의 수가 2이다. ADP는 아데노신에 인산기 2개가 결합한 구조이므로, 한 분자당 고에너지 인산 결합의 수가 1이다. 따라서 (나)는 ATP, (가)는 ADP이고, ㉠은 1이다.

❷ 한 분자당 에너지양을 비교하여 A와 B가 무엇인지를 파악한다.

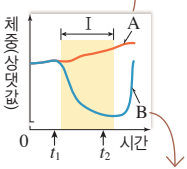
ㄴ. A는 B보다 에너지양이 적다. ADP(가)는 ATP(나)보다 한 분자당 고에너지 인산 결합의 수가 작으므로 에너지양도 적다. 따라서 A는 ADP(가)이고, B는 ATP(나)이다.

❸ 물질대사 과정에서의 에너지 변화를 그래프와 관련지어 파악한다.

ㄷ. ADP(A, (가))와 무기인산이 에너지를 흡수하여 고에너지 인산 결합을 형성함으로써 ATP(B, (나))가 합성된다.

02 꼼꼼 문제 분석

A는 충분한 먹이를 섭취하여 체중이 계속 증가했다.



B는 구간 Ⅰ에서 적은 양의 먹이를 섭취하여 체중이 감소했다.

동물	$\frac{t_1\text{일 때의 체지방량}}{t_2\text{일 때의 체지방량}}$
㉠	0.9
㉡	2

1보다 작다. ➡ t_2일 때 체지방량이 증가하였다.

1보다 크다. ➡ t_2일 때 체지방량이 감소하였다.

- A: 체중이 t_1일 때보다 t_2일 때 증가했다. ➡ 체지방량도 t_1일 때보다 t_2일 때가 많을 것이다.
- B: 체중이 t_1일 때보다 t_2일 때 감소했다. ➡ 체지방량도 t_1일 때보다 t_2일 때가 적을 것이다.

선택지 분석

ㄱ. A는 '충분히 먹이를 섭취하게 한 동물'이다.

ㄴ. 구간 Ⅰ에서 $\frac{\text{에너지 소비량}}{\text{에너지 섭취량}}$은 ㉠이 ㉡보다 크다. → 작다

ㄷ. B의 체지방량은 t_1일 때가 t_2일 때보다 많다.

전략적 풀이 ❶ 체중 변화를 비교하여 A와 B가 무엇인지를 파악한다.

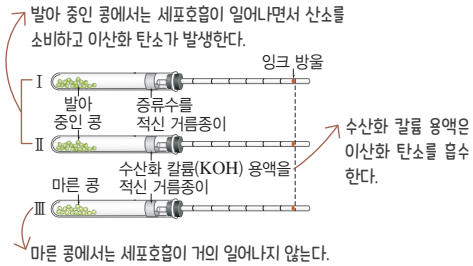
ㄱ. A는 구간 Ⅰ에서 체중이 증가하였으므로 '충분히 먹이를 섭취하게 한 동물'이고, B는 구간 Ⅰ에서 체중이 감소하였으므로 '구간 Ⅰ에서만 적은 양의 먹이를 섭취하게 한 동물'이다.

❷ 체중 변화를 바탕으로 체지방량의 변화를 추론하여 ㉠과 ㉡이 무엇인지를 파악한다.

ㄴ. 에너지 섭취량이 에너지 소비량보다 많은 상태가 지속되면 남은 에너지를 체지방량으로 전환하여 체중이 증가한다. 체중이 증가한 A는 체지방량도 증가하였을 것이고, 체중이 감소한 B는 체지방량도 감소하였을 것이다. 따라서 A는 $\frac{t_1\text{일 때 체지방량}}{t_2\text{일 때 체지방량}}$이 1보다 작은 ㉠이고, B는 $\frac{t_1\text{일 때 체지방량}}{t_2\text{일 때 체지방량}}$이 1보다 큰 ㉡이다. 구간 Ⅰ에서 ㉠(A)은 에너지 섭취량이 에너지 소비량보다 많아 체중이 증가하였으므로 $\frac{\text{에너지 소비량}}{\text{에너지 섭취량}}$이 1보다 작다. 반면 ㉡(B)은 에너지 섭취량이 에너지 소비량보다 적어 체중이 감소하였으므로 $\frac{\text{에너지 소비량}}{\text{에너지 섭취량}}$이 1보다 크다.

ㄷ. B(㉡)의 $\frac{t_1\text{일 때 체지방량}}{t_2\text{일 때 체지방량}}$은 1보다 크므로 t_1일 때 체지방량이 t_2일 때 체지방량보다 많다.

03 꼼꼼 문제 분석



시험관	이동 방향	이동 거리(cm)
Ⅰ	왼쪽	1
Ⅱ	왼쪽	5
Ⅲ	–	0

- Ⅰ: 잉크 방울의 이동 거리는 소비된 산소의 부피와 발생한 이산화 탄소의 부피의 차이에 해당한다.
- Ⅱ: 잉크 방울의 이동 거리는 소비된 산소의 부피에 해당한다.
- Ⅲ: 세포호흡이 거의 일어나지 않아 잉크 방울의 이동이 거의 없다.

선택지 분석

ㄱ. ⓐ는 이산화 탄소이다.

~~ㄴ~~. Ⅰ의 콩에서는 세포호흡이 일어나지 않았다. 일어났다.

~~ㄷ~~. Ⅱ에서 잉크 방울의 이동 거리는 '발생한 이산화 탄소의 부피'에 해당한다. 소비된 산소의 부피

전략적 풀이 ❶ 세포호흡에서 일어나는 물질의 변화를 바탕으로 ⓐ가 무엇인지를 파악한다.

ㄱ. Ⅰ과 Ⅱ에서 잉크 방울의 이동 거리가 다르게 나타난 것은 Ⅱ에서는 수산화 칼륨(KOH) 용액이 세포호흡 시 발생한 기체를 흡수했기 때문이다. 따라서 ⓐ는 이산화 탄소이다.

ㄴ. 발아 중인 콩에서는 세포호흡이 일어나 산소를 이용하여 영양소를 물과 이산화 탄소로 분해한다. 따라서 발아 중인 콩이 든 Ⅰ과 Ⅱ에서 모두 세포호흡 결과 산소가 흡수되고 이산화 탄소가 생성되어 잉크 방울이 이동한다. 반면 마른 콩에서는 세포호흡이 거의 일어나지 않으므로, 마른 콩이 든 Ⅲ에서는 잉크 방울이 이동하지 않았다.

❷ 수산화 칼륨(KOH)의 역할을 생각해 본다.

ㄷ. Ⅱ에서는 발아 중인 콩에서 세포호흡이 일어나면서 산소가 소비되고 이산화 탄소가 생성되고, 이때 생성된 이산화 탄소는 수산화 칼륨(KOH) 용액에 흡수된다. 따라서 Ⅱ에서 잉크 방울이 이동한 거리는 소비된 산소의 부피에 해당한다.

2 효소

01 효소의 작용 원리

개념 확인 문제 94쪽

❶ 활성화에너지 ❷ 효소기질복합체 ❸ 기질특이성 ❹ 전효소 ❺ 주효소 ❻ 전이 ❼ 이성질화

1 (1) ○ (2) × (3) ○ **2** (1) × (2) ○ (3) ○ **3** (1) A: 주효소, B: 보조인자, C: 전효소 (2) B **4** (1) ㄴ (2) ㄱ (3) ㄷ (4) ㄹ

1 (1) 반응물의 에너지양이 생성물의 에너지양보다 적으므로, 이 반응은 에너지가 흡수되는 흡열 반응이다.
(2) 효소는 활성화에너지를 낮추어 반응이 빠르게 일어나도록 하므로 효소가 없을 때의 활성화에너지는 A이고, 효소가 있을 때의 활성화에너지는 B이다.
(3) C는 반응물의 에너지양과 생성물의 에너지양 차이인 반응열로, 반응열의 크기는 효소의 유무와 관계없이 일정하다.

2 (1) 효소는 화학 반응 전후에 구조와 성질이 변하지 않으므로 생성물과 분리된 후 새로운 기질과 결합하여 화학 반응에 다시 사용될 수 있다.
(2) 효소는 활성부위와 입체 구조가 들어맞는 특정 기질과만 결합하여 작용하는 기질특이성이 있다.
(3) 효소와 반응물이 결합한 효소기질복합체가 형성되면 화학 반응의 활성화에너지가 낮아져 기질이 생성물로 전환된다.

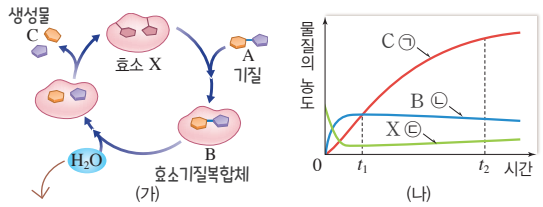
3 A는 효소에서 단백질 부분인 주효소, B는 효소에서 비단백질 부분인 보조인자, C는 주효소와 보조인자가 결합한 전효소이다.

4 (1) 가수분해효소는 물 분자를 첨가하여 기질을 분해한다.
(2) 전이효소는 기질에서 작용기를 떼어 다른 분자로 옮긴다.
(3) 산화환원효소는 수소, 산소, 전자를 다른 분자에 전달한다.
(4) 이성질화효소는 기질의 원자 배열을 바꾸어 성질이 다른 이성질체로 만든다.

대표 자료 분석 1 95쪽

1 A: 기질, B: 효소기질복합체, C: 생성물 **2** ㉠ C, ㉡ B, ㉢ X **3** (1) 가수분해효소 (2) 많다 (3) 있다 (4) 낮아져 **4** (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) ○ (5) × (6) × (7) × (8) ×

꼼꼼 문제 분석



물 분자가 첨가되어 A가 분해되고 C가 만들어진다.
➡ X에 의한 반응은 가수분해반응이다.

- 반응이 진행될수록 기질이 생성물로 전환되므로 기질의 농도는 감소하고, 생성물의 농도는 증가한다. ➡ ㉠은 생성물(C)이다.
- 반응 초기에는 효소와 기질이 결합하여 효소기질복합체를 형성하므로 효소기질복합체의 농도는 증가하고 효소의 농도는 감소한다. 이후 반응이 진행되어 기질의 농도가 감소하면 생성물과 분리된 효소가 다시 기질과 결합하는 경우가 줄어들어 효소기질복합체의 농도는 감소하고 효소의 농도는 다시 증가한다. ➡ ㉡은 효소기질복합체(B), ㉢은 X이다.

1 A와 X가 결합하여 반응이 일어난 결과 C가 생성되므로 A는 기질이고 C는 생성물이며, 기질(A)과 X가 결합한 B는 효소기질복합체이다.

2 시간에 따라 지속적으로 농도가 증가하는 ㉠은 생성물(C), 초기에 농도가 증가하다가 시간이 지나면서 농도가 감소하는 ㉡은 효소기질복합체(B), 초기에 농도가 감소하다가 시간이 지나면서 농도가 증가하는 ㉢은 X이다.

3 (1) X는 물 분자를 첨가하여 기질(A)을 생성물(C)로 분해하는 가수분해효소이다.
(2) X에 의한 반응은 (가)는 반응물이 분해되는 이화작용이므로, 한 분자당 에너지양은 반응물인 기질(A)이 생성물(C)보다 많다.
(3) 효소는 화학 반응에서 소모되거나 변형되지 않으므로, 반응이 끝나 생성물(C)과 분리된 X는 다시 반응에 사용될 수 있다.
(4) 효소는 효소기질복합체(B)를 형성하는 동안 화학 반응의 활성화에너지를 낮춰 반응이 빠르게 일어나게 한다.

4 (1), (2) 효소는 주성분인 단백질이 고유한 입체 구조를 가지고 있어 특정 기질과만 결합하는 기질특이성을 나타낸다. 따라서 X는 활성부위와 입체 구조가 들어맞는 기질(A)과만 특이적으로 결합하여 작용한다.
(3) 효소기질복합체가 형성되면 활성화에너지가 낮아지므로, 단위 시간당 효소기질복합체(B)의 생성량이 많으면 반응 속도가 증가한다.
(4) 반응열은 반응물의 에너지양과 생성물의 에너지양의 차이이므로, 효소의 유무와 관계없이 일정하다.

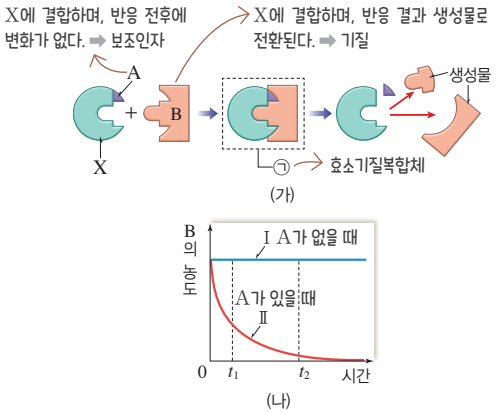
(5), (6) (가)에서 X가 있으므로 활성화에너지의 크기가 감소하는 것은 맞지만 활성화에너지의 크기는 기질의 농도나 효소의 농도 변화에는 영향을 받지 않는다. 따라서 (가)에서 X에 의한 반응의 활성화에너지의 크기는 전 시점에서 동일하다.
(7) 반응이 진행될수록 기질(A)의 농도는 감소하므로, t_1일 때가 t_2일 때보다 기질(A)의 농도가 높다.
(8) t_2일 때 효소기질복합체(㉡)가 존재하므로 기질(A)과 결합하고 있는 X가 있다.

대표 자료 분석 2

96쪽

1 A: 보조인자, B: 기질 **2** Ⅰ: A가 없을 때, Ⅱ: A가 있을 때
3 ㄱ, ㄷ **4** (1) × (2) × (3) ○ (4) ○ (5) × (6) × (7) ○ (8) ○ (9) ×

꼼꼼 문제 분석



- Ⅰ: 기질(B)의 농도가 변하지 않는다. ➡ 보조인자(A)가 없어 X가 활성을 나타내지 못한다.
- Ⅱ: 기질(B)의 농도가 시간에 따라 감소한다. ➡ 보조인자(A)가 있어 X가 활성을 나타낸다.

1 반응 전후에 변화가 없는 A는 보조인자이고, 변화가 있는 B는 기질이다.

2 X와 보조인자(A)가 결합한 전효소가 기질(B)과 결합하여 효소기질복합체(㉠)가 형성되면 반응이 일어나 기질(B)이 생성물로 전환된다. Ⅰ에서는 기질(B)의 농도가 변하지 않고, Ⅱ에서는 기질(B)의 농도가 감소하였다. 따라서 Ⅰ은 보조인자(A)가 없어 전효소가 형성되지 않았을 때이고, Ⅱ는 보조인자(A)가 있어 전효소가 형성되었을 때이다.

3 ㄱ, ㄴ. 보조인자(A)는 효소의 비단백질 부분으로 주효소에 비해 크기가 작고, 열에 강하다.
ㄷ. (가)에서 보조인자(A)는 화학 반응이 끝난 후 X에서 분리된다.

4 (1) 이성질화효소는 기질의 원자 배열을 바꾸어 성질이 다른 물질로 만드는 효소이다. X에 의한 반응에서는 기질(B)이 분해되므로, X는 이성질화효소가 아니다.
(2), (3) X와 보조인자(A)가 결합하여 전효소를 이루며, 전효소가 기질(B)과 결합하여 효소기질복합체(㉠)를 형성한다.
(4), (5) 보조인자(A)는 X와 결합하여 X가 활성을 나타내도록 하며, 그 결과 X에 의한 기질(B)의 분해 반응을 촉매한다.
(6) Ⅰ은 보조인자(A)가 없을 때이므로, X에 의한 반응이 일어나지 않는다. 따라서 t_1일 때와 t_2일 때 모두 효소기질복합체(㉠)가 형성되지 않는다.
(7) 생성물의 농도는 반응이 진행될수록 증가하므로, Ⅱ에서 t_1일 때가 t_2일 때보다 생성물의 농도가 낮다.
(8) Ⅱ에서 t_1일 때가 t_2일 때보다 그래프에서 접선의 기울기가 크므로, X에 의한 반응 속도가 빠르다.
(9) 활성화에너지의 크기는 효소의 유무에만 영향을 받으므로 Ⅱ에서 X에 의한 반응의 활성화에너지는 t_1일 때와 t_2일 때가 같다.

내신 만점 문제

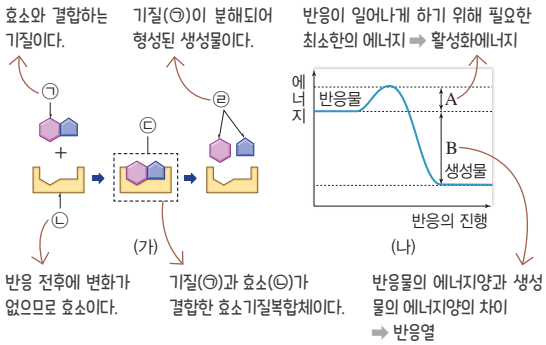
97쪽~98쪽

01 ① **02** ③ **03** ⑤ **04** ④ **05** ⑤
06 해설 참조 **07** ② **08** ④ **09** ③

01 ㄱ. 효소가 있을 때가 효소가 없을 때보다 활성화에너지가 작으므로 Ⅰ은 'A가 없을 때'이고, Ⅱ는 'A가 있을 때'이다.
바로알기 ㄴ. 반응열은 반응물의 에너지양과 생성물의 에너지양의 차이이므로, 반응열의 크기는 ㉢이다.
ㄷ. A가 없을 때의 활성화에너지는 '㉠+㉡+㉢'이고, A가 있을 때의 활성화에너지는 '㉡+㉢'이다.

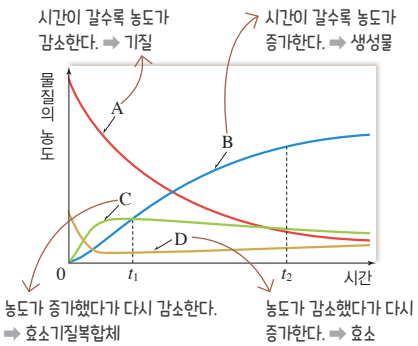
02 ㄱ. 효소의 주성분은 단백질이다.
ㄷ. X에 의한 반응에서 물 분자가 첨가되어 설탕이 포도당과 과당으로 분해된다.
바로알기 ㄴ. X는 활성부위에 입체 구조가 들어맞지 않는 엿당과는 결합하지 못하지만, 활성부위에 입체 구조가 들어맞는 설탕과는 결합할 수 있다. 따라서 X는 설탕에 대한 기질특이성이 있다.

03 꼼꼼 문제 분석



ㄴ. 반응열(B)의 크기는 효소(㉡)의 농도와 관계없이 일정하다.
ㄷ. 단위 시간당 효소기질복합체(㉢)의 생성량이 많아지면 화학 반응이 일어날 수 있는 반응물의 수가 많아져 반응 속도가 빨라진다.
바로알기 ㄱ. 활성화에너지(A)의 크기는 기질(㉠)의 농도에 영향을 받지 않으므로, 기질(㉠)의 농도가 증가해도 활성화에너지(A)의 크기가 변하지 않는다.

04 꼼꼼 문제 분석



ㄴ. 반응이 진행될수록 기질(A)이 생성물(B)로 전환되므로 기질(A)의 농도는 감소하고 생성물(B)의 농도는 증가한다. 따라서 기질(A)의 농도는 t_1일 때가 t_2일 때보다 높고, 생성물(B)의 농도는 t_1일 때가 t_2일 때보다 낮다.
ㄷ. 생성물(B)의 농도 그래프에서 접선의 기울기는 t_1일 때가 t_2일 때보다 크므로, 이 효소에 의한 반응 속도는 t_1일 때가 t_2일 때보다 빠르다.
바로알기 ㄱ. B는 생성물이다.

05 ① 주효소는 효소의 단백질 부분으로, 열과 pH에 의해 쉽게 변성된다.

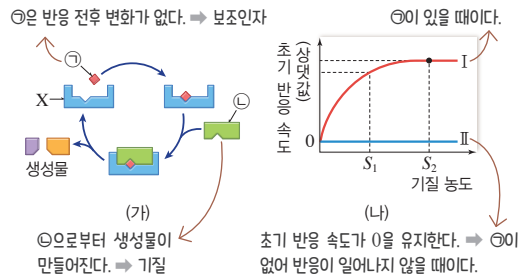
② 보조인자는 주로 주효소에 비해 크기가 작다.

③ 보조인자에는 Fe^{2+}, Zn^{2+}, Cu^{2+} 등과 같은 금속 이온과 바이타민 B_1, NAD^+, FAD, $NADP^+$ 등과 같은 유기물인 조효소가 있다.

④ 보조인자는 주효소와 결합하여 완전한 기능을 나타내는 효소인 전효소를 이룬다.

바로알기 ⑤ 여러 가지 주효소의 작용에 관여하는 조효소도 있다.

[06~07] 꼼꼼 문제 분석



06 ㉠은 보조인자이고, ㉡은 기질이다. X는 보조인자(㉠)와 결합하여 전효소를 형성할 때 화학 반응을 촉매하여 반응이 빠르게 일어나고, 보조인자(㉠)가 없으면 X가 작용하지 않아 반응이 일어나지 않는다.

모범 답안 Ⅰ은 ㉠이 있을 때이고, Ⅱ는 ㉠이 없을 때이다. X는 보조인자(㉠)와 결합하여 전효소를 형성해야 활성을 나타내어 반응이 일어나므로, 보조인자(㉠)가 있을 때는 기질 농도가 증가함에 따라 초기 반응 속도가 증가하기 때문이다.

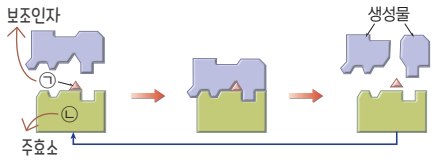
채점 기준	배점
Ⅰ과 Ⅱ를 ㉠의 유무에 따라 옳게 구분하고, 그렇게 판단한 까닭을 기질 농도에 따른 초기 반응 속도의 변화와 관련 지어 옳게 서술한 경우	100 %
Ⅰ과 Ⅱ만 옳게 구분한 경우	30 %

07 ㄴ. 기질 농도가 S_1일 때 반응 속도는 보조인자(㉠)가 있을 때(Ⅰ)가 보조인자(㉠)가 없을 때(Ⅱ)보다 빠르다.

바로알기 ㄱ. 에너지를 사용하여 두 기질 분자를 연결하는 효소는 연결효소이다. X는 기질(㉡)을 2개의 생성물로 분해하므로 연결효소가 아니다.

ㄷ. 활성화에너지의 크기는 효소의 유무에 따라 달라지며, 기질의 농도, 효소의 농도, 효소기질복합체의 농도에 영향을 받지 않는다. 따라서 보조인자(㉠)가 있을 때(Ⅰ) X에 의한 반응의 활성화에너지의 크기는 기질 농도와 관계없이 일정하다.

08 꼼꼼 문제 분석



실험	처리	생성물
Ⅰ	기질+㉠	×
Ⅱ	기질+㉡	×
Ⅲ	기질+㉠+㉡	○
Ⅳ	기질+가열한 ㉠+㉡	○
Ⅴ	기질+㉠+가열한 ㉡	×

㉠은 열에 의한 영향을 적게 받음.

㉡은 열에 의해 변성됨.

(○: 생성됨, ×: 생성 안 됨)

- Ⅰ ~ Ⅲ 중 Ⅲ에서만 생성물이 생성되었다. ➡ ㉠과 ㉡이 결합하여 전효소를 형성할 때 효소가 활성을 나타낸다.
- Ⅳ에서는 생성물이 생성되었지만, Ⅴ에서는 생성물이 생성되지 않았다. ➡ ㉠은 열에 의한 영향을 적게 받으므로 보조인자이고, ㉡은 열에 의해 변성되므로 주효소이다.

ㄴ. 효소가 있을 때에는 효소가 없을 때에 비해 활성화에너지가 낮아진다. 따라서 활성화에너지는 효소에 의한 반응이 일어나지 않는 Ⅰ에서가 효소에 의한 반응이 일어나는 Ⅲ에서보다 크다.

ㄷ. Ⅳ에서는 생성물이 생성되었으므로 효소기질복합체가 형성되었다는 것을 알 수 있다.

바로알기 ㄱ. Ⅳ와 Ⅴ에서의 생성물 생성 여부를 비교하면 보조인자(㉠)는 열에 영향을 적게 받고, 주효소(㉡)는 열에 의해 변성됨을 알 수 있다.

09 ㄱ. 라이소솜에는 단백질, 탄수화물, 지질 등을 분해하는 다양한 가수분해효소(A)가 들어 있다.

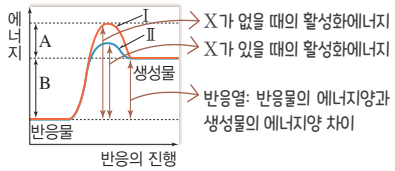
ㄴ. A는 물 분자를 첨가하여 기질을 분해하는 가수분해효소이고, B는 기질의 작용기를 떼어 다른 분자에 전달하는 전이효소이다.

바로알기 ㄷ. 기질의 원자 배열을 바꾸어 이성질체로 만드는 효소는 이성질화효소이다. 산화환원효소는 수소나 산소 또는 전자를 다른 분자에 전달하여 산화환원반응을 촉매한다.

실력 UP 문제 99쪽

01 ② 02 ③ 03 ① 04 ⑤

01 꼼꼼 문제 분석



ㄷ. 효소는 활성화에너지를 낮추므로 활성화에너지가 더 큰 Ⅰ이 X가 없을 때이다. X가 없을 때(Ⅰ) 이 반응의 활성화에너지는 'A+B'이다.

바로알기 ㄱ. 가수분해효소에 의한 반응은 생성물의 에너지양이 반응물의 에너지양보다 작은 발열 반응이지만, Ⅱ는 생성물의 에너지가 반응물의 에너지보다 큰 흡열 반응의 에너지 변화이다.

ㄴ. 기질의 농도가 증가하면 효소기질복합체가 많이 만들어져 반응 속도가 빨라질 수 있지만, 활성화에너지의 크기에는 영향을 주지 않는다.

02 꼼꼼 문제 분석

시험관	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ
첨가물	A	B	A, B	ⓐ, B	A, ⓑ	ⓐ, ⓑ
활성화 에너지	E_a	?E_a	E_b	E_b	E_a	㉠E_a

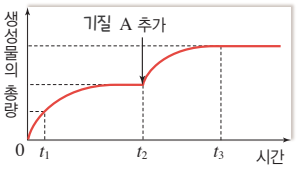
- Ⅲ: 열처리하지 않은 A와 B를 첨가하였다. ➡ E_b는 X가 작용할 때의 활성화에너지이다.
- Ⅳ: 활성화에너지의 크기가 Ⅲ에서와 같다. ➡ ⓐ는 열에 의한 영향을 적게 받았으므로, A는 보조인자이다.
- Ⅴ: 활성화에너지의 크기가 Ⅲ에서와 같지 않다. ➡ ⓑ는 열에 의해 변성되었으므로, B는 주효소이다.

ㄱ. 주효소와 보조인자로 구성된 X는 주효소와 보조인자가 결합한 전효소 상태일 때 활성을 나타낸다. Ⅰ과 Ⅲ을 비교하면, A만 첨가한 Ⅰ에서의 활성화에너지(E_a)는 X가 작용하지 않을 때의 활성화에너지이고, A와 B를 모두 첨가한 Ⅲ에서의 활성화에너지(E_b)는 X가 작용할 때의 활성화에너지임을 알 수 있다. 따라서 E_a는 E_b보다 크다.

ㄴ. 주효소는 열에 약하지만 보조인자는 열에 의한 영향을 적게 받는다. Ⅲ ~ Ⅴ를 통해 A는 열에 의한 영향을 적게 받았으므로 보조인자, B는 열에 의해 변성이 일어났으므로 주효소임을 알 수 있다.

바로알기 ㄷ. (다)의 Ⅵ에서 열처리한 주효소(ⓑ)는 입체 구조가 변하여 기질과 결합할 수 없으므로 X가 작용하지 않는다. 따라서 ㉠은 E_a이다.

03 꼼꼼 문제 분석



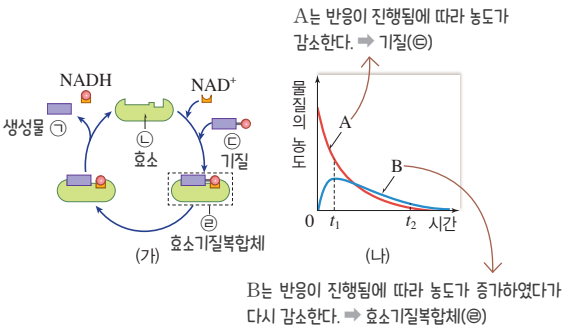
- t_1일 때: 생성물의 총량이 증가한다. ➡ 반응이 일어나고 있다.
- t_2 직전: 생성물의 총량이 더 이상 증가하지 않는다. ➡ 기질이 모두 반응하여 더 이상 반응이 일어나지 않는다.
- t_2일 때: A를 추가하였더니 생성물의 총량이 다시 증가한다. ➡ A는 기질이다.
- t_3일 때: 생성물의 총량이 더 이상 증가하지 않는다. ➡ 추가한 기질까지 모두 반응하여 더 이상 반응이 일어나지 않는다.

ㄱ. t_2 직전 시점은 기질이 모두 생성물로 전환되어 생성물의 총량이 변화하지 않는 상태이다. 이때 효소를 추가하여도 반응할 수 있는 기질이 없으므로 반응이 일어나지 않는다. 반면 기질을 추가하면 다시 반응이 진행되면서 생성물의 총량이 증가하므로 A는 기질이다.

바로알기 ㄴ. t_1일 때는 기질과 효소가 반응하고 있으므로 효소기질복합체가 존재하지만 t_3일 때는 기질이 모두 생성물로 전환되어 기질이 없어 효소기질복합체가 존재하지 않는다. 따라서 효소기질복합체의 농도는 t_1일 때가 t_3일 때보다 높다.

ㄷ. X에 의한 반응의 활성화에너지의 크기는 기질의 농도와 관계없이 일정하므로 t_1일 때와 t_2일 때를 포함한 전 시점에서 같다.

04 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 반응 초기에 급격하게 농도가 증가한 뒤 완만히 감소하는 B는 효소기질복합체(㉣)이다.

ㄴ. (가)에서 효소(㉡)가 기질로부터 수소를 떼어 내고 탈수소효소의 조효소인 NAD^+가 관여하므로, (가)는 산화환원효소에 의한 반응이다.

ㄷ. 반응이 진행됨에 따라 기질(㉢)이 생성물(㉠)로 전환되므로 생성물(㉠)의 농도는 t_1일 때가 t_2일 때보다 낮다.

02 효소의 작용에 영향을 미치는 요인

개념 확인 문제 103쪽

❶ 단백질 ❷ 증가 ❸ 경쟁적 ❹ 비경쟁적

1 ㄱ, ㄴ, ㄷ, ㄹ **2** ㉠ 증가, ㉡ 감소 **3** (1) × (2) ○ (3) ×
4 A: 경쟁적 억제제, B: 비경쟁적 억제제 **5** (1) × (2) × (3) ○
6 ㄱ, ㄴ, ㄷ

1 ㄱ, ㄴ. 효소의 주성분인 단백질은 온도와 pH에 따라 입체 구조가 달라지므로 효소의 작용은 온도와 pH의 영향을 받는다.
ㄷ. 효소의 농도가 일정할 때 기질의 농도가 증가할수록 초기 반응 속도가 증가하다가 기질의 농도가 일정 수준에 이르면 초기 반응 속도는 더 이상 증가하지 않고 일정해진다.
ㄹ. 효소억제제는 효소와 결합하여 효소기질복합체의 형성을 방해하여 효소의 초기 반응 속도를 감소시킨다.

2 최적온도보다 낮은 온도일 때는 온도가 높아질수록 효소와 기질의 분자 운동이 활발해져 효소기질복합체의 형성 속도가 빨라지므로 반응 속도가 증가한다. 최적온도보다 높은 온도일 때는 효소의 주성분인 단백질의 입체 구조가 변하여 효소기질복합체의 형성이 어려워지므로 반응 속도가 급격히 감소한다.

3 (1) 트립신에 의한 반응 속도는 pH 8일 때가 pH 6일 때보다 빠르므로, 트립신의 활성은 pH 8일 때가 pH 6일 때보다 높다.
(2) 펩신의 최적 pH는 2이고, 트립신의 최적 pH는 8이다.
(3) 펩신과 트립신은 최적 pH가 달라 각 효소가 작용하기 적합한 환경이 서로 다르므로 작용하는 소화기관도 서로 다르다.

4 A는 효소의 활성부위에 결합하는 경쟁적 억제제이고, B는 효소의 활성부위가 아닌 다른 부위에 결합하는 비경쟁적 억제제이다.

5 (1) 사람 몸에 있는 효소의 최적온도는 체온 범위인 35 ℃~40 ℃이지만, 뜨거운 온천에 사는 내열성 세균의 효소는 최적온도가 70 ℃ 이상이다. 이처럼 효소의 최적온도는 효소의 종류에 따라 다르다.
(2) 효소의 농도가 일정할 때 기질의 농도가 증가할수록 효소기질복합체가 많이 형성되어 초기 반응 속도가 증가하다가 기질의 농도가 일정 수준에 이르면 모든 효소가 기질과 결합한 포화 상태가 되어 초기 반응 속도가 더 이상 증가하지 않고 일정해진다.
(3) 기질의 농도가 증가해도 비경쟁적 억제제와 결합한 효소는 기질과 결합할 수 없으므로 비경쟁적 억제제의 억제 효과가 유지된다.

6 효소는 온도와 pH 등의 조건이 맞으면 세포 밖에서도 기질과 결합하여 반응을 일으킬 수 있다는 것이 알려지면서 다양한 분야에서 이용되고 있다. 중합효소연쇄반응(PCR)은 DNA 중합효소를 이용한 기술로, 질병의 감염 여부나 DNA 일치도를 확인하는 데 이용된다. 된장, 김치 등의 발효식품은 미생물이 가지고 있는 효소의 작용으로 만들어진다. 효소 세제에는 단백질분해효소와 지방분해효소가 이용되며, 섬유의 때가 잘 빠지게 한다.

대표 자료 분석 1 104쪽

1 ㉠ 단백질, ㉡ 최적온도, ㉢ 최적 pH **2** (1) 높다 (2) 낮다 (3) 낮다 (4) 빠르다 **3** (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ○

1 효소의 주성분은 단백질이므로 효소의 작용은 온도와 pH에 영향을 받으며, 효소의 활성은 최적온도와 최적 pH일 때 가장 높다.

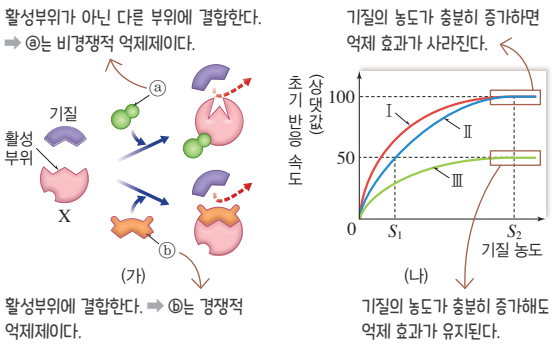
2 (1) A의 활성은 최적온도인 T_1일 때가 최적온도보다 높은 T_3일 때보다 높다.
(2) B의 최적온도인 T_1은 D의 최적온도인 T_2보다 낮다.
(3) A의 최적 pH는 2이고, B의 최적 pH는 7이며, C의 최적 pH는 8이다.
(4) C의 활성은 pH 8일 때가 pH 7일 때보다 높으므로 C에 의한 반응 속도는 pH 8일 때가 pH 7일 때보다 빠르다.

3 (1) D의 활성은 최적온도(T_3) 일 때 가장 높고, D의 최적온도(T_3)는 사람의 체온 범위보다 높다.
(2) T_2는 B의 최적온도(T_1)보다 높을 때이므로, T_3일 때는 B의 입체 구조가 변해 T_1일 때와 입체 구조가 다르다.
(3) 효소 반응에서 단위 시간당 생성되는 생성물의 양은 효소의 반응 속도와 비례한다. C의 활성은 T_1일 때가 T_3일 때보다 높으므로, 단위 시간당 생성되는 생성물의 양은 T_1일 때가 T_3일 때보다 많다.
(4) A와 B는 반응하는 pH 범위가 크게 달라서 A가 활성이 높은 조건에서는 B가 활성을 잃고, B가 활성이 높은 조건에서는 A가 활성을 잃는다. 따라서 A와 B는 작용하는 소화기관이 서로 다르다.
(5) C는 pH 2인 조건에서 입체 구조가 변하여 기능을 잃는다.

대표 자료 분석 2 105쪽

1 ⓐ 비경쟁적 억제제, ⓑ 경쟁적 억제제 **2** Ⅰ: ⓐ와 ⓑ가 모두 없을 때, Ⅱ: ⓑ가 있을 때, Ⅲ: ⓐ가 있을 때 **3** ㉠ 경쟁적 억제제, ㉡ 비경쟁적 억제제 **4** (1) × (2) × (3) ○ (4) × (5) × (6) ○ (7) × (8) ○

꼼꼼 문제 분석



- Ⅰ: 기질의 농도가 S_1일 때 초기 반응 속도가 가장 빠르다. ➡ ⓐ와 ⓑ가 모두 없을 때이다.
- Ⅱ: 기질의 농도가 충분히 증가하면 효소억제제가 없을 때와 초기 반응 속도의 최댓값이 같아진다. ➡ 경쟁적 억제제(ⓑ)가 있을 때이다.
- Ⅲ: 기질의 농도가 충분히 증가해도 Ⅰ과 Ⅱ에서보다 초기 반응 속도의 최댓값이 작다. ➡ 비경쟁적 억제제(ⓐ)가 있을 때이다.

1 ⓐ는 효소의 활성부위가 아닌 다른 부위에 결합하여 활성부위의 구조를 변형함으로써 기질의 결합을 방해하는 비경쟁적 억제제이고, ⓑ는 효소의 활성부위에 결합하여 기질의 결합을 방해하는 경쟁적 억제제이다.

2 효소억제제는 효소와 결합하여 효소기질복합체의 형성을 방해하므로, 기질의 농도가 같은 경우 효소억제제가 없을 때의 초기 반응 속도가 가장 빠르다. 또한 기질의 농도가 높아지면 경쟁적 억제제(ⓑ)의 효과는 감소하지만, 비경쟁적 억제제(ⓐ)의 효과는 감소하지 않는다.

3 경쟁적 억제제는 활성부위에 기질과 경쟁적으로 결합하는 효소억제제이고, 비경쟁적 억제제는 활성부위가 아닌 다른 부위에 결합하는 효소억제제이다.

4 (1) 비경쟁적 억제제(ⓐ)는 기질과 활성부위를 두고 직접적으로 경쟁하지 않는 효소억제제이다.
(2), (3) 경쟁적 억제제(ⓑ)가 있을 때(Ⅱ)에는 기질의 농도가 충분히 높아지면 억제 효과가 감소하여 초기 반응 속도가 효소억제제가 없을 때와 같아지므로, X는 경쟁적 억제제(ⓑ)와 결합해도 분해되어 사라지지 않는다.
(4) 효소기질복합체의 농도는 반응 속도에 비례한다. 따라서 Ⅰ에서 효소기질복합체의 농도는 초기 반응 속도가 느린 S_1일 때가 빠른 S_2일 때보다 낮다.
(5) X에 의한 반응의 활성화에너지는 기질의 농도에 영향을 받지 않으므로, Ⅲ에서 S_1일 때와 S_2일 때가 서로 같다.
(6) S_1일 때 초기 반응 속도는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 빠르므로, S_1일 때 효소기질복합체의 농도는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 높다.
(7) S_1일 때 초기 반응 속도는 Ⅰ에서가 Ⅲ에서보다 빠르므로, S_1일 때 효소기질복합체의 농도는 Ⅰ에서가 Ⅲ에서보다 높다. 따라서 기질과 결합하지 않은 X의 수는 Ⅲ에서가 Ⅰ에서보다 많고, X의 총 수는 Ⅰ과 Ⅲ에서 같으므로, S_1일 때 $\frac{\text{기질과 결합하지 않은 X의 수}}{\text{X의 총 수}}$는 Ⅰ에서가 Ⅲ에서보다 작다.
(8) S_2일 때 초기 반응 속도는 Ⅱ에서가 Ⅲ에서보다 빠르므로, S_2일 때 효소기질복합체의 농도는 Ⅱ에서가 Ⅲ에서보다 높다. 따라서 기질과 결합한 X의 수는 Ⅱ에서가 Ⅲ에서보다 많고, 기질과 결합하지 않은 X의 수는 Ⅱ에서가 Ⅲ에서보다 적으므로, S_2일 때 $\frac{\text{기질과 결합하지 않은 X의 수}}{\text{기질과 결합한 X의 수}}$는 Ⅱ에서가 Ⅲ에서보다 작다.

내신 만점 문제

106쪽~107쪽

01 ⑤	02 ②	03 ③	04 해설 참조
05 ④	06 ②	07 ①	08 ③

01 ㄱ. 온도에 따라 X에 의한 반응 속도가 달라지므로 X의 활성은 온도의 영향을 받는다.
ㄴ. X에 의한 반응 속도는 35 ℃일 때 가장 빠르므로, X의 최적 온도는 35 ℃이다. 효소의 주성분은 단백질이므로 최적온도보다 높은 온도에서 효소의 입체 구조가 변하므로 X의 입체 구조는 35 ℃일 때와 50 ℃일 때가 서로 다르다.
ㄷ. 기질의 농도가 일정할 때 반응이 활발하게 일어날수록 생성물이 많이 생성되므로, X에 의한 반응에서 단위 시간당 생성되는 생성물의 양은 35 ℃일 때가 15 ℃일 때보다 많다.

02 ㄴ. A의 작용 범위는 pH 0~4이고 C의 최적 pH는 8이므로, A는 C의 최적 pH에서 작용하지 않는다.
바로알기 ㄱ. A의 최적 pH는 2, B의 최적 pH는 7, C의 최적 pH는 8로 효소의 최적 pH는 효소의 종류에 따라 다르다.
ㄷ. C는 최적 pH 8에서 효소의 반응 속도가 가장 빠르고 활성이 높으므로, C의 활성은 pH 7일 때가 최적 pH인 pH 8일 때보다 낮다.

03 ㄱ. 과산화 수소가 분해되어 생성된 기포(㉠)에 의해 거름종이 조각이 떠오르며, 과산화 수소는 산소와 물로 분해되므로 ㉠은 산소이다.

ㄴ. 거름종이 조각이 떠오르는 데 걸린 평균 시간은 A에서가 B에서보다 짧으므로, 카탈레이스에 의한 과산화 수소의 분해 작용이 A에서가 B에서보다 더 활발하게 일어났음을 알 수 있다. 따라서 카탈레이스의 활성은 A에서가 B에서보다 높다.

바로알기 ㄷ. 카탈레이스에 의한 반응 속도는 거름종이 조각이 떠오르는 데 걸린 평균 시간과 반비례하므로, A>C>B이다.

04 모범 답안 효소의 주성분인 단백질이 pH에 의해 입체 구조가 변하면 효소기질복합체를 형성하기 어려우므로 효소의 작용은 pH의 영향을 받는다.

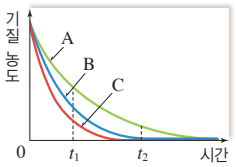
채점 기준	배점
효소의 주성분인 단백질의 입체 구조를 언급하여 효소의 작용이 pH의 영향을 받는다고 옳게 서술한 경우	100 %
효소의 작용이 pH의 영향을 받는다고만 쓴 경우	40 %

05 꼼꼼 문제 분석

X의 농도가 높고 최적온도이다.

실험	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
X의 농도 (상댓값)	2	2	1
온도(℃)	37	15	15

X에 의한 반응에 의해 시간에 따라 기질의 농도가 감소한다.



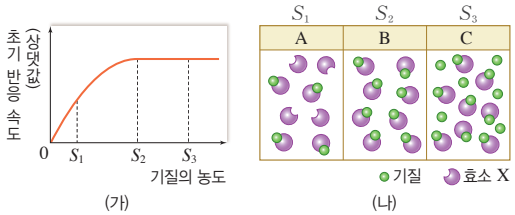
- Ⅰ: X의 농도가 높고 최적온도 조건이므로 반응 속도가 가장 빠르다. ➡ Ⅰ의 결과는 C이다.
- Ⅱ와 Ⅲ: 온도 조건이 같으므로 X의 농도가 높은 Ⅱ에서가 Ⅲ에서보다 반응 속도가 빠르다. ➡ Ⅱ의 결과는 B이고, Ⅲ의 결과는 A이다.

ㄴ. 반응 속도가 빠를수록 기질이 생성물로 더 빨리 전환되어 기질 농도가 더 빨리 감소하므로 시간에 따른 기질 농도 그래프에서 접선의 기울기가 클수록 반응 속도가 크다. t_1일 때 접선의 기울기는 B에서가 A에서보다 크므로 반응 속도는 A에서가 B에서보다 느리다.

ㄷ. X가 기질과 결합하여 효소기질복합체를 많이 형성할수록 반응 속도가 빠르다. C에서 t_2일 때 기질의 농도가 0이므로 반응 속도는 0이며, 기질과 결합한 X의 수는 0이다. 따라서 C에서 기질과 결합한 X의 수는 t_1일 때가 t_2일 때보다 많다.

바로알기 ㄱ. 반응 속도는 효소의 농도가 높고, 최적온도에 가까울수록 빠르다. 따라서 반응 속도가 가장 느린 A는 X의 농도가 가장 낮은 Ⅲ의 결과이다.

06 꼼꼼 문제 분석



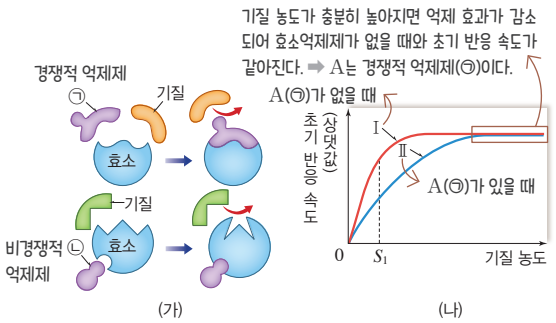
- A: X의 일부는 기질과 결합하지 못하였다. ➡ 기질의 농도가 S_1일 때이다.
- B: 모든 X가 기질과 결합한 상태이다. ➡ 기질의 농도가 S_2일 때이다.
- C: 모든 X가 기질과 결합한 상태이며, X와 결합하지 않은 기질이 있다. ➡ 기질의 농도가 S_3일 때이다.

ㄷ. C에서 X와 결합하지 않은 기질이 있으므로, X를 추가하면 남은 기질들이 X와 결합하여 반응하므로 초기 반응 속도가 증가할 것이다.

바로알기 ㄱ. A는 X의 일부가 기질과 결합하여 효소기질복합체를 형성한 상태이므로 S_1일 때 효소기질복합체의 생성 정도이다.

ㄴ. S_2일 때 초기 반응 속도가 최대이므로 효소기질복합체의 농도는 S_2일 때가 S_1일 때보다 높다.

07 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. ㉠은 X의 활성부위에 결합하므로 경쟁적 억제제이고, ㉡은 X의 활성부위가 아닌 다른 부위에 결합하므로 비경쟁적 억제제이다.

바로알기 ㄴ. (나)에서 S_1일 때 그래프의 접선의 기울기는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 크므로, Ⅰ은 효소억제제가 없을 때의 반응 속도, Ⅱ는 효소억제제가 있을 때의 초기 반응 속도이다. 또한 Ⅱ에서 기질의 농도가 충분히 높아지면 억제 효과가 사라지므로, A는 경쟁적 억제제(㉠)이고 Ⅱ는 A(㉠)가 있을 때이다.

ㄷ. 활성화에너지의 크기는 효소의 유무에 따라서 달라질 수 있지만 경쟁적 억제제(㉠)의 유무에 의해서는 달라지지 않는다. 따라서 X에 의한 반응의 활성화에너지는 Ⅰ에서와 Ⅱ에서가 같다.

08 A. 펙틴에 의해 불투명한 과즙에 펙틴분해효소를 넣으면 펙틴이 분해되어 과즙이 투명해진다.

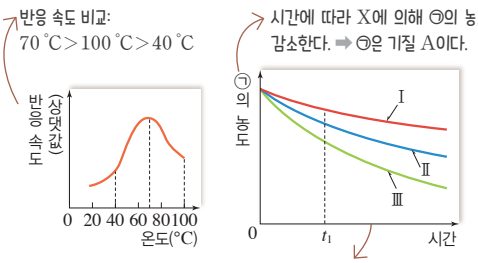
B. 배즙과 키위즙에는 단백질분해효소가 포함되어 있어 고기 양념에 배즙이나 키위즙을 넣으면 단백질이 분해되어 고기가 연해진다.

바로알기 C. 효소는 생명체 밖에서도 반응을 일으킬 수 있다는 것이 알려지면서 19세기에 이르러 산업에 이용되기 시작하였으며 현재 산업, 화장품, 의약품 등 다양한 분야에서 이용된다.

실력 UP 문제 108쪽

01 ③ **02** ㄷ **03** ㄴ, ㄷ

01 꼼꼼 문제 분석

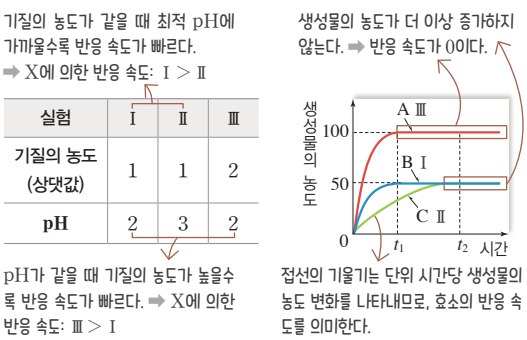


ㄱ. X에 의한 반응이 일어나면 기질 A의 농도는 감소하고 생성물 B의 농도는 증가한다. 따라서 ㉠은 기질 A이다.

ㄴ. ⓒ에 넣어 둔 시험관 Ⅲ의 반응 속도가 가장 빠르므로, ⓒ에 든 물의 온도는 ⓐ~ⓒ 중 최적온도와 가장 가깝다. 따라서 ⓒ는 70 ℃의 물이 든 비커이다.

바로알기 ㄷ. t_1일 때 Ⅱ에서보다 Ⅲ에서 기질 A(㉠)가 더 많이 감소하였으므로 생성물 B의 농도는 Ⅱ에서가 Ⅲ에서보다 낮다.

02 꼼꼼 문제 분석



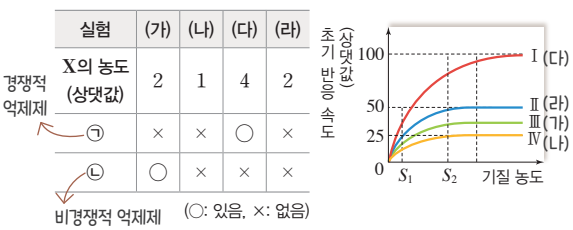
기질의 농도가 높고 최적 pH에 가까울수록 반응 속도가 빠르므로 X에 의한 초기 반응 속도는 Ⅲ > I > Ⅱ이다. 반응 속도가 빠를수록 기질에서 생성물로 더 빨리 전환되어 생성물의 농도가 더 빨리 증가하므로 X에 의한 초기 반응 속도는 A > B > C이다. 따라서 A는 Ⅲ, B는 I, C는 Ⅱ의 결과이다.

ㄷ. X에 의한 반응이 진행되면 기질이 생성물로 전환된다. Ⅱ(C)에서 t_1일 때 그래프의 접선의 기울기가 0보다 크므로 기질이 생성물로 전환되고 있는 상태이며, 일부 X는 기질과 결합하여 효소기질복합체를 형성한 상태이다. t_2일 때는 생성물의 농도가 일정하므로 모든 기질이 생성물로 전환된 상태이며 기질과 결합한 X의 수는 0이다. 따라서 Ⅱ에서 $\frac{\text{기질과 결합한 X의 수}}{\text{기질과 결합하지 않은 X의 수}}$는 t_1일 때가 t_2일 때보다 크다.

바로알기 ㄱ. B는 I의 결과이다.

ㄴ. t_1일 때 A에서 그래프의 접선의 기울기가 0이고, C에서 그래프의 접선의 기울기는 0보다 크다. 따라서 X에 의한 반응 속도는 C에서가 A에서보다 빠르다.

03 꼼꼼 문제 분석



- (가)와 (라): ㉡이 경쟁적 억제제라면 (가)와 (라)의 초기 반응 속도의 최댓값이 같아야 하지만 I ~ Ⅳ의 초기 반응 속도의 최댓값이 모두 다르다. ➡ ㉡은 비경쟁적 억제이다.
- (나)와 (라): (라)에서의 X의 농도가 (나)에서의 2배이고, (나)와 (라) 모두 효소억제제가 없다. ➡ (라)에서의 초기 반응 속도의 최댓값은 (나)에서의 2배이다.
- (다)와 (라): (다)에서의 X의 농도가 (라)에서의 2배이고, (다)에 경쟁적 억제제(㉠)가 있다. ➡ (다)에서의 초기 반응 속도의 최댓값이 (라)에서의 2배이다.

∴ I은 (다), Ⅱ는 (라), Ⅲ은 (가), Ⅳ는 (나)의 결과이다.

ㄴ. 효소기질복합체의 농도는 효소의 초기 반응 속도에 비례한다. S_1일 때 초기 반응 속도는 I에서가 Ⅲ에서보다 높으므로 효소기질복합체의 농도도 I에서가 Ⅲ에서보다 높다.

ㄷ. (나)(Ⅳ)에서 전체 X 중 기질과 결합한 X의 수는 어느 정도까지는 기질 농도가 증가할수록 많아진다. S_1일 때가 S_2일 때보다 기질 농도가 낮으므로 $\frac{\text{기질과 결합한 X의 수}}{\text{X의 총 수}}$는 S_1일 때가 S_2일 때보다 작다.

바로알기 ㄱ. (가)(Ⅲ)에서 ㉡의 억제 효과는 기질 농도가 증가해도 유지되므로, ㉡은 비경쟁적 억제제이다. 비경쟁적 억제제(㉡)는 X의 활성부위가 아닌 다른 부위에 결합하여 활성부위의 구조를 변형함으로써 기질의 결합을 방해한다.

중단원 핵심 정리 109쪽

❶ 활성화에너지 ❷ 효소기질복합체 ❸ 기질특이성 ❹ 전효소 ❺ 주효소 ❻ 보조인자 ❼ 전이효소 ❽ 최적온도 ❾ 최적 pH ❿ 경쟁적 ⓫ 비경쟁적

중단원 마무리 문제 110쪽~112쪽

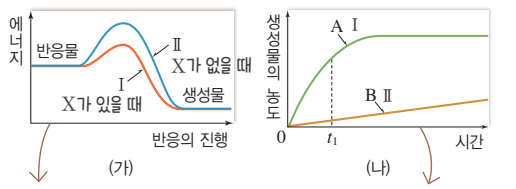
01 ③	**02** ①	**03** ③	**04** ②	**05** ㄱ, ㄴ
06 ㄱ, ㄷ	**07** ②	**08** ⑤	**09** ④	**10** ④
11 해설 참조		**12** 해설 참조		**13** 해설 참조

01 ㄱ. X는 물 분자를 첨가하여 기질을 분해하는 가수분해효소이다.

ㄴ. 가수분해효소인 X에 의한 반응은 반응물의 에너지양이 생성물의 에너지양보다 많은 발열 반응이다. (나)는 발열 반응에서의 에너지 변화를 나타낸 것이므로 X에 의한 반응에서의 에너지 변화는 (나)와 같다.

바로알기 ㄷ. A는 반응물과 생성물의 에너지양 차이인 반응열로, 반응물의 농도 변화와 상관없이 일정하다.

02 꼼꼼 문제 분석



Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 활성화에너지가 작다. ➡ Ⅰ은 X가 있을 때, Ⅱ는 X가 없을 때이다.

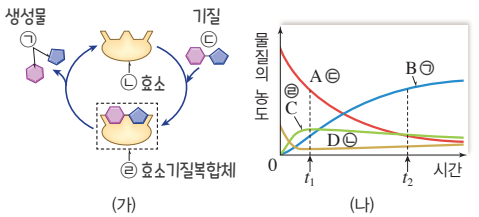
A에서가 B에서보다 생성물의 농도가 높다. ➡ A는 Ⅰ, B는 Ⅱ이다.

ㄱ. 효소는 활성화에너지를 낮추어 화학 반응이 빠르게 일어나도록 한다. 따라서 Ⅰ은 X가 있을 때이고 Ⅱ는 X가 없을 때이며, A는 Ⅰ이고, B는 Ⅱ이다.

바로알기 ㄴ. X에 의해 반응물이 생성물로 전환되고 t_1일 때 생성물의 농도는 A에서가 B에서보다 높으므로, t_1일 때 기질 농도는 A에서가 B에서보다 낮다.

ㄷ. X가 있을 때(A)는 X가 없을 때(B)보다 활성화에너지가 작으므로 이 반응의 활성화에너지는 A에서가 B에서보다 작다.

03 꼼꼼 문제 분석



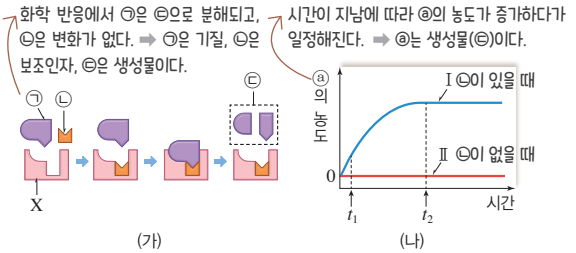
- A: 시간에 따라 농도가 감소한다. ➡ 기질(㉢)
- B: 시간에 따라 농도가 증가한다. ➡ 생성물(㉠)
- C: 시간에 따라 농도가 증가하였다가 감소한다. ➡ 효소기질복합체(㉣)
- D: 시간에 따라 농도가 감소하였다가 증가한다. ➡ 효소(㉡)

ㄱ. 효소에 의한 반응이 진행됨에 따라 기질은 생성물로 전환되므로, 시간에 따라 기질(㉢, A) 농도는 감소한다. 따라서 기질(㉢, A)의 농도는 t_1일 때가 t_2일 때보다 높다.

ㄴ. 기질(㉢, A) 농도 그래프에서 접선의 기울기는 t_1일 때가 t_2일 때보다 크므로, X에 의한 반응 속도는 t_1일 때가 t_2일 때보다 빠르다.

바로알기 ㄷ. t_2일 때 효소기질복합체(㉣, C)가 존재하므로, 효소 반응이 일어나 기질(㉢, A)과 효소(㉡, D)의 결합이 일어나고 있음을 알 수 있다. 따라서 t_2일 때 생성물(㉠, B)이 모두 효소(㉡, D)와 결합하는 것은 아니다.

04 꼼꼼 문제 분석



- Ⅰ: 전효소가 형성되어 반응이 일어났다. ➡ 보조인자(㉡)가 있을 때
- Ⅱ: 전효소가 형성되지 않아 반응이 일어나지 않았다. ➡ 보조인자(㉡)가 없을 때

ㄷ. 보조인자(㉡)가 없으면 전효소가 형성되지 않아 반응이 일어나지 않으므로 생성물(㉢)의 농도가 0이 된다. 따라서 Ⅰ은 ㉡이 있을 때이고, Ⅱ는 ㉡이 없을 때이다.

바로알기 ㄱ. ⓐ는 시간이 지남에 따라 농도가 증가하므로 생성물(㉡)이다.

ㄴ. 활성화에너지의 크기는 기질과 생성물의 농도에 영향을 받지 않으므로, Ⅰ에서 X에 의한 반응의 활성화에너지는 t_1일 때와 t_2일 때가 서로 같다.

05 ㉠은 물을 첨가하여 기질을 분해하는 가수분해효소이고, ㉡은 특정 기질에서 작용기(−NH_2)를 떼어 다른 분자에 전달하는 전이효소이다.

ㄱ. 수크레이스는 물을 첨가하여 설탕을 분해하는 효소이므로 가수분해효소(㉠)에 해당한다.

ㄴ. 기질특이성은 효소가 특정 기질과만 결합하여 작용하는 특성이다. 수크레이스는 설탕과는 결합하지만 엿당과는 결합하지 못하므로 설탕에 대한 기질특이성을 갖는다.

바로알기 ㄷ. 기질의 원자 배열을 바꾸어 이성질체로 만드는 것은 이성질화효소이다.

06 ㄱ. 아밀레이스는 녹말을 엿당으로 분해하는 소화효소이다.

ㄷ. 시험관 A~C에서는 온도 조건만 다르고, 시험관 D~F에서는 pH 조건만 다르다. 따라서 시험관 A~C의 실험 결과를 비교하여 아밀레이스의 작용이 온도의 영향을 받는다는 것을, 시험관 D~F의 실험 결과를 비교하여 아밀레이스의 작용이 pH의 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

바로알기 ㄴ. 아이오딘−아이오딘화 칼륨 용액은 녹말 검출 용액이므로, (나)에서 시험관의 용액에 색깔 변화가 나타나면 아밀레이스의 작용에 의해 녹말이 분해되었음을 알 수 있다. 아밀레이스처럼 사람의 몸에 있는 소화효소는 35 ℃~40 ℃ 범위에서 반응 속도가 가장 높고, 최적온도보다 온도가 높으면 효소는 입체 구조가 변하여 반응 속도가 감소한다. 따라서 35 ℃의 시험관 B에서는 아밀레이스의 활성이 높아 색깔 변화가 나타나지만 60 ℃의 시험관 C에서는 아밀레이스의 활성이 낮아 색깔 변화가 거의 나타나지 않을 것이다.

07 ㄷ. 50 ℃는 B의 최적온도인 70 ℃보다 낮으므로 B의 활성은 50 ℃일 때가 70 ℃일 때보다 낮다.

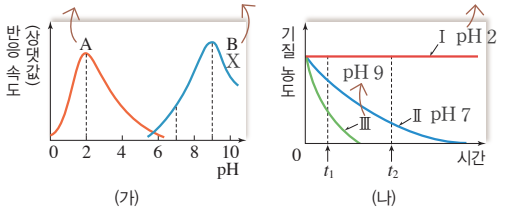
바로알기 ㄱ. A의 최적온도는 30 ℃이고, B의 최적온도는 70 ℃이므로 A의 최적온도는 B의 최적온도보다 낮다.

ㄴ. 효소는 최적온도보다 높은 온도일 때 단백질의 입체 구조가 변하므로, A는 최적온도인 30 ℃보다 높은 온도인 50 ℃일 때 입체 구조가 변할 것이다.

08 꼼꼼 문제 분석

A는 pH 2, 7, 9 중 7과 9일 때 반응이 일어나지 않고, B는 pH 2에서만 반응이 일어나지 않는다.

반응이 일어나지 않는 것은 Ⅰ뿐이다. ➡ X는 B이다.



- Ⅰ: 반응이 일어나지 않는다. ➡ pH 2
- Ⅱ와 Ⅲ: Ⅲ에서가 Ⅱ에서보다 반응 속도가 빠르다. ➡ Ⅱ는 pH 7, Ⅲ은 pH 9

ㄱ. pH 2, 7, 9 중 B는 pH 7과 9일 때 반응이 일어나고 pH 2일 때 반응이 일어나지 않으므로 X는 B이다.

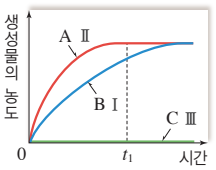
ㄴ. t_1일 때 X(B)에 의한 반응 속도는 그래프의 접선의 기울기가 큰 Ⅱ(pH 7)일 때가 Ⅰ(pH 2)일 때보다 빠르다.

ㄷ. 효소기질복합체의 농도가 높을수록 효소의 반응 속도가 빠르므로, t_2일 때 효소기질복합체의 농도는 Ⅱ(pH 7)일 때가 Ⅲ(pH 9)일 때보다 높다.

09 꼼꼼 문제 분석

실험	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
주효소	○	○	○
보조인자 ㉠	○	○	×
효소억제제 ㉡	○	×	×

(○: 있음, ×: 없음)



❶ ㉠이 효소억제제이고 ㉡이 보조인자라면 Ⅱ와 Ⅲ 모두 보조인자가 없으므로 결과가 같아야 하지만 Ⅰ~Ⅲ의 결과가 A~C로 모두 다르다. ➡ ㉠은 보조인자이고 ㉡은 효소억제제이다.

❷ 보조인자(㉠)가 없으면 전효소가 형성되지 않아 반응이 일어나지 않는다. ➡ 보조인자(㉠)가 없는 Ⅲ의 결과는 C이다.

❸ 생성물의 농도가 최댓값에 도달하기까지 걸린 시간은 A에서가 B에서보다 짧다. ➡ A는 효소억제제(㉡)가 없는 Ⅱ의 결과이고, B는 효소억제제(㉡)가 있는 Ⅰ의 결과이다.

ㄴ. A는 Ⅱ, B는 Ⅰ, C는 Ⅲ의 결과이다.

ㄷ. Ⅰ(B)에서 t_1일 때 그래프의 접선의 기울기가 0보다 크므로 효소기질복합체가 형성되어 반응이 일어나고 있다. Ⅱ(A)에서 t_1일 때 그래프의 접선의 기울기는 0이므로 모든 반응이 끝나, X와 결합한 기질의 수가 0이다. 따라서 Ⅰ(B)에서가 Ⅱ(A)에서보다 $\frac{\text{X와 결합한 기질의 수}}{\text{X와 결합하지 않은 기질의 수}}$가 크다.

바로알기 ㄱ. ㉠은 보조인자이고 ㉡은 효소억제제이다.

10 꼼꼼 문제 분석

구분	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
A㉠	없음	ⓐ있음	ⓑ있음	있음
효소억제제㉡	있음	ⓒ없음	있음	없음
X의 농도(상댓값)	1	1	2	2
초기 반응 속도(상댓값)	?0	25	25	50

- Ⅳ: 초기 반응 속도가 0이 아니므로 기질이 있어 반응이 일어난다. ➡ ㉠은 A이고, ㉡은 효소억제제이다.
- Ⅱ와 Ⅳ: X의 농도는 Ⅳ에서가 Ⅱ에서의 2배이고, 초기 반응 속도도 2배이다. ➡ ⓐ는 '있음'이고, ⓒ는 '없음'이다.
- Ⅲ: 초기 반응 속도가 0이 아니므로, 기질 A(㉠)가 있다. ➡ ⓑ는 '있음'이다.
- Ⅲ와 Ⅳ: X의 농도가 같으나 초기 반응 속도가 Ⅲ에서와 Ⅳ에서가 다르므로, Ⅲ에서는 A의 농도가 충분해도 ㉡의 억제 효과가 감소하지 않는다. ➡ ㉡은 비경쟁적 억제제이다.

ㄱ. ⓐ는 '있음', ⓑ는 '있음', ⓒ는 '없음'이다.

ㄷ. X에 의한 반응의 활성화에너지는 X의 유무에 의해 결정되므로 X가 있는 Ⅱ에서와 Ⅳ에서의 활성화에너지는 서로 같다.

바로알기 ㄴ. 기질인 ㉠은 효소의 활성부위에 결합하지만, ㉡은 비경쟁적 억제제로 효소의 활성부위가 아닌 부위에 결합한다.

11 활성화에너지는 화학 반응이 일어나는 데 필요한 최소한의 에너지이며, 효소가 있을 때는 효소가 없을 때보다 활성화에너지가 낮아져 반응 속도가 빨라진다.

모범 답안 (1) B+C

(2) X가 있을 때, X가 있을 때의 활성화에너지(B+C)는 X가 없을 때의 활성화에너지(A+B+C)보다 낮아 화학 반응이 일어날 수 있는 반응물의 수가 더 많아지기 때문이다.

채점 기준		배점
(1)	'B+C'라고 쓴 경우	30 %
(2)	X가 있을 때라고 쓰고, 활성화에너지가 낮아 화학 반응이 일어날 수 있는 반응물의 수가 많아지기 때문이라고 옳게 서술한 경우	70 %
	X가 있을 때라고 쓰고, 활성화에너지가 낮아지기 때문이라고만 서술한 경우	50 %
	X가 있을 때라고만 쓴 경우	30 %

12 효소는 활성부위의 입체 구조에 맞는 기질과만 결합하여 효소기질복합체를 형성한다.

모범 답안 주성분이 단백질인 효소는 고유한 입체 구조를 가지므로 효소의 활성부위와 입체 구조가 들어맞는 기질과만 결합하여 작용하는 기질특이성이 있다.

채점 기준	배점
제시된 단어를 모두 포함하여 효소의 특성을 옳게 서술한 경우	100 %
제시된 단어 중 두 가지만 포함하여 효소의 특성을 옳게 서술한 경우	70 %

13 경쟁적 억제제는 효소의 활성부위에 결합하여 효소의 작용을 억제한다. Ⅱ에서가 Ⅰ에서보다 초기 반응 속도가 느리지만, 기질의 농도가 충분할 때는 A의 억제 효과가 사라져 초기 반응 속도의 최댓값이 같아진다.

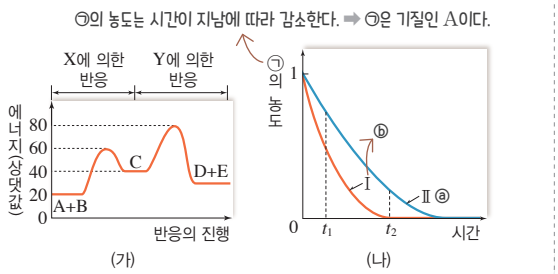
모범 답안 경쟁적 억제제, 경쟁적 억제제의 경우 기질 농도가 증가하면 효소의 활성부위에 결합할 확률이 낮아져 억제제 효과가 감소하므로 Ⅱ에서 기질 농도가 충분히 증가하면 A가 없을 때(Ⅰ)와 초기 반응 속도의 최댓값이 같아지기 때문이다.

채점 기준	배점
경쟁적 억제제라고 쓰고, 그 까닭을 기질의 농도가 충분할 때 경쟁적 억제제의 효과와 관련지어 옳게 서술한 경우	100 %
경쟁적 억제제라고 쓰고, 그 까닭을 기질의 농도가 충분할 때 초기 반응 속도의 최댓값이 A가 없을 때와 같아지기 때문이라고 서술한 경우	70 %
경쟁적 억제제라고만 쓴 경우	30 %

중단원 고난도 문제 113쪽

01 ① **02** ③ **03** ⑤

01 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

㉠. Ⅰ은 X의 농도가 ⓑ일 때이다.

ㄴ. X에 의한 반응의 활성화에너지는 Y에 의한 반응의 활성화에너지보다 작다. 와 같다

ㄷ. ㉠과 결합하지 않은 X의 수는 Ⅱ의 t_1에서가 Ⅰ의 t_2에서보다 많다. 적다

전략적 풀이 ❶ (가)를 통해 효소에 의한 반응에서의 활성화에너지를 알아낸다.

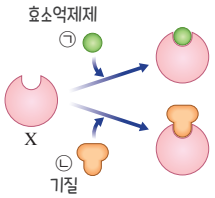
ㄴ. X에 의한 반응의 활성화에너지는 60−20=40이고, Y에 의한 반응의 활성화에너지는 80−40=40이므로 X에 의한 반응의 활성화에너지는 Y에 의한 반응의 활성화에너지와 같다.

❷ (나)를 통해 시간에 따른 기질의 농도 그래프가 효소의 농도에 따라 어떻게 다른지 분석한다.

ㄱ. X에 의한 반응이 일어나면 기질인 A가 생성물인 C로 전환되므로, 시간이 지남에 따라 A의 농도는 감소하고 C의 농도는 증가한다. (나)에서 시간이 지남에 따라 ㉠의 농도가 감소하므로 ㉠은 A이다. X의 농도가 높을수록 효소기질복합체가 더 많이 형성되어 반응 속도가 빠르므로 Ⅰ은 X의 농도가 높은 ⓑ일 때이고, Ⅱ는 X의 농도가 낮은 ⓐ일 때이다.

ㄷ. Ⅰ의 t_2일 때 ㉠(A)의 농도는 0이므로 모든 X가 ㉠(A)과 결합하지 않은 상태이다. 따라서 ㉠(A)과 결합하지 않은 X의 수는 Ⅱ의 t_1일 때가 Ⅰ의 t_2일 때보다 적다.

02 꼼꼼 문제 분석



Ⅰ과 Ⅱ에서 모두 반응이 일어났다.
➡ Ⅰ과 Ⅱ에 모두 기질이 있다.

구분	기질의 농도(상댓값)		
	t_1	t_2	t_3
㉡ Ⅰ	0	0	3
㉠, ㉡ Ⅱ	1	2	4

선택지 분석

㉠ Ⅰ은 ㉡만 있을 때의 결과이다.

㉡ X에 의한 반응은 $t_3 \rightarrow t_2 \rightarrow t_1$ 순으로 진행된다.

~~ㄷ~~. t_2일 때 효소기질복합체의 농도는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 높다. 낮다

전략적 풀이 ❶ t_1~t_3일 때 기질의 농도를 비교하여 t_1~t_3의 순서를 파악한다.

ㄴ. X에 의한 반응에서 시간에 따라 기질의 농도는 감소한다. Ⅱ에서 기질의 농도는 $t_3 > t_2 > t_1$이므로 X에 의한 반응은 $t_3 \rightarrow t_2 \rightarrow t_1$ 순으로 진행된다.

❷ 기질과 효소억제제 유무에 따른 효소의 초기 반응 속도를 바탕으로 ㉠과 ㉡을 구분한다.

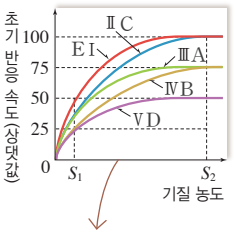
ㄱ. 기질이 없으면 X에 의한 반응이 일어나지 않으나 Ⅰ과 Ⅱ에서 모두 X에 의한 반응이 일어났으므로, Ⅰ과 Ⅱ에 모두 있는 ㉡이 기질이고, ㉠은 효소억제제이다. Ⅱ는 Ⅰ에 비해 기질의 농도가 천천히 감소한다. 따라서 Ⅱ가 기질(㉡)과 효소억제제(㉠)가 모두 있을 때의 결과이고, Ⅰ은 기질(㉡)만 있을 때의 결과이다.

ㄷ. t_2일 때 Ⅰ에서는 기질의 농도가 0으로 반응이 더 이상 일어나지 않으므로 효소기질복합체의 농도가 0이다. 따라서 t_2일 때 효소기질복합체의 농도는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 낮다.

03 꼼꼼 문제 분석

실험	A	B	C	D	E
X의 농도 (상댓값)	1.5	1.5	2	2	2
경쟁적 억제제 ㉠	×	ⓐ ○	○	ⓑ ×	×
㉡ 비경쟁적 억제제	×	ⓑ ×	×	ⓐ ○	×

(○: 있음, ×: 없음)



효소억제제가 없고 기질 농도가 같을 때, 효소의 농도가 n배 증가하면 초기 반응 속도의 최댓값이 n배가 된다. ➡ Ⅰ에서 X의 농도 : Ⅲ에서 X의 농도 = 100 : 75 = 2 : 1.5

선택지 분석

㉠ ⓑ는 '×'이다.

㉡ S_1일 때 효소기질복합체의 농도는 D에서가 C에서보다 낮다.

㉢ B에서 $\frac{\text{기질과 결합한 X의 수}}{\text{기질과 결합하지 않은 X의 수}}$는 S_2일 때가 S_1일 때보다 크다.

전략적 풀이 ❶ A~E의 결과가 각각 Ⅰ~Ⅴ 중 무엇에 해당하는지 판단한다.

ㄱ. 기질 농도가 S_2일 때 Ⅰ에서의 초기 반응 속도 : Ⅲ에서의 초기 반응 속도 = 100 : 75 = 4 : 3이고, E에서 X의 농도 : A에서 X의 농도 = 2 : 1.5 = 4 : 3이므로, Ⅰ은 E의 결과이고, Ⅲ은 A의 결과이다.

㉠은 X의 활성부위에 결합하므로 경쟁적 억제제이고, 경쟁적 억제제는 기질의 농도가 충분히 높으면 억제 효과가 사라진다. Ⅱ는 기질 농도가 충분히 높아지면 초기 반응 속도가 Ⅰ(E)과 같아지므로, Ⅰ(E)과 같은 조건에 경쟁적 억제제(㉠)가 있을 때인 C의 결과이고, Ⅳ와 Ⅴ는 각각 B와 D의 결과 중 하나이다. ㉠과 ㉡의 유무 조건이 서로 다르므로, Ⅳ는 Ⅲ(A)과 같은 조건에 경쟁적 억제제가 있을 때인 B의 결과이고, Ⅴ는 Ⅰ(E)과 같은 조건에 비경쟁적 억제제가 있을 때인 D의 결과이다.

❷ 기질과 효소의 농도가 같을 때 초기 반응 속도 차이를 통해 효소기질복합체 농도의 차이를 파악한다.

ㄴ. 효소기질복합체의 농도가 높을수록 초기 반응 속도가 빠르다. S_1일 때 초기 반응 속도는 D(Ⅴ)에서가 C(Ⅱ)에서보다 느리므로 S_1일 때 효소기질복합체의 농도는 D(Ⅴ)에서가 C(Ⅱ)에서보다 낮다.

ㄷ. B(Ⅳ)에서 초기 반응 속도는 S_2일 때가 S_1일 때보다 빠르므로 효소기질복합체의 농도는 S_2일 때가 S_1일 때보다 높다. 따라서 $\frac{\text{기질과 결합한 X의 수}}{\text{기질과 결합하지 않은 X의 수}}$는 S_2일 때가 S_1일 때보다 크다.

Ⅲ

세포호흡과 광합성

1 세포호흡과 발효

01 / 세포호흡

개념 확인 문제 117쪽

❶ 이중막 ❷ 크리스타 ❸ 마이토콘드리아 ❹ TCA 회로 ❺ 산화적

1 A: 바탕질, B: 막사이공간, C: 외막, D: 내막 **2** A: 해당 과정, B: 피루브산의 산화, C: TCA 회로, D: 산화적 인산화

1 마이토콘드리아는 외막과 내막의 이중막 구조이며, 외막과 내막 사이의 공간을 막사이공간, 내막 안쪽의 공간을 바탕질이라고 한다.

2 세포호흡은 세 단계로 구분된다. 1단계는 해당 과정으로 세포질에서 일어나며, 포도당 1분자가 피루브산 2분자로 분해되면서 NADH, 소량의 ATP가 생성된다. 2단계는 피루브산의 산화 및 TCA 회로로 마이토콘드리아 바탕질에서 일어나며, 피루브산이 아세틸조효소 A로 산화된 후 TCA 회로를 거쳐 이산화 탄소로 분해되면서 NADH, $FADH_2$, 소량의 ATP가 생성된다. 3단계는 산화적 인산화로 마이토콘드리아 내막에서 일어나며, 해당 과정, 피루브산의 산화 및 TCA 회로에서 생성된 NADH, $FADH_2$로부터 다량의 ATP가 생성된다.

개념 확인 문제 122쪽

❶ 피루브산 ❷ 2 ❸ 2 ❹ 2 ❺ 아세틸조효소 A ❻ 이산화 탄소 ❼ 3 ❽ 4 ❾ 1 ❿ 1

1 (1) 피루브산 (2) (나) (3) (나) **2** (1) (가), (다), (라) (2) (가), (다), (라), (마), (바) (3) ㉠ 1, ㉡ 1 (4) ㉠ 2, ㉡ 3, ㉢ 1, ㉣ 1 **3** (1) (가) 막사이공간 (나) 마이토콘드리아 바탕질 (2) (나) (3) ㉠ NADH, ㉡ $FADH_2$ (4) 산소(O_2)

1 (1) 해당 과정은 포도당 1분자가 여러 단계의 반응을 거쳐 피루브산(㉠) 2분자로 분해되는 과정이다.
(2), (3) (가)는 ATP 소모 단계로, 포도당 1분자가 과당 2인산 1분자로 활성화되면서 ATP 2분자가 소모되고, (나)는 ATP 생성 단계로, 과당 2인산 1분자가 피루브산 2분자로 분해되면서 NADH 2분자와 ATP 4분자가 생성된다.

2 (1) 피루브산(C_3)이 아세틸조효소 A(C_2)로 전환되는 과정(가), 시트르산(C_6)이 5탄소 화합물(C_5)로 전환되는 과정(다), 5탄소 화합물(C_5)이 4탄소 화합물(C_4)로 전환되는 과정(라)에서 탈탄산 반응이 일어나 CO_2가 방출된다.
(2) 피루브산(C_3)이 아세틸조효소 A(C_2)로 산화되는 과정(가), 시트르산(C_6)이 5탄소 화합물(C_5)로 산화되는 과정(다), 5탄소 화합물(C_5)이 4탄소 화합물(C_4)로 산화되는 과정(라), 4탄소 화합물(C_4)이 옥살아세트산(C_4)으로 산화되는 과정(바)에서 탈수소 반응이 일어나 NADH가 생성된다. 4탄소 화합물(C_4)이 4탄소 화합물(C_4)로 산화되는 과정(마)에서 $FADH_2$가 생성된다고 하였으므로, 탈수소 반응이 일어난다.
(3) 피루브산 1분자가 아세틸조효소 A 1분자로 산화되는 과정에서 이산화 탄소 1분자를 방출하고 NADH 1분자를 생성하며 조효소 A와 결합한다.
(4) 아세틸조효소 A 1분자가 TCA 회로를 거치면 이산화 탄소 2분자를 방출하고 NADH 3분자, $FADH_2$ 1분자, ATP 1분자를 생성한다.

3 (1), (2) NADH와 $FADH_2$에서 전자전달계로 전달된 고에너지 전자는 전자전달계의 전자운반체를 차례로 환원시키면서 최종적으로 산소에 전달된다. 이때 방출되는 에너지를 이용하여 일부 전자운반체는 H^+을 마이토콘드리아 바탕질(나)에서 막사이공간(가)으로 능동수송한다. H^+의 농도는 막사이공간(가)에서가 바탕질(나)에서보다 높으므로 pH는 막사이공간(가)에서가 바탕질(나)에서보다 낮다.
(3), (4) 전자전달계에 전자를 제공하는 ㉠은 NADH이고, ㉡은 $FADH_2$이다. 전자전달계에서 전자의 최종 수용체인 ㉢은 산소(O_2)이다.

개념 확인 문제 124쪽

❶ 2 ❷ 2 ❸ 28 ❹ 32 ❺ 34 ❻ 호흡기질

1 (1) (가) 기질수준인산화 (나) 기질수준인산화 (다) 산화적 인산화 (2) ㉠ 2, ㉡ 2, ㉢ 28 **2** (가) 단백질 (나) 탄수화물 (다) 지방

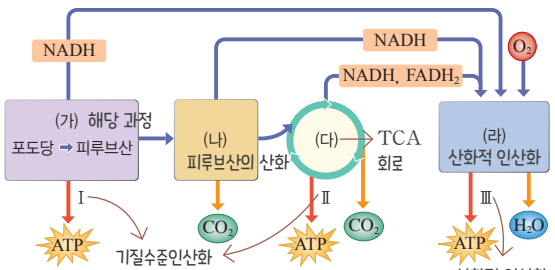
1 해당 과정에서 기질수준인산화(가)로 2ATP를 생성하고, 피루브산의 산화 및 TCA 회로에서 기질수준인산화(나)로 2ATP를 생성하며, 산화적 인산화(다)로 최대 28ATP를 생성한다. 그 결과 포도당 1분자가 최종 분해되면 최대 32ATP가 생성된다.

2 호흡기질은 세포호흡에 이용되는 유기물로, 탄수화물, 단백질, 지방 등이 있다. 아미노산으로 분해되는 (가)는 단백질, 포도당으로 분해되는 (나)는 탄수화물, 글리세롤과 지방산으로 분해되는 (다)는 지방이다.

대표 자료 분석 1 125쪽

1 (가) 해당 과정 (나) 피루브산의 산화 (다) TCA 회로 (라) 산화적 인산화 **2** (나), (다), (라) **3** ㉠ ○, ㉡ ×, ㉢ ×, ㉣ ○, ㉤ ○, ㉥ ○, ㉦ ○, ㉧ × **4** (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) × (6) × (7) ○ (8) ○

꼼꼼 문제 분석



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

2 (가)는 세포질에서, (나)와 (다)는 모두 마이토콘드리아 바탕질에서, (라)는 마이토콘드리아 내막에서 일어난다.

3 해당 과정(가)에서 포도당 1분자당 피루브산 2분자, NADH 2분자, ATP 2분자가 순생성된다. 피루브산의 산화(나)에서 피루브산 1분자당 아세틸조효소 A 1분자, CO_2 1분자, NADH 1분자가 생성된다. TCA 회로(다)에서 아세틸조효소 A 1분자당 CO_2 2분자, NADH 3분자, $FADH_2$ 1분자, ATP 1분자가 생성된다. 산화적 인산화(라)에서 ATP가 최대 28분자 생성된다.

4 (1) Ⅰ과 Ⅱ는 모두 기질수준인산화이고, Ⅲ은 산화적 인산화이다.
(2) 해당 과정(가)은 포도당이 세포질에서 피루브산으로 분해되는 과정이므로, 해당 과정(가)에 관여하는 효소는 세포질에 존재한다.
(3) 해당 과정(가), 피루브산의 산화(나), TCA 회로(다)에서 모두 탈수소효소가 작용하여 NADH 또는 $FADH_2$가 생성된다.
(4) 피루브산의 산화(나)와 TCA 회로(다)에서 모두 탈탄산 반응이 일어나 CO_2가 생성되지만, 해당 과정(가)에서는 탈탄산 반응이 일어나지 않는다.
(5) 해당 과정(가)에서 순생성되는 ATP의 분자 수는 2, NADH의 분자 수는 2이므로 $\frac{\text{ATP의 분자 수}}{\text{NADH의 분자 수}}=1$이다.
(6) 피루브산의 산화(나)에서 피루브산은 아세틸조효소 A로 산화되고, NAD^+가 NADH로 환원된다.
(7) 해당 과정(가)은 세포질에서, 피루브산의 산화(나)와 TCA 회로(다)는 모두 마이토콘드리아 바탕질에서, 산화적 인산화(라)는 마이토콘드리아 내막에서 일어난다.
(8) 산화적 인산화(라)에서 NADH와 $FADH_2$는 전자전달계에 고에너지 전자를 전달하고, 각각 NAD^+와 FAD로 산화된다.

대표 자료 분석 2 126쪽

1 ㉠ 포도당, ㉡ 과당 2인산, ㉢ 피루브산 **2** (나) **3** (1) ⓐ ㉠, ⓑ ㉢ (2) Ⅰ, Ⅱ (3) Ⅰ, Ⅱ **4** (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○ (5) × (6) × (7) × (8) ×

1 ㉠은 포도당(C_6), ㉡은 과당 2인산(C_6), ㉢은 피루브산(C_3)이다.

2 포도당 1분자당 (가)에서 ATP 2분자가 소모되며, (나)에서 무기인산이 첨가되며 NADH 2분자가 생성되고, (다)에서 ATP 4분자가 생성된다. 따라서 (나)에서 탈수소 반응이 일어난다.

3 (1) ⓐ는 포도당(㉠)이고, ⓑ는 피루브산(㉢)이다.
(2) Ⅰ에서 포도당 1분자가 과당 2인산 1분자로 활성화되면서 ATP 2분자가 소모되고, Ⅱ에서 과당 2인산 1분자가 피루브산 2분자로 분해되면서 NADH 2분자와 ATP 4분자가 생성된다.
(3) Ⅰ과 Ⅱ는 모두 세포질에서 일어난다.

4 (1) (가)에서 6탄소 화합물인 포도당(㉠) 1분자가 6탄소 화합물인 과당 2인산(㉡)으로 전환되므로 탈탄산 반응이 일어나지 않는다.

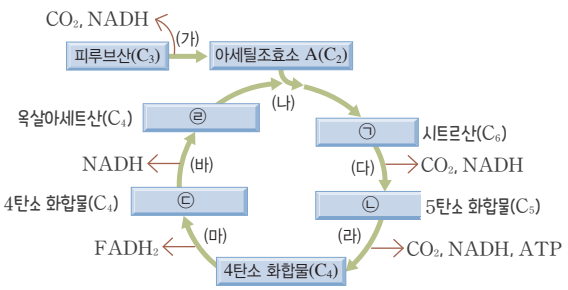
(2) (나)에서 탈수소효소가 작용하여 NADH가 생성된다.
(3) (다)에서 기질수준인산화가 일어나 ATP가 생성된다.
(4) 해당 과정에서는 산소가 사용되지 않는다.
(5), (6) 포도당(㉠) 1분자가 과당 2인산(㉡) 1분자로 활성화되면서 ATP 2분자가 소모되므로, 1분자당 에너지양은 과당 2인산(㉡)이 포도당(㉠)보다 많다.
(7) 포도당(㉠)의 분자식은 $C_6H_{12}O_6$이고, 피루브산(㉢)의 분자식은 $C_3H_4O_3$이므로, 1분자당 $\frac{\text{탄소 수}}{\text{수소 수}}$는 포도당(㉠)이 $\frac{6}{12}=\frac{1}{2}$이고, 피루브산(㉢)이 $\frac{3}{4}$이다.
(8) 1분자의 포도당(㉠)이 2분자의 피루브산(㉢)으로 전환되는 과정에서 2NADH와 2ATP가 순생성된다.

대표 자료 분석 3

127쪽

1 ㉠ 시트르산, ㉡ 5탄소 화합물, ㉢ 4탄소 화합물, ㉣ 옥살아세트산
2 (1) ⓐ NADH, ⓑ $FADH_2$, ⓒ CO_2, ⓓ ATP (2) (가), (다), (라)
3 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ○ (6) ×

꼼꼼 문제 분석



1 ㉠은 시트르산, ㉡은 5탄소 화합물, ㉢은 4탄소 화합물, ㉣은 옥살아세트산이다.

2 (1) (라)에서 기질수준인산화가 일어난다고 하였으므로 (라)에서만 ATP가 생성되어 ⓓ는 ATP이고, (마)에서만 $FADH_2$가 생성되므로 ⓑ는 $FADH_2$이다. (가), (다), (라), (바)에서 모두 NADH가 생성되므로 ⓐ는 NADH이고, 나머지 ⓒ는 CO_2이다.
(2) 피루브산이 아세틸조효소 A로 전환되는 과정인 (가), 시트르산이 5탄소 화합물로 전환되는 과정인 (다), 5탄소 화합물이 4탄소 화합물로 전환되는 과정인 (라)에서 탈탄산 반응이 일어나 CO_2(ⓒ)가 생성된다.

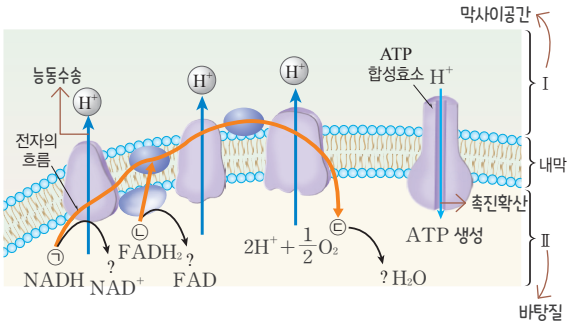
3 (1) 피루브산의 산화 및 TCA 회로는 마이토콘드리아 바탕질에서 일어난다.
(2) (가)에서 피루브산이 아세틸조효소 A로 산화될 때 탈탄산 반응이 일어나 CO_2가 생성되고, 탈수소 반응이 일어나 NADH가 생성된다.
(3) 피루브산이 아세틸조효소 A로 산화되는 과정(가), 시트르산(㉠)이 5탄소 화합물(㉡)로 산화되는 과정(다), 5탄소 화합물(㉡)이 4탄소 화합물로 산화되는 과정(라)에서 탈탄산 반응이 일어나 CO_2가 생성되고, 탈수소 반응이 일어나 NADH가 생성된다.
(4) 5탄소 화합물(㉡)의 탄소 수는 5이고 4탄소 화합물(㉢)의 탄소 수는 4이므로 1분자당 $\frac{\text{㉡의 탄소 수}}{\text{㉢의 탄소 수}}=\frac{5}{4}$이다.
(5) ㉠은 시트르산(C_6), ㉡은 5탄소 화합물(C_5), ㉢은 4탄소 화합물(C_4), ㉣은 옥살아세트산(C_4)이므로, 1분자당 탄소 수는 ㉠이 가장 크다.
(6) 1분자의 시트르산(㉠)이 1분자의 옥살아세트산(㉣)으로 전환되는 과정에서 $2CO_2$, $1FADH_2$, 3NADH가 생성된다.

대표 자료 분석 4

128쪽

1 Ⅰ: 막사이공간, Ⅱ: 마이토콘드리아 바탕질 **2** ㉠ NADH, ㉡ $FADH_2$, ㉢ O_2 **3** 해설 참조 **4** (1) × (2) × (3) ○ (4) ○ (5) × (6) × (7) ○

꼼꼼 문제 분석



1 NADH와 $FADH_2$에서 전자전달계로 전달된 고에너지 전자는 전자전달계의 전자운반체를 차례로 환원시키면서 최종적으로 산소에 전달된다. 이때 방출되는 에너지를 이용하여 일부 전자운반체는 H^+을 마이토콘드리아 바탕질에서 막사이공간으로 능동수송한다. 따라서 Ⅰ은 막사이공간이고, Ⅱ는 마이토콘드리아 바탕질이다.

2 전자전달계에 전자를 제공하는 ㉠은 NADH이고, ㉡은 $FADH_2$이다. 전자전달계에서 전자의 최종 수용체인 ㉢은 O_2이다.

3 포도당 1분자가 최종 분해될 때 산화적 인산화로 최대 28ATP가 생성된다.

모범 답안 해당 과정에서 NADH 2분자, 피루브산의 산화 및 TCA 회로에서 NADH 8분자가 생성되어 총 NADH 10분자가 생성되고, TCA 회로에서 $FADH_2$ 2분자가 생성되므로, 포도당 1분자가 분해될 때 산화적 인산화를 통해 생성되는 ATP의 최대 분자 수는 $25(=10\times2.5)+3(=2\times1.5)=28$이다.

채점 기준	배점
ATP의 최대 분자 수를 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우	100 %
ATP의 최대 분자 수만 옳게 쓴 경우	30 %

4 (1) 전자전달계에서 전자의 최종 수용체는 O_2이다.
(2) 전자전달계에서 1분자의 $FADH_2$(㉡)가 산화될 때 1분자의 H_2O이 생성된다.
(3) 1분자의 NADH(㉠)로부터 전자전달계로 전달되는 전자의 개수는 2개이고, 1분자의 $FADH_2$(㉡)로부터 전자전달계로 전달되는 전자의 개수도 2개이다.
(4) 산화적 인산화를 통해 1분자의 NADH(㉠)로부터 약 2.5ATP가 생성되고, 1분자의 $FADH_2$(㉡)로부터 약 1.5ATP가 생성된다.
(5) H^+의 농도는 막사이공간(Ⅰ)에서가 바탕질(Ⅱ)에서보다 높으므로 pH는 막사이공간(Ⅰ)에서가 바탕질(Ⅱ)에서보다 낮다.
(6) H^+이 전자전달계를 통해 바탕질(Ⅱ)에서 막사이공간(Ⅰ)으로 이동하는 방식은 능동수송이다.
(7) 마이토콘드리아 내막을 경계로 형성된 H^+의 농도 기울기에 따라 H^+이 ATP 합성효소를 통해 막사이공간(Ⅰ)에서 바탕질(Ⅱ)로 확산될 때 ATP가 생성된다.

내신 만점 문제 129쪽~132쪽

01 ④ **02** ③ **03** ⑤ **04** 해설 참조
05 (가) 해당 과정 (나) TCA 회로 (다) 산화적 인산화 **06** ②
07 ① **08** ⑤ **09** ④ **10** ② **11** ③
12 해설 참조 **13** ⑤ **14** ④ **15** ③ **16** ④
17 ① **18** ① **19** ③ **20** ③

01 마이토콘드리아는 외막과 내막의 이중막 구조이며, 외막과 내막 사이의 공간을 막사이공간, 내막 안쪽의 공간을 바탕질이라고 한다. 내막은 안쪽으로 접혀 들어가 주름진 구조인 크리스타를 형성하며, 전자전달효소, ATP 합성효소 등이 있다. 바탕질에는 DNA, 라이보솜, 여러 가지 효소가 있다.
바로알기 ④ 바탕질에서 TCA 회로가 진행되므로, TCA 회로에 관여하는 효소는 바탕질에 있다.

02 A는 바탕질, B는 내막, C는 외막이다.
ㄱ. 바탕질(A)에서 TCA 회로가 진행되므로, 바탕질(A)에는 CO_2를 생성하는 카복실기제거효소와 NADH, $FADH_2$를 생성하는 탈수소효소가 있다.
ㄴ. 내막(B)은 일부가 안쪽으로 접혀 들어가 주름진 구조인 크리스타를 형성한다.
바로알기 ㄷ. 내막(B)에서 산화적 인산화가 진행되므로, B에 전자전달효소가 있다.

03 세포호흡은 포도당과 같은 유기물을 산화·분해하여 에너지를 방출하는 반응으로, 세포질과 마이토콘드리아에서 일어난다. 세포호흡은 해당 과정, 피루브산의 산화 및 TCA 회로, 산화적 인산화의 세 단계로 구분된다. 포도당은 세포질에서 해당 과정을 거쳐 피루브산으로 분해되고, 피루브산은 마이토콘드리아 바탕질로 이동하여 산화된 후 TCA 회로와 산화적 인산화를 거치면서 CO_2와 H_2O로 최종 분해된다.
바로알기 ① 해당 과정은 세포질에서 일어난다.
② 유기물을 산화·분해하여 에너지를 방출하는 반응이다.
③ 포도당은 세포질에서 피루브산으로 산화된다.
④ 해당 과정 → 피루브산의 산화 → TCA 회로 순으로 진행된다.

04 세포호흡은 포도당과 같은 유기물을 산화·분해하여 에너지를 방출하는 반응으로 산화환원반응에 해당한다. 포도당이 산화되어 CO_2가 되고, O_2가 환원되어 H_2O이 된다. 이때 포도당의 화학 에너지는 ATP의 화학 에너지와 열로 전환된다.

모범 답안 (1) ㉠ 포도당, ㉡ CO_2, ㉢ O_2, ㉣ H_2O
(2) 포도당의 화학 에너지의 일부는 ATP의 화학 에너지로 전환되어 저장되고, 나머지는 열로 방출된다.

채점 기준		배점
(1)	㉠~㉣을 모두 옳게 쓴 경우	40 %
(2)	ATP의 화학 에너지와 열을 모두 언급하여 옳게 서술한 경우	60 %
	ATP의 화학 에너지와 열 중 하나만 서술한 경우	30 %

05 세포호흡은 해당 과정, 피루브산의 산화 및 TCA 회로, 산화적 인산화의 세 단계로 구분된다.

포도당은 세포질에서 해당 과정을 거쳐 피루브산으로 분해되고, 피루브산은 마이토콘드리아 바탕질로 이동하여 산화된 후 TCA 회로와 산화적 인산화를 거치면서 이산화 탄소와 물로 분해된다. 따라서 (가)는 해당 과정, (나)는 TCA 회로, (다)는 산화적 인산화이다.

06 ㄴ. 피루브산의 산화에서는 피루브산 1분자가 아세틸조효소 A 1분자로 전환되며 CO_2와 NADH가 생성되고, TCA 회로(나)에서는 아세틸조효소 A 1분자가 CO_2 2분자로 분해되며 NADH, $FADH_2$, ATP가 생성된다.

바로알기 ㄱ. 포도당 1분자당 해당 과정(가)에서 2ATP, TCA 회로(나)에서 2ATP, 산화적 인산화(다)에서 최대 28ATP가 생성된다. 따라서 (가)~(다) 중 포도당 1분자당 ATP가 가장 많이 생성되는 과정은 산화적 인산화(다)이다.

ㄷ. 산화적 인산화(다)는 마이토콘드리아 내막에 있는 전자전달 효소, ATP 합성효소의 작용에 의해 일어난다.

07 ② 해당 과정에서는 효소의 작용으로 기질에 결합하고 있던 인산기가 ADP로 전달되어 ATP가 합성되는 기질수준인산화가 일어난다.

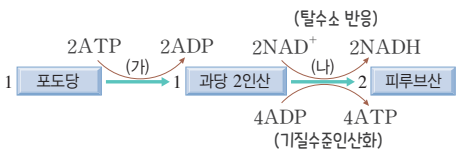
③ 포도당 1분자는 6개의 탄소로 구성되고, 피루브산 1분자는 3개의 탄소로 구성된다. 따라서 해당 과정에서 포도당 1분자를 구성하는 탄소는 모두 피루브산 2분자를 구성하는 탄소로 전환되며, CO_2는 방출되지 않는다.

④ 해당 과정에서 포도당 1분자당 피루브산 2분자, NADH 2분자, ATP 2분자가 생성된다.

⑤ 해당 과정에서 포도당 1분자는 ATP 2분자를 소모하며 과당 2인산 1분자로 활성화되며, 과당 2인산 1분자는 NADH 2분자와 ATP 4분자를 생성하며 피루브산 2분자로 분해된다.

바로알기 ① 해당 과정은 산소가 직접 사용되지 않으므로 산소가 없어도 진행된다. 해당 과정이 계속 일어나려면 NAD^+가 지속적으로 공급되어야 한다.

08 꼼꼼 문제 분석



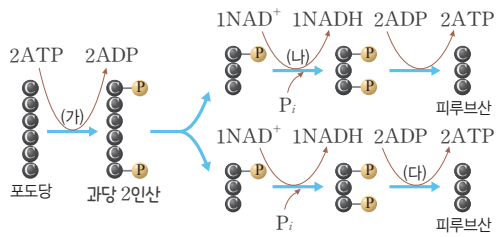
- (가) ATP 소모 단계 ➡ 포도당 1분자가 과당 2인산 1분자로 활성화되면서 ATP 2분자가 소모된다.
- (나) ATP 생성 단계 ➡ 과당 2인산 1분자가 피루브산 2분자로 분해되면서 NADH 2분자와 ATP 4분자가 생성된다.

ㄴ. (나)에서 기질수준인산화로 ATP 4분자가 생성된다.

ㄷ. 포도당 1분자가 과당 2인산 1분자를 거쳐 피루브산 2분자로 산화되는 해당 과정은 세포질에서 일어난다.

바로알기 ㄱ. (가)에서 ATP가 소모되고, (나)에서 NADH와 ATP가 생성된다. 따라서 (나)에서 탈수소효소가 작용한다.

09 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. (가)에서 포도당 1분자가 과당 2인산 1분자로 활성화되면서 ATP 2분자가 소모된다.

ㄷ. (다)에서 ATP 2분자가 생성되며, 포도당 1분자당 ATP 4분자가 생성된다.

바로알기 ㄴ. (나)에서 NADH 1분자가 생성되며, 포도당 1분자당 NADH 2분자가 생성된다.

10 ㉠은 포도당, ㉡은 과당 2인산, ㉢은 피루브산이다.

ㄴ. ㉠은 포도당($C_6H_{12}O_6$)이고, ㉢은 피루브산($C_3H_4O_3$)이다. 1분자당 $\frac{\text{수소 수}}{\text{탄소 수}}$는 포도당(㉠)이 $\frac{12}{6}=2$이고 피루브산(㉢)이 $\frac{4}{3}$이므로, 포도당(㉠)이 피루브산(㉢)보다 크다.

바로알기 ㄱ. 해당 과정에 산소가 직접 사용되지 않으므로 산소가 없어도 포도당(㉠)이 과당 2인산(㉡)으로 전환된다.

ㄷ. 1분자당 탄소 수는 포도당(㉠)이 6, 과당 2인산(㉡)이 6, 피루브산(㉢)이 3이므로, 1분자당 $\frac{\text{포도당(㉠)의 탄소 수}}{\text{과당 2인산(㉡)의 탄소 수}}=\frac{6}{6}=1$은 1분자당 $\frac{\text{과당 2인산(㉡)의 탄소 수}}{\text{피루브산(㉢)의 탄소 수}}=\frac{6}{3}=2$보다 작다.

11 ① 해당 과정으로 생성된 피루브산은 산소가 있을 때 마이토콘드리아 바탕질로 들어가 아세틸조효소 A로 산화된 다음 TCA 회로를 거쳐 이산화 탄소로 분해된다.

②, ④ 피루브산이 아세틸조효소 A로 산화되는 과정에서 피루브산 1분자당 CO_2 1분자, NADH 1분자가 생성된다. 아세틸조효소 A가 TCA 회로를 거치면 CO_2 2분자, NADH 3분자, $FADH_2$ 1분자, ATP 1분자가 생성된다. 따라서 피루브산의 산화 과정과 TCA 회로에서 모두 탈수소 반응이 일어나 NADH와 $FADH_2$가 생성된다.

⑤ TCA 회로에서 아세틸조효소 A에 저장된 화학 에너지의 일부는 NADH와 $FADH_2$에 저장되고, 일부는 ATP 합성에 쓰인다.

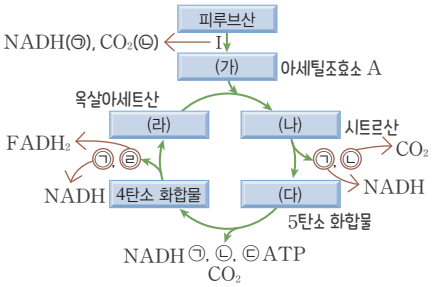
바로알기 ③ 피루브산이 아세틸조효소 A로 산화되는 과정에서 기질수준인산화는 일어나지 않으며, TCA 회로에서 기질수준인산화가 일어난다.

12 피루브산이 아세틸조효소 A로 산화되는 과정에서 피루브산은 카복실기제거효소의 작용으로 CO_2가 방출되고, 탈수소효소의 작용으로 수소 이온(H^+)과 고에너지 전자(e^-)가 방출되며, 방출된 수소 이온(H^+)과 고에너지 전자(e^-)는 NAD^+에 전달되어 NADH로 환원된다. 이후 조효소 A와 결합하여 아세틸조효소 A가 된다. 이때 생성된 NADH는 마이토콘드리아 내막의 고에너지 전자전달계에 고에너지 전자(e^-)를 전달하고 NAD^+로 산화된다.

모범 답안 ㉠은 CO_2, ㉡은 NADH이다. NADH(㉡)는 산화적 인산화가 진행되는 전자전달계에 고에너지 전자를 전달하는 역할을 한다.

채점 기준	배점
㉠과 ㉡을 쓰고, ㉡의 역할을 옳게 서술한 경우	100 %
㉠과 ㉡만 옳게 쓴 경우	40 %

13 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. ㉠은 NADH, ㉡은 CO_2, ㉢은 ATP, ㉣은 $FADH_2$이다.

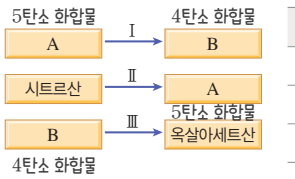
ㄴ. 피루브산이 아세틸조효소 A(가)로 산화되는 과정에서 카복실기제거효소의 작용으로 CO_2가 방출되고, 탈수소효소의 작용으로 수소 이온(H^+)과 전자(e^-)가 방출되며, 방출된 수소 이온(H^+)과 전자(e^-)는 NAD^+에 전달되어 NADH로 환원된다. 따라서 과정 Ⅰ에서 NADH(㉠)와 CO_2(㉡)가 모두 생성된다.

ㄷ. (가)는 아세틸조효소 A(C_2), (나)는 시트르산(C_6), (다)는 5탄소 화합물(C_5), (라)는 옥살아세트산(C_4)이므로, 1분자당

$\frac{\text{옥살아세트산(라)의 탄소 수}}{\text{아세틸조효소 A(가)의 탄소 수}}=\frac{4}{2}=2$는 1분자당

$\frac{\text{시트르산(나)의 탄소 수}}{\text{5탄소 화합물(다)의 탄소 수}}=\frac{6}{5}$보다 크다.

14 꼼꼼 문제 분석



과정	CO_2 ㉠	ATP ㉡	$FADH_2$ ㉢
Ⅰ	○	○	×
Ⅱ	○	×	×
Ⅲ	ⓐ ×	×	○

(○: 생성됨, ×: 생성 안 됨)

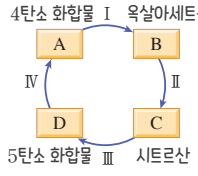
과정 Ⅱ에서 시트르산이 A로 전환되고 과정 Ⅲ에서 B가 옥살아세트산으로 전환되므로 A는 5탄소 화합물, B는 4탄소 화합물이다. 과정 Ⅱ에서 CO_2, NADH가 생성되며, $FADH_2$는 과정 Ⅰ과 Ⅲ에서 생성될 수 있는데 $FADH_2$가 과정 Ⅰ에서 생성된다면 과정 Ⅲ에서 ㉠~㉢이 모두 생성되지 않아야 하므로 조건에 모순된다. 따라서 $FADH_2$는 과정 Ⅲ에서 생성되며, ㉢이 $FADH_2$이다. 과정 Ⅰ에서만 ATP가 생성되므로 ㉡은 ATP이며, 나머지 ㉠은 CO_2이다.

ㄴ. 과정 Ⅲ에서 4탄소 화합물(B)이 옥살아세트산으로 전환된다. 4탄소 화합물(B)과 옥살아세트산은 모두 탄소 수가 4이므로 전환 과정에서 CO_2(㉠)가 발생하지 않는다. 따라서 ⓐ는 '×'이다.

ㄷ. 과정 Ⅰ(5탄소 화합물(A) → 4탄소 화합물(B)), 과정 Ⅱ(시트르산 → 5탄소 화합물(A)), 과정 Ⅲ(4탄소 화합물(B) → 옥살아세트산)에서 모두 탈수소효소의 작용으로 NADH가 생성된다.

바로알기 ㄱ. ㉠은 CO_2, ㉡은 ATP, ㉢은 $FADH_2$이다.

15 꼼꼼 문제 분석



과정	분자 수를 더한 값
Ⅰ	㉠ 1 − NADH
Ⅱ	㉡ 0
Ⅲ	㉢ 2 − CO_2, NADH
Ⅳ	3 CO_2, $FADH_2$, NADH

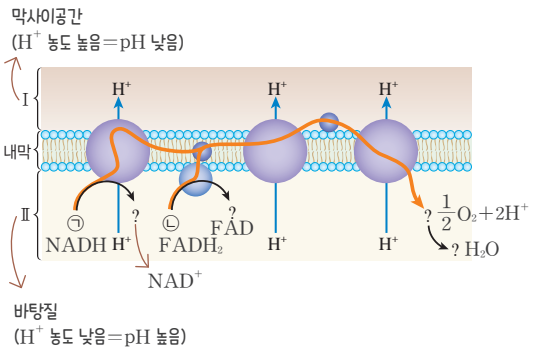
과정 Ⅳ(D → A)에서 CO_2, $FADH_2$, NADH의 분자 수를 더한 값이 3이므로 D는 5탄소 화합물, A는 4탄소 화합물이다. TCA 회로의 진행 방향이 시계 방향이므로 B는 옥살아세트산이며, C는 시트르산이다. 과정 Ⅰ(4탄소 화합물(A) → 옥살아세트산(B))에서는 NADH가 생성되므로 ㉠은 1이다. 과정 Ⅱ(옥살아세트산(B) → 시트르산(C))에서는 CO_2, $FADH_2$, NADH가 모두 생성되지 않으므로 ㉡은 0이다. 과정 Ⅲ(시트르산(C) → 5탄소 화합물(D))에서는 CO_2, NADH가 생성되므로 ㉢은 2이다.

ㄱ. ㉠은 1, ㉡은 0, ㉢은 2이므로 ㉡ < ㉢이다.

ㄷ. 옥살아세트산(B)은 4탄소 화합물이므로 1분자당 4탄소 화합물(A)의 탄소 수와 1분자당 옥살아세트산(B)의 탄소 수는 각각 4로 같다.

바로알기 ㄴ. 과정 Ⅳ(5탄소 화합물(D) → 4탄소 화합물(A))에서 기질수준인산화가 일어나 ATP가 생성된다.

16 꼼꼼 문제 분석

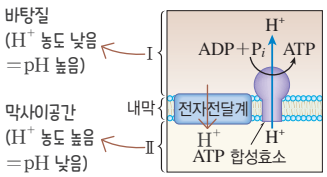


ㄴ. 전자전달계에서 전자의 최종 수용체는 O_2이다. 전자를 받은 O_2는 H^+과 결합하여 H_2O을 생성한다.

ㄷ. H^+이 전자전달계를 통해 마이토콘드리아 바탕질(Ⅱ)에서 막사이공간(Ⅰ)으로 이동하는 방식은 NADH와 $FADH_2$로부터 방출된 고에너지 전자의 에너지를 이용한 능동수송이다.

바로알기 ㄱ. NADH와 $FADH_2$는 전자전달계에 고에너지 전자를 전달하고 각각 NAD^+와 FAD로 산화된다. 따라서 ㉠은 NADH, ㉡은 $FADH_2$이다.

17 꼼꼼 문제 분석



$FADH_2$ 산화	(가)	$FADH_2 \longrightarrow FAD + 2H^+ + 2e^-$
NAD^+ 환원	(나)	$NAD^+ + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow NADH + H^+$
O_2 환원	(다)	$2H^+ + 2e^- + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow H_2O$

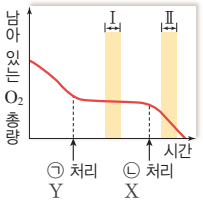
ㄱ. (나)는 피루브산의 산화와 TCA 회로에서 일어나는 반응이며, 마이토콘드리아 바탕질(Ⅰ)에서 일어난다.

바로알기 ㄴ. NADH와 $FADH_2$에서 전자전달계로 전달된 고에너지 전자는 전자전달계의 전자운반체를 차례로 환원시키면서 방출되는 에너지를 이용하여 H^+을 마이토콘드리아 바탕질에서 막사이공간으로 능동수송한다. 그 결과 내막을 경계로 H^+의 농도 기울기가 형성되고, 이에 따라 막사이공간에 있는 H^+이 ATP 합성효소를 통해 바탕질 쪽으로 확산한다. 따라서 Ⅰ은 마이토콘드리아 바탕질, Ⅱ는 막사이공간이다.

ㄷ. NADH와 $FADH_2$에서 전자전달계로 고에너지 전자가 제공되고, 전자전달계에서 O_2로 전자가 전달된다. 전자전달계의 전자가 최종 전자수용체인 O_2로 전달되는 (다)가 억제되면 전자전달계의 전자운반체들이 환원된 상태로 유지되어 NADH와 $FADH_2$를 각각 NAD^+와 FAD로 산화시키지 못하므로 (가)는 억제된다.

18 꼼꼼 문제 분석

H^+ 농도 기울기가 감소한 결과 전자전달계에서 전자의 이동이 지속되어 단위 시간당 소비되는 O_2의 양이 증가한다.



물질	작용
X	마이토콘드리아 내막에 있는 인지질을 통해 H^+을 새어 나가게 한다.
Y	마이토콘드리아 내막에 있는 ATP 합성효소를 통한 H^+의 이동을 차단한다.

㉠ 처리 시: O_2가 소비되지 않는다. ➡ ㉠은 Y이다.
㉡ 처리 시: O_2가 소비되어 남아 있는 O_2의 총량이 줄어든다. ➡ ㉡은 X이다.

전자전달계에서 전자의 이동이 감소하여 단위 시간당 소비되는 O_2의 양이 감소한다.

ㄱ. ㉠은 Y, ㉡은 X이다.

바로알기 ㄴ. Y는 마이토콘드리아 내막에 있는 ATP 합성효소를 통해 H^+이 막사이공간에서 바탕질로 이동하는 것을 차단하므로, 막사이공간의 H^+ 농도는 Y를 처리한 후가 처리하기 전보다 높다. 즉, 막사이공간의 pH는 Y를 처리한 후가 처리하기 전보다 낮다.

ㄷ. NADH가 산화되면서 전자전달계에 전자를 제공하고, 이 전자는 최종 전자수용체인 O_2로 전달된다. 단위 시간당 O_2가 소비되는 양은 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 적으므로, 단위 시간당 NADH가 산화되는 양도 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 적다.

19

ㄱ. 포도당 1몰이 세포호흡을 통해 완전 분해되면 해당 과정에서 2ATP, 피루브산의 산화 및 TCA 회로에서 2ATP, 산화적 인산화에서 최대 28ATP가 생성된다. 포도당 1몰이 최종 분해되면 최대 32ATP가 생성되므로 ㉠은 32이다.

ㄷ. 포도당에 저장되어 있던 에너지의 일부는 ATP에 저장되고, 나머지는 열로 방출되어 체온 유지 등에 사용된다.

바로알기 ㄴ. 세포호흡의 에너지효율(%)은 $\frac{32\times7.3\,\text{kcal/mol}}{686\,\text{kcal/mol}}\times100\fallingdotseq34$이므로 포도당에 저장되어 있던 에너지의 약 34 %가 ATP에 저장된다.

20

ㄱ. 세포호흡에 이용되는 유기물을 호흡기질이라고 하며, 탄수화물, 단백질, 지방 등이 있다.

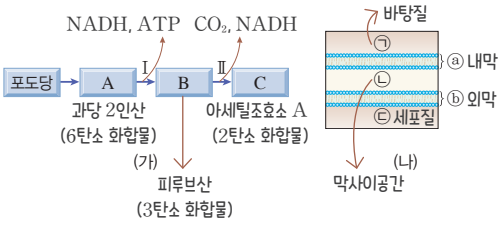
ㄴ. 탄수화물은 단당류인 포도당으로, 단백질은 아미노산으로, 지방은 글리세롤과 지방산으로 분해되어 세포호흡에 이용된다.

바로알기 ㄷ. 지방산은 해당 과정을 거치지 않고, 아세틸조효소 A로 전환된 뒤 TCA 회로를 거쳐 산화된다.

실력 UP 문제 133쪽~134쪽

01 ⑤ 02 ⑤ 03 ③ 04 ① 05 ② 06 ④ 07 ②

01 꼼꼼 문제 분석

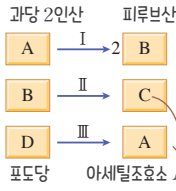


ㄱ. 과정 Ⅰ은 해당 과정의 일부이므로 세포질에서 일어난다. 따라서 ㉢은 세포질이고, ㉠은 마이토콘드리아 바탕질, ㉡은 마이토콘드리아 막사이공간이므로, ⓐ는 마이토콘드리아 내막, ⓑ는 마이토콘드리아 외막이다. 마이토콘드리아 내막(ⓐ)은 안쪽으로 접혀 들어가 주름진 구조인 크리스타를 형성한다.

ㄴ. Ⅰ과 Ⅱ에서 모두 탈수소효소가 작용하여 NADH가 생성된다.

ㄷ. 1분자당 과당 2인산(A)의 탄소 수는 6, 피루브산(B)의 탄소 수는 3, 아세틸조효소 A(C)의 탄소 수는 2이므로, 1분자당 $\frac{\text{과당 2인산(A)의 탄소 수}}{\text{피루브산(B)의 탄소 수}+\text{아세틸조효소 A(C)의 탄소 수}}=\frac{6}{3+2}$은 1보다 크다.

02 꼼꼼 문제 분석



과정	ATP ㉠	CO_2 ㉡	ADP ㉢	NADH ㉣
	분자 수			
Ⅰ	ⓐ 4	0	0	ⓑ 2
Ⅱ	0	? 1	0	ⓒ 1
Ⅲ	? 0	0	ⓓ 2	0

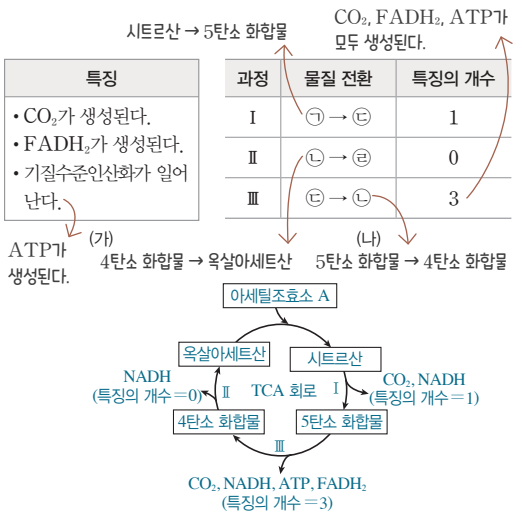
과정 Ⅰ에서 1분자의 A가 2분자의 B로 되므로 A는 포도당과 과당 2인산 중 하나이고, B는 피루브산이다. 또한 과정 Ⅱ에서 B가 C로 전환되므로 C는 아세틸조효소 A이다. A가 포도당이라면 D가 과당 2인산이 되는데, 과정 Ⅲ에서 과당 2인산은 포도당으로 전환될 수 없으므로 조건에 모순된다. 따라서 A는 과당 2인산이고 D가 포도당이다. 과정 Ⅲ(포도당(D) → 과당 2인산(A))에서는 2ADP만 생성되므로 ㉢은 ADP이다. 과정 Ⅰ(과당 2인산(A) → 2피루브산(B))에서 2NADH, 4ATP가 생성되므로 ㉠과 ㉣은 각각 NADH와 ATP 중 하나이며, 과정 Ⅱ(피루브산(B) → 아세틸조효소 A(C))에서 1CO_2, 1NADH가 생성되므로 ㉡과 ㉣은 각각 CO_2와 NADH 중 하나이다. 과정 Ⅰ과 Ⅱ에서 모두 생성되는 ㉣이 NADH이므로, ㉠은 ATP, ㉡은 CO_2이다. 따라서 ⓐ는 4, ⓑ는 2, ⓒ는 1, ⓓ는 2이다.

ㄴ. 과당 2인산(A)과 포도당(D)은 모두 6탄소 화합물이므로, 1분자당 $\frac{\text{A의 탄소 수}}{\text{D의 탄소 수}}=\frac{6}{6}=1$이다.

ㄷ. Ⅱ(피루브산(B) → 아세틸조효소 A(C))에서 탈탄산 반응이 일어나 CO_2가 방출되고, 탈수소 반응이 일어나 NADH가 생성된다.

바로알기 ㄱ. ⓐ(4)+ⓑ(2)>ⓒ(1)+ⓓ(2)이다.

03 꼼꼼 문제 분석

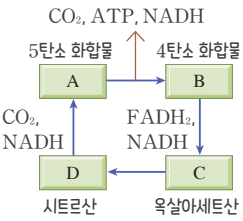


ㄱ. ㉠ → ㉢에서 특징의 개수가 1이고 ㉢ → ㉡에서 특징의 개수가 3이므로 ㉢은 5탄소 화합물이다. ㉡ → ㉣에서 특징의 개수가 0이므로 ㉡은 4탄소 화합물이며, 1분자당 탄소 수가 ㉠이 ㉣보다 크다고 하였으므로 ㉠은 시트르산, ㉣은 옥살아세트산이다.

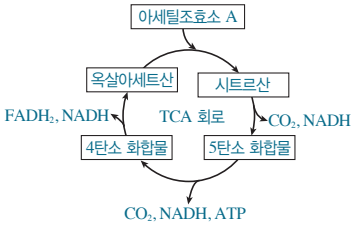
ㄴ. Ⅰ에서 CO_2, NADH가 생성되고, Ⅱ에서 NADH가 생성되며, Ⅲ에서 CO_2, NADH, ATP, $FADH_2$가 생성된다.

바로알기 ㄷ. TCA 회로에서 1분자의 시트르산(㉠)이 1분자의 옥살아세트산(㉣)으로 전환되는 과정에서 생성되는 ATP 분자 수는 1, $FADH_2$의 분자 수는 1, CO_2의 분자 수는 2이므로 $\frac{\text{ATP의 분자 수}+FADH_2\text{의 분자 수}}{CO_2\text{의 분자 수}}=1$이다.

04 꼼꼼 문제 분석



물질 전환	CO_2	ATP	$FADH_2$	NADH
	분자 수를 더한 값			
	㉠+㉡	㉡+㉢	㉢+㉣	
A → C	2	2	ⓐ 3	
B → D	0	1	2	
C → A	1	0	? 1	



TCA 회로에서 아세틸조효소 A 1분자당 $2CO_2$, 3NADH, $1FADH_2$, 1ATP가 생성된다. A → C에서 생성되는 물질과 C → A에서 생성되는 물질의 분자 수를 더하면 TCA 회로에서 생성되는 물질의 분자 수를 더한 값과 같다. ㉠+㉡은 3(2+1), ㉡+㉢은 2(2+0)이므로 ㉡과 ㉢은 각각 $FADH_2$와 ATP 중 하나이고, ㉠은 CO_2이며, 나머지 ㉣은 NADH이다. CO_2가 생성되지 않는 구간은 4탄소 화합물에서 옥살아세트산으로 전환되는 과정과 옥살아세트산에서 시트르산으로 전환되는 과정이므로 B는 4탄소 화합물, C는 옥살아세트산, D는 시트르산이며, 나머지 A는 5탄소 화합물이다. 또한 4탄소 화합물(B)에서 시트르산(D)으로 전환되는 과정에서 $1FADH_2$, 1NADH가 생성되므로 ㉢이 $FADH_2$이고 ㉡은 ATP이다.

ㄱ. ㉠은 CO_2, ㉡은 ATP, ㉢은 $FADH_2$, ㉣은 NADH이다.

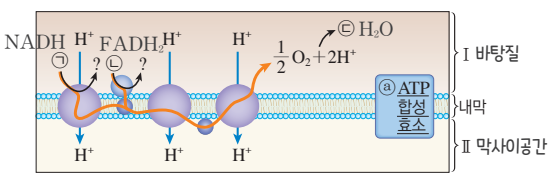
바로알기 ㄴ. 5탄소 화합물(A) → 옥살아세트산(C)에서 $FADH_2$(㉢)는 1분자, NADH(㉣)는 2분자 생성되므로 ⓐ는 3이다.

ㄷ. 1분자당 5탄소 화합물(A)의 탄소 수는 5, 4탄소 화합물(B)의 탄소 수는 4, 옥살아세트산(C)의 탄소 수는 4, 시트르산(D)의 탄소 수는 6이므로, 1분자당

$$\frac{\text{5탄소 화합물(A)의 탄소 수+옥살아세트산(C)의 탄소 수}}{\text{4탄소 화합물(B)의 탄소 수+시트르산(D)의 탄소 수}}$$

$=\frac{5+4}{4+6}=\frac{9}{10}$는 1보다 작다.

05 꼼꼼 문제 분석



ㄴ. NADH(㉠) 1분자와 $FADH_2$(㉡) 1분자로부터 각각 2개의 전자가 전자전달계로 전달된다.

바로알기 ㄱ. 전자전달계에서 전자의 최종 수용체는 O_2이다.

ㄷ. 마이토콘드리아에서 화학삼투에 의한 인산화가 일어날 때 ATP 합성효소(ⓐ)를 통한 H^+의 이동 방향은 막사이공간(Ⅱ) → 마이토콘드리아 바탕질(Ⅰ)이다.

06

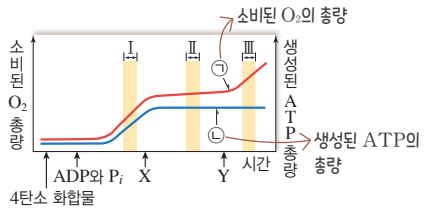
막사이공간에서 마이토콘드리아 바탕질로 H^+이 ATP 합성효소를 통해 이동할 때 ATP가 합성되므로 Ⅰ은 막사이공간, Ⅱ는 마이토콘드리아 바탕질이다.

ㄴ. X를 처리하면 마이토콘드리아 내막의 전자전달계를 통한 전자의 이동이 차단되어 바탕질(Ⅱ)에서 막사이공간(Ⅰ)으로 H^+의 이동이 일어나지 못한다. 따라서 Ⅱ에서 H^+의 농도는 X를 처리하기 전이 처리한 후보다 낮으므로, Ⅱ의 pH는 X를 처리하기 전이 처리한 후보다 높다.

ㄷ. X를 처리하면 전자전달계를 통한 전자의 이동이 차단되어 NADH가 NAD^+로 산화되지 못한다. 따라서 단위 시간당 전자전달계를 통해 산화되는 NADH의 분자 수는 X를 처리하기 전이 처리한 후보다 많다.

바로알기 ㄱ. Ⅰ은 막사이공간, Ⅱ는 마이토콘드리아 바탕질이다.

07 꼼꼼 문제 분석



X를 첨가하면 전자전달계에서 전자의 이동이 감소하여 O_2가 소비되지 않지만, Y를 첨가하면 전자전달계에서 전자의 이동이 증가하여 O_2가 소비된다. ➡ ㉠은 소비된 O_2의 총량이고, ㉡은 생성된 ATP의 총량이다.

ㄴ. X를 처리하기 전 Ⅰ에서 전자전달계를 통한 전자의 이동이 활발하지만, X를 처리한 후 Ⅱ에서 전자전달계를 통한 전자의 이동이 멈춘다. 따라서 단위 시간당 마이토콘드리아의 전자전달계를 통해 이동하는 전자의 수는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 많다.

바로알기 ㄱ. ㉠은 소비된 O_2의 총량, ㉡은 생성된 ATP의 총량이다.

ㄷ. Y를 처리하기 전 Ⅱ에서 H^+의 농도는 막사이공간에서가 바탕질에서보다 높다. Y를 처리한 후 마이토콘드리아 내막에 있는 인지질을 통해 H^+이 막사이공간에서 바탕질로 새어 나가므로, Y를 첨가하면 마이토콘드리아 바탕질에서 H^+의 농도는 증가하고, 막사이공간에서 H^+의 농도는 감소한다. 따라서 마이토콘드리아의 $\frac{\text{바탕질의 } H^+ \text{ 농도}}{\text{막사이공간의 } H^+ \text{ 농도}}$는 Ⅱ에서가 Ⅲ에서보다 작다.

02 / 발효

완자쌤 비법 특강 139쪽

Q1 해설 참조 **Q2** (가), (나)

Q1 젖산발효는 포도당 → 피루브산 → 젖산의 과정을 거친다. 피루브산이 젖산으로 전환될 때 CO_2가 방출되지 않으며, 최종 전자수용체는 피루브산이다. 반면 알코올발효는 포도당 → 피루브산 → 아세트알데하이드 → 에탄올의 과정을 거친다. 피루브산이 아세트알데하이드로 전환될 때 CO_2가 방출되며, 최종 전자수용체는 아세트알데하이드이다.

모범 답안 젖산발효에서는 CO_2가 방출되지 않지만, 알코올발효에서는 CO_2가 방출된다. 젖산발효에서 최종 전자수용체는 피루브산이지만, 알코올발효에서 최종 전자수용체는 아세트알데하이드이다. 등

채점 기준	배점
젖산발효와 알코올발효의 차이점을 두 가지 모두 옳게 서술한 경우	100 %
젖산발효와 알코올발효의 차이점 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

Q2 젖산발효는 해당 과정 → (가), 알코올발효는 해당 과정 → (나), 산소호흡은 해당 과정 → (다) → TCA 회로 → 산화적 인산화의 과정을 거친다. 산소가 있는 상태에서는 산소호흡을 통해, 산소가 없는 상태에서는 발효를 통해 에너지(ATP)를 생성한다. 따라서 산소가 없는 상태에서 일어나는 과정은 (가)~(다) 중 (가)와 (나)이다.

개념 확인 문제 140쪽

❶ 산소 ❷ TCA 회로 ❸ 산화적 인산화 ❹ 세포질 ❺ 젖산 ❻ 에탄올

1 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ **2** (1) A, B, C (2) A, D

3 (1) (가) 젖산발효 (나) 알코올발효 (2) ㉠ 젖산, ㉡ 아세트알데하이드, ㉢ 에탄올 (3) A, C (4) B, E (5) D

1 (1) 산소호흡은 세포질과 마이토콘드리아에서 일어나지만, 발효는 세포질에서만 일어난다.

(2) 산소호흡에서는 포도당이 이산화 탄소와 물로 완전히 분해되지만, 발효에서는 포도당이 완전히 분해되지 않아 젖산이나 에탄올 등의 중간 산물이 생성된다.

(3) 산소호흡과 발효에서 모두 ATP가 생성되지만, 산소호흡에서가 발효에서보다 생성되는 ATP의 양이 더 많다.

(4) 산소호흡과 발효는 모두 이화작용으로 에너지를 방출한다.

2 (1) 산소호흡은 해당 과정 → 피루브산의 산화 및 TCA 회로 → 산화적 인산화 단계로 일어난다. 따라서 산소호흡 과정에 해당하는 기호는 A, B, C이다.

(2) 발효는 해당 과정 → NAD^+의 재생성 과정 단계로 일어난다. 따라서 발효 과정에 해당하는 기호는 A, D이다.

3 (1), (2) 젖산발효는 포도당 → 피루브산 → 젖산의 과정을 거치며, 알코올발효는 포도당 → 피루브산 → 아세트알데하이드 → 에탄올의 과정을 거친다. 따라서 (가)는 젖산발효, (나)는 알코올발효이며, ㉠은 젖산, ㉡은 아세트알데하이드, ㉢은 에탄올이다.

(3) 발효 과정 중 해당 과정에서 기질수준인산화에 의해 ATP가 생성되므로 A~E 중 A와 C에서 ATP가 생성된다.

(4) B에서는 해당 과정에서 생성된 NADH가 피루브산을 젖산(㉠)으로 환원시키고 NAD^+로 산화되며, E에서는 해당 과정에서 생성된 NADH가 아세트알데하이드(㉡)를 에탄올(㉢)로 환원시키고 NAD^+로 산화된다.

(5) D에서 피루브산은 카복실기제거효소의 작용에 의해 CO_2를 방출하며 아세트알데하이드(㉡)로 전환된다.

대표 자료 분석 1 141쪽

1 (가) 발효 (나) 산소호흡 **2** (나) **3** 해설 참조 **4** (1) ㄷ (2) ㄱ, ㄴ, ㄷ **5** (1) ○ (2) × (3) × (4) × (5) ○ (6) × (7) ○ (8) × (9) ○

1 (가)는 포도당이 완전히 분해되지 않으며 소량의 에너지를 생성하는 발효이고, (나)는 포도당이 이산화 탄소와 물로 완전히 분해되며 다량의 에너지를 생성하는 산소호흡이다.

2 ATP 생성에 산소가 필요한 산화적 인산화가 일어나는 과정은 산소호흡(나)이다.

3 발효(가)와 산소호흡(나)은 모두 탈수소효소와 같은 효소가 관여하는 물질대사이며, 포도당과 같은 호흡기질을 분해하여 에너지를 생성하는 이화작용으로 에너지를 방출한다. 또한 해당 과정에서 NADH와 ATP를 생성한다.

모범 답안 효소가 작용하는 물질대사이다. 이화작용으로 에너지를 방출한다. 해당 과정에서 ATP가 생성된다. 중 두 가지

채점 기준	배점
발효와 산소호흡의 공통점을 두 가지 모두 옳게 서술한 경우	100 %
발효와 산소호흡의 공통점 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

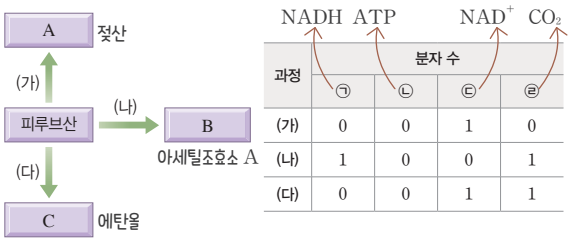
4 (1) 발효(가)는 해당 과정 → NAD^+의 재생성 과정 단계로 일어나며, TCA 회로와 산화적 인산화가 일어나지 않는다.
(2) 산소호흡(나)은 해당 과정 → 피루브산의 산화 및 TCA 회로 → 산화적 인산화 단계로 일어난다.

5 (1) 발효(가)와 산소호흡(나)은 효소의 작용으로 기질에 결합하고 있던 인산기가 ADP로 전달되어 ATP가 생성되는 기질수준인산화가 일어난다. 또한 효소의 작용으로 탈수소 반응이 일어나 NADH가 생성된다.
(2) 발효(가)는 세포질에서, 산소호흡(나)은 세포질과 마이토콘드리아에서 일어난다.
(3) 발효(가)의 분해 산물은 젖산이나 에탄올이고, 산소호흡(나)의 분해 산물은 이산화 탄소와 물이다.
(4) 발효(가)와 산소호흡(나)에서 모두 기질수준인산화를 통해 ATP가 생성된다.
(5) 발효(가)에서는 포도당이 완전히 분해되지 않아 분해 산물에 에너지가 많이 포함되어 있고, 산소호흡(나)에서는 포도당이 완전히 분해되어 분해 산물에 에너지가 적게 포함되어 있다.
(6) 포도당 1분자당 생성되는 ATP의 양은 발효(가)에서 2ATP, 산소호흡(나)에서 최대 32ATP이므로 산소호흡(나)에서가 발효(가)에서보다 많다.
(7) 발효(가)와 산소호흡(나)에서 모두 탈수소 반응이 일어나 NADH가 생성된다.
(8) 발효(가)에서 최종 전자수용체는 발효의 종류에 따라 피루브산이나 아세트알데하이드 등이며, 산소호흡(나)에서 최종 전자수용체는 산소이다.
(9) 산소호흡(나)에서 탈탄산 반응이 일어나 CO_2가 생성되며, 탈수소 반응이 일어나 NADH와 $FADH_2$ 등이 생성된다.

대표 자료 분석 2 142쪽

1 ㉠ NADH, ㉡ ATP, ㉢ NAD^+, ㉣ CO_2 **2** A: 젖산, B: 아세틸조효소 A, C: 에탄올 **3** (가), (다) **4** (1) (가) (2) (다) (3) (가) (4) (다)
5 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) × (6) × (7) × (8) ○ (9) ○

꼼꼼 문제 분석



NADH ATP NAD⁺ CO_2

과정	분자 수 ㉠	㉡	㉢	㉣
(가)	0	0	1	0
(나)	1	0	0	1
(다)	0	0	1	1

1 피루브산 → 아세틸조효소 A에서는 CO_2 1분자, NADH 1분자가 생성되고, 피루브산 → 젖산에서는 NAD^+ 1분자가 생성되며, 피루브산 → 에탄올에서는 CO_2 1분자, NAD^+ 1분자가 생성된다. 따라서 ㉡은 (가)~(다)에서 모두 생성되지 않으므로 ATP이다. ㉠은 (나)에서, ㉢은 (가)와 (다)에서 생성되므로 ㉠은 NADH이고 ㉢은 NAD^+이며, 나머지 ㉣은 CO_2이다.

2 피루브산 → A에서 NAD^+(㉢) 1분자만 생성되므로 A는 젖산이다. 피루브산 → B에서 NADH(㉠) 1분자, CO_2(㉣) 1분자가 생성되므로 B는 아세틸조효소 A이다. 피루브산 → C에서 NAD^+(㉢) 1분자, CO_2(㉣) 1분자가 생성되므로 C는 에탄올이다.

3 발효는 세포질에서, 산소호흡 중 피루브산의 산화는 마이토콘드리아 바탕질에서 일어난다. 따라서 (가)~(다) 중 세포질에서 일어나는 과정은 젖산발효 과정의 일부인 (가)와 알코올발효 과정의 일부인 (다)이다.

4 (1), (3) 젖산발효를 이용하여 김치, 치즈, 요구르트 등의 발효식품을 만들며, 격렬한 운동을 지속하여 사람 근육세포에 산소 공급이 부족한 경우 젖산발효를 통해 ATP를 생성한다.
(2), (4) 효모의 알코올발효를 통해 에탄올이 생성되므로 술을 제조하는 데 이용되며, 이산화 탄소가 생성되므로 발효 식빵을 만드는 데 이용된다.

5 (1) 분자식이 젖산(A)은 $C_3H_6O_3$이고 에탄올(C)은 C_2H_5OH이므로, 1분자당 탄소 수는 A가 3, C가 2로 서로 다르다.
(2) NAD^+(㉢)는 탈수소효소의 조효소로 이용되어 NADH 생성에 관여한다.
(3) (가)를 통해 피루브산이 젖산(A)으로 전환되므로 (가)는 젖산발효 과정의 일부이며, (다)를 통해 피루브산이 에탄올(C)로 전환되므로 (다)는 알코올발효 과정의 일부이다.
(4) (가)~(다)에서 모두 ATP가 생성되지 않으며, 산소호흡과 발효 과정에서 모두 일어나는 해당 과정에서 ATP가 생성된다.
(5) (가)와 (다)는 모두 산소가 없어도 일어나지만, (나)는 산소가 있어야 일어난다.
(6) 산소가 공급되면 피루브산이 TCA 회로로 들어가기 때문에 발효 과정인 (가)는 억제된다.
(7) (가)에서 NADH(㉠)는 NAD^+(㉢)로 산화되고, 피루브산은 젖산으로 환원된다.
(8) (나)에서 피루브산은 아세틸조효소 A로 산화된다. 이 과정에서 피루브산은 카복실기제거효소의 작용으로 이산화 탄소를 방출하고, 탈수소효소의 작용으로 수소 이온(H^+)과 전자(e^-)를 방출하며, 조효소 A와 결합하여 아세틸조효소 A가 된다. 방출된 수소 이온(H^+)과 전자(e^-)는 NAD^+에 전달되어 NADH로 환원된다.

(9) (다)에서 NADH(㉠)는 NAD^+(㉡)로 산화되고, 아세트알데하이드는 에탄올로 환원된다.

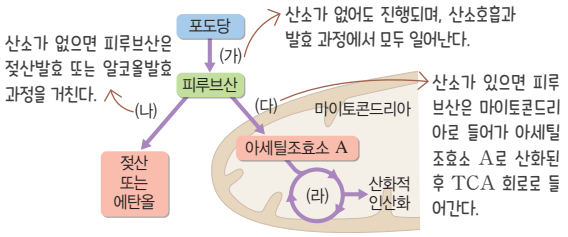
내신 만점 문제

143쪽~145쪽

01 ⑤	02 ②	03 해설 참조	04 ⑤	
05 해설 참조		06 ①	07 ③	08 ①	09 ④
10 ③	11 ②	12 ①	13 ②	14 A

01 ① 산소호흡은 세포질과 마이토콘드리아에서 일어나지만, 발효는 세포질에서 일어난다.
② 해당 과정이 일어나며, 이 과정에서 기질수준인산화를 통해 ATP가 생성된다.
③ TCA 회로와 산화적 인산화는 일어나지 않으므로 전자전달계가 관여하지 않는다.
④ 호흡기질로 포도당과 같은 유기물이 사용되며, 포도당은 완전히 분해되지 않아 젖산이나 에탄올과 같은 중간 산물이 생성된다.
바로알기 ⑤ 최종 전자수용체는 젖산발효에서 피루브산, 알코올발효에서 아세트알데하이드이다.

02 꼼꼼 문제 분석



- 산소호흡의 과정: (가) → (다) → (라) → 산화적 인산화
- 발효의 과정: (가) → (나)

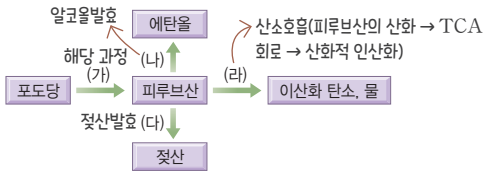
ㄷ. (가)에서 기질수준인산화로 2ATP가 생성되고, (나)와 (다)에서 모두 ATP가 생성되지 않는다. 따라서 (가) → (나) 과정에서 생성되는 ATP의 양과 (가) → (다) 과정에서 생성되는 ATP의 양은 각각 2ATP로 서로 같다.
바로알기 ㄱ. (가), (다), (라)에서 모두 NAD^+가 환원되어 NADH가 생성되지만, (나)에서는 NADH가 산화되어 NAD^+가 생성된다.
ㄴ. 산소가 없을 때는 (가)~(라) 중 (가)와 (나)가 진행된다.

03 산소호흡에서는 포도당이 이산화 탄소와 물로 완전히 분해되어 많은 양의 에너지를 방출하지만, 발효에서는 포도당이 완전히 분해되지 않아 적은 양의 에너지를 방출한다.

모범 답안 포도당 1분자가 산소호흡을 통해 분해될 때 생성되는 ATP의 양은 최대 32ATP이고, 발효를 통해 분해될 때 생성되는 ATP의 양은 2ATP이므로 발효에 비해 산소호흡에서 생성되는 ATP의 양이 많다. 이는 산소호흡에서는 포도당이 이산화 탄소와 물로 완전히 분해되므로 방출되는 에너지양이 많지만, 발효에서는 포도당이 완전히 분해되지 않으므로 방출되는 에너지양이 적기 때문이다.

채점 기준	배점
산소호흡과 발효에서 생성되는 ATP의 양을 포도당의 분해 정도와 관련지어 옳게 서술한 경우	100 %
발효에 비해 산소호흡에서 생성되는 ATP의 양이 많다는 것만 서술한 경우	30 %

[04~05] 꼼꼼 문제 분석



- (가)에서 기질수준인산화로, (라)에서 기질수준인산화와 산화적 인산화로 각각 ATP를 생성한다.
- (나)와 (다)에서 각각 아세트알데하이드와 피루브산이 환원되고, (라)에서 피루브산이 산화된다.

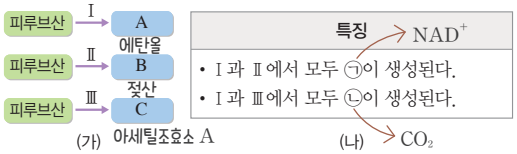
04 ① (라)에서 산화적 인산화가 일어날 때 산소가 사용된다.
② (라)에서 피루브산이 산화되고, (나)와 (다)에서 각각 아세트알데하이드와 피루브산이 환원된다.
③ (가)에서 기질수준인산화로 ATP가 생성되고, (라)에서 기질수준인산화와 산화적 인산화로 ATP가 생성되며, (나)와 (다)에서는 ATP가 생성되지 않는다.
④ (가)는 해당 과정으로, 산소호흡과 발효에서 모두 일어난다.
바로알기 ⑤ (가), (나), (다)는 세포질에서 일어나고, (라)는 마이토콘드리아에서 일어난다.

05 (나)는 알코올발효 과정 중 피루브산이 에탄올로 전환되는 과정이며, (다)는 젖산발효 과정 중 피루브산이 젖산으로 전환되는 과정이다.

모범 답안 • 공통점: NADH가 NAD^+로 산화된다. 등
• 차이점: (나)에서는 탈탄산 반응이 일어나 이산화 탄소가 방출되지만, (다)에서는 탈탄산 반응이 일어나지 않아 이산화 탄소가 방출되지 않는다. 등

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

06 꼼꼼 문제 분석



• Ⅰ에서 ㉠과 ㉡이 모두 생성되므로 A는 에탄올이며, 1분자당 탄소 수는 B가 C보다 크므로 B는 젖산, C는 아세틸조효소 A이다.
• Ⅱ에서 ㉠이 생성되므로 ㉠은 NAD^+이고, 나머지 ㉡은 CO_2이다.

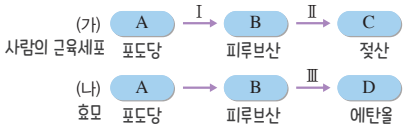
피루브산 → 아세틸조효소 A에서 CO_2와 NADH가 생성되고, 피루브산 → 에탄올에서 CO_2와 NAD^+가 생성되며, 피루브산 → 젖산에서 NAD^+가 생성된다.

ㄱ. ㉠은 NAD^+, ㉡은 CO_2이다.

바로알기 ㄴ. A는 에탄올, B는 젖산, C는 아세틸조효소 A이다.

ㄷ. Ⅰ과 Ⅱ는 모두 세포질에서, Ⅲ은 마이토콘드리아에서 일어난다.

07 꼼꼼 문제 분석



• 1분자당 탄소 수가 B와 C가 같으므로 B는 피루브산, C는 젖산이며, A는 포도당, D는 에탄올이다.
• (가)에서 젖산(C)이 생성되므로 (가)는 사람의 근육세포이고, (나)에서 에탄올(D)이 생성되므로 (나)는 효모이다.

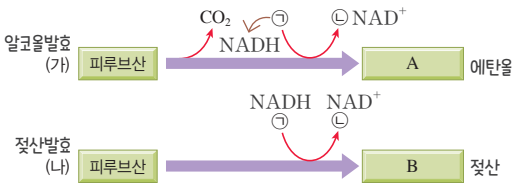
사람의 근육세포에서는 젖산발효가 일어나며, 효모에서는 알코올발효가 일어난다.

ㄱ. (가)는 사람의 근육세포, (나)는 효모이다.

ㄴ. Ⅰ에서 NAD^+가 환원되어 NADH가 생성된다.

바로알기 ㄷ. Ⅰ에서는 기질수준인산화가 일어나지만, Ⅱ와 Ⅲ에서는 모두 기질수준인산화가 일어나지 않는다.

08 꼼꼼 문제 분석



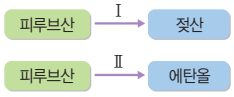
해당 과정에서 생성된 NADH는 아세트알데하이드를 에탄올로, 피루브산을 젖산으로 환원시키고 NAD^+로 산화되므로 ㉠은 NADH, ㉡은 NAD^+이다.

ㄱ. 해당 과정에서 NADH(㉠)가 생성되며, 이후 NADH(㉠)는 NAD^+(㉡)로 산화된다.

바로알기 ㄴ. A는 에탄올, B는 젖산이다.

ㄷ. (가)와 (나)는 모두 산소가 없는 상태에서 일어나므로 전자전달계를 통한 전자의 이동이 일어나지 않는다.

09 꼼꼼 문제 분석



과정 \ 물질	㉠ NAD^+	㉡ CO_2
(가) Ⅱ	ⓐ ○	○
(나) Ⅰ	? ○	×

(○: 생성됨, ×: 생성 안 됨)

• Ⅰ에서는 NAD^+만 생성되고, Ⅱ에서는 NAD^+, CO_2가 생성되므로 ㉠은 NAD^+이고, 나머지 ㉡은 CO_2이다.
• (나)에서는 NAD^+(㉠)만 생성되므로 (나)는 Ⅰ이고, (가)는 Ⅱ이다.

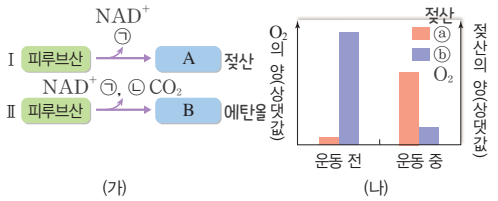
젖산발효 과정 중 피루브산 → 젖산에서 NAD^+가 생성되고, 에탄올발효 과정 중 피루브산 → 에탄올에서 NAD^+와 CO_2가 생성된다.

ㄴ. ㉠은 NAD^+, ㉡은 CO_2이다.

ㄷ. 사람의 근육세포에서 O_2가 부족할 때 젖산발효(Ⅰ, (나))를 통해 ATP를 생성한다.

바로알기 ㄱ. NAD^+(㉠)는 알코올발효(가)와 젖산발효(나)에서 모두 생성되므로 ⓐ는 '○'이다.

10 꼼꼼 문제 분석



• Ⅰ에서는 ㉠만 생성되고, Ⅱ에서는 ㉠과 ㉡이 생성되므로 젖산발효와 알코올발효에서 모두 생성되는 ㉠은 NAD^+이고, 알코올발효에서만 생성되는 ㉡은 CO_2이며, A는 젖산, B는 에탄올이다.
• 운동 중 근육세포로 공급되는 O_2의 양이 부족한 경우 젖산발효를 통해 ATP를 생성하므로 ⓐ는 젖산, ⓑ는 O_2이다.

ㄱ. A는 젖산, B는 에탄올이고, ⓐ는 젖산, ⓑ는 O_2이므로 ⓐ는 A이다.

ㄴ. 분자식이 젖산(A)은 $C_3H_6O_3$이고, 에탄올(B)은 C_2H_5OH이므로, 1분자당 수소 수는 A에서 6, B에서 6으로 같다.

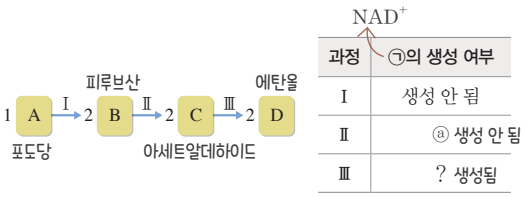
바로알기 ㄷ. Ⅰ에서 피루브산 1분자당 생성되는 NAD^+(㉠)의 분자 수는 1이고 Ⅱ에서 피루브산 1분자당 생성되는 CO_2(㉡)의

분자 수는 1이므로,

$$\frac{\text{Ⅰ에서 피루브산 1분자당 생성되는 NAD}^+(㉠)\text{의 분자 수}}{\text{Ⅱ에서 피루브산 1분자당 생성되는 CO}_2(㉡)\text{의 분자 수}}=1$$

이다.

11 꼼꼼 문제 분석



과정	㉠의 생성 여부
Ⅰ	생성 안 됨
Ⅱ	ⓐ 생성 안 됨
Ⅲ	? 생성됨

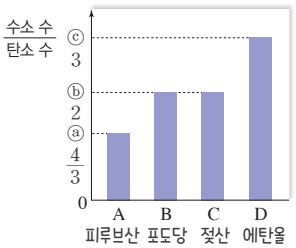
- 알코올발효 과정은 1포도당 → 2피루브산 → 2아세트알데하이드 → 2에탄올이다.
- 1포도당 → 2피루브산(Ⅰ)에서 2NADH, 2ATP가 생성되고 NAD^+는 생성되지 않으므로 ㉠은 NAD^+이다.

ㄷ. 분자식이 포도당(A)은 $C_6H_{12}O_6$이고, 에탄올(D)은 C_2H_5OH이다. 1분자당 $\frac{\text{수소 수}}{\text{탄소 수}}$는 A에서 $\frac{12}{6}=2$이고 B에서 $\frac{6}{2}=3$이므로, 포도당(A)이 에탄올(D)보다 작다.

바로알기 ㄱ. 1포도당 → 2피루브산(Ⅰ)에서 NAD^+가 환원되어 NADH가 생성되므로, ㉠은 NAD^+이다. 2피루브산 → 2아세트알데하이드(Ⅱ)에서 NAD^+는 생성되지 않으므로 ⓐ는 '생성 안 됨'이다.

ㄴ. 2아세트알데하이드 → 2에탄올(Ⅲ)에서는 NADH가 산화되어 NAD^+(㉠)가 생성된다.

12 꼼꼼 문제 분석



1분자당 $\frac{\text{수소 수}}{\text{탄소 수}}$가 포도당($C_6H_{12}O_6$)은 $\frac{12}{6}$, 피루브산($C_3H_4O_3$)은 $\frac{4}{3}$, 젖산($C_3H_6O_3$)은 $\frac{6}{3}$, 에탄올(C_2H_5OH)은 $\frac{6}{2}$이다. ➡ 1분자당 $\frac{\text{수소 수}}{\text{탄소 수}}$가 D에서 가장 크므로 D는 에탄올이고 ⓒ는 3이며, A에서 가장 작으므로 A는 피루브산이고 ⓐ는 $\frac{4}{3}$이다. 또한 1분자당 탄소 수는 B가 C보다 크므로 B는 포도당, C는 젖산이며, ⓑ는 2이다.

ㄴ. 분자식이 피루브산(A)은 $C_3H_4O_3$이고, 젖산(C)은 $C_3H_6O_3$이므로, 1분자당 탄소 수는 피루브산(A)과 젖산(C)이 각각 3으로 같다.

바로알기 ㄱ. ⓐ는 $\frac{4}{3}$, ⓑ는 2, ⓒ는 3이므로 2ⓑ<ⓐ+ⓒ이다.

ㄷ. 치즈를 만들 때는 젖산발효가 일어나므로 포도당(B)이 젖산(C)으로 전환된다.

13 발효관의 입구를 솜으로 막으면 산소의 유입이 차단되어 효모가 알코올발효를 한다. 이때 생성된 CO_2가 맹관부에 모여 맹관부에 들어 있는 용액의 높이가 낮아진다. 효모는 단당류인 포도당은 호흡기질로 이용하지만, 다당류인 녹말은 직접 이용하지 못한다. 따라서 Ⅰ(대조군)과 Ⅲ에서는 CO_2가 거의 발생하지 않고, Ⅱ에서는 CO_2가 발생한다.

② 종속변인은 조작변인의 영향을 받아 변하는 요인으로, 실험에서 측정하는 값에 해당한다. 따라서 이 실험에서 종속변인은 생성되는 CO_2의 양이다.

바로알기 ① 독립변인은 탐구 결과에 영향을 미칠 수 있는 요인으로, 조작변인과 통제변인이 있다. 조작변인은 대조군과 달리 실험군에서 의도적으로 변화시키는 변인이며, 통제변인은 대조군과 실험군에서 모두 동일하게 유지하는 변인이다. 따라서 이 실험에서 조작변인은 호흡기질의 종류이며, 통제변인은 온도, 효모액의 양, 호흡기질의 양, 솜 등이다.

③ 맹관부에 모인 기체(CO_2, ㉠)는 피루브산이 아세트알데하이드로 전환될 때 생성되며, 아세트알데하이드가 에탄올로 환원될 때 NAD^+가 생성된다.

④ (나)의 결과 Ⅱ에서가 Ⅲ에서보다 알코올발효가 더 많이 일어나 이산화 탄소가 더 많이 발생하므로, 맹관부 용액의 높이는 Ⅱ에서가 Ⅲ에서보다 낮다.

⑤ (나)에서 발효관 입구를 솜으로 막지 않으면 산소가 공급되므로 효모가 산소호흡을 하여 더 많은 CO_2(㉠)가 발생할 것이다.

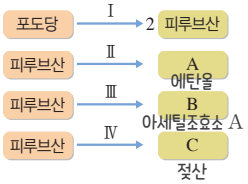
14 바로알기 B. 빵을 만들 때는 효모에 의한 알코올발효를, 치즈를 만들 때는 젖산발효를 이용한다.

C. 옥수수에 포함된 당분으로 바이오에탄올을 만들 때는 알코올발효를 이용한다.

실력 UP 문제 146쪽

01 ③ 02 ② 03 ⑤

01 꼼꼼 문제 분석



물질 / 과정	㉠ CO_2	㉡ NAD^+	㉢ ATP	㉣ NADH
I	?×	×	○	○
II	ⓐ○	?○	×	?×
III	○	?×	×	○
IV	×	ⓑ○	×	?×

(○: 생성됨, ×: 생성 안 됨)

- 포도당 → 2피루브산(I)에서 NADH와 ATP가 생성되는데, I에서만 ㉢이 생성되므로 ㉢은 ATP이고 ㉣은 NADH이다.
- III에서 NADH(㉣)가 생성되므로 B는 아세틸조효소 A이며, 피루브산 → 아세틸조효소 A(III)에서 CO_2가 생성되므로 ㉠은 CO_2이며, 나머지 ㉡은 NAD^+이다.
- IV에서 CO_2(㉠)가 생성되지 않으므로 C는 젖산이며, 나머지 A는 에탄올이다.

ㄱ. 피루브산 → 에탄올(II)에서 CO_2(㉠)가 생성되므로 ⓐ는 '○'이며, 피루브산 → 젖산(IV)에서 NAD^+(㉡)가 생성되므로 ⓑ는 '○'이다.

ㄷ. 분자식이 에탄올(A)은 C_2H_5OH이고 젖산(C)은 $C_3H_6O_3$이므로, 에탄올(A)의 $\frac{\text{수소 수}}{\text{탄소 수}}=\frac{6}{2}$이고 젖산(C)의 $\frac{\text{수소 수}}{\text{탄소 수}}=\frac{6}{3}$이다. 따라서 1분자당 $\frac{\text{수소 수}}{\text{탄소 수}}$는 에탄올(A)이 젖산(C)보다 크다.

바로알기 ㄴ. 피루브산 → 에탄올(II)에서 아세트알데하이드는 NADH로부터 H^+과 전자를 받아 에탄올로 환원되고, NADH는 NAD^+로 산화된다.

02 꼼꼼 문제 분석

과정	물질 전환 (과당 2인산)	분자 수를 더한 값 ㉠+㉡ ATP + NADH	㉡+㉢ NADH + CO_2
I	A → 2B	6 (4+2)	2 (2+0)
II	피루브산 B → C 아세틸조효소 A	1 (0+1)	2 (1+1)
III	B → D (아세트알데하이드)	0	1 (0+1)

- 1분자의 A가 2분자의 B로 전환되므로 A는 과당 2인산, B는 피루브산이다. 과당 2인산 → 2피루브산(I)에서 2NADH, 4ATP가 생성되므로 ㉠과 ㉡은 각각 ATP와 NADH 중 하나이고, ㉢은 CO_2이다. ㉡+㉢이 2이므로 ㉡이 NADH이며, ㉠이 ATP이다.
- C와 D는 각각 아세틸조효소 A와 아세트알데하이드 중 하나인데, III에서 ㉠+㉡이 0이므로 D는 아세트알데하이드이고, 나머지 C가 아세틸조효소 A이다.

ㄷ. 1분자당 탄소 수가 과당 2인산(A)은 6이고 피루브산(B)은 3이며, 피루브산이 CO_2를 방출하며 아세트알데하이드로 전환되므로 1분자당 아세트알데하이드(D)의 탄소 수는 2이다. 따라서

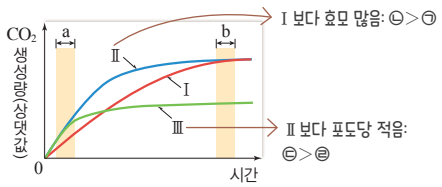
1분자당 $\frac{\text{피루브산(B)의 탄소 수+아세트알데하이드(D)의 탄소 수}}{\text{과당 2인산(A)의 탄소 수}}$

$=\frac{3+2}{6}=\frac{5}{6}$이다.

바로알기 ㄱ. 피루브산 → 아세트알데하이드(III)에서는 CO_2(㉢)가 생성되며, NADH(㉡)가 산화되지 않는다. 아세트알데하이드 → 에탄올 과정에서는 NADH(㉡)가 산화되어 NAD^+가 생성된다.

ㄴ. II는 마이토콘드리아에서, I과 III은 모두 세포질에서 일어난다.

03 꼼꼼 문제 분석



- I과 II에서 포도당의 양이 같으므로, 효모의 양이 많을수록 CO_2 생성량의 최댓값에 도달하는 시간이 짧다. ➡ II에서가 I에서보다 효모의 양이 많다(㉡>㉠).
- II와 III에서 효모의 양이 같으므로, 포도당의 양이 많을수록 CO_2 생성량의 최댓값이 많다. ➡ II에서가 III에서보다 포도당의 양이 많다(㉢>㉤).

ㄱ. ㉡>㉠이고 ㉢>㉤이므로, $\frac{㉡+㉢}{㉠+㉤}$은 1보다 크다.

ㄴ. I의 구간 a에서 시간에 따른 CO_2 생성량이 증가하므로 효모의 알코올발효가 일어나고 있다. 알코올발효 과정의 첫 단계에서 포도당 1분자가 해당 과정을 거쳐 피루브산 2분자로 분해될 때 탈수소 반응으로 NADH 2분자가 생성되고 기질수준인산화로 ATP 2분자가 순생성된다. 따라서 I의 구간 a에서 탈수소 반응과 기질수준인산화가 모두 일어났다.

ㄷ. 알코올발효 과정의 첫 단계에서 해당 과정 이후 생성된 피루브산은 CO_2를 방출하고 아세트알데하이드가 된다. 따라서 단위 시간당 생성되는 아세트알데하이드의 양은 단위 시간당 생성되는 CO_2의 양에 비례하므로, II에서 단위 시간당 생성되는 아세트알데하이드의 양은 구간 a에서가 구간 b에서보다 많다.

중단원 핵심 정리 147쪽~148쪽

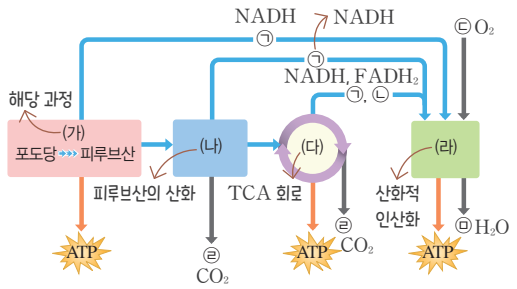
① 내막 ② 마이토콘드리아 ③ TCA 회로 ④ 세포질
⑤ 2 ⑥ 산소 ⑦ 1 ⑧ 2.5 ⑨ 산소 ⑩ 능동수송
⑪ 촉진확산 ⑫ 32 ⑬ 3 ⑭ 세포질 ⑮ 2 ⑯ 이산화 탄소

중단원 마무리 문제 149쪽~152쪽

01 ⑤	02 ⑤	03 ③	04 ④	05 ⑤	06 ①
07 ①	08 ④	09 ③	10 ③	11 ④	12 ④
13 ②	14 해설 참조		15 해설 참조		

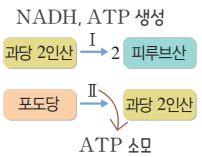
01 ① 바탕질(㉠)에서 피루브산이 아세틸조효소 A로 산화되는 피루브산의 산화가 일어난다.
② 내막(㉡)에는 전자전달계가 있어 산화적 인산화가 일어난다.
③, ④ 내막(㉡)은 안쪽으로 접혀 들어가 주름진 구조인 크리스타를 형성하여 내막의 표면적이 넓어져 세포호흡이 효율적으로 일어날 수 있다.
바로알기 ⑤ 내막(㉡)에 ATP 합성효소가 있어 전자전달계와 화학삼투를 통해 산화적 인산화가 일어난다.

02 꼼꼼 문제 분석



① 해당 과정(가)과 TCA 회로(다)에서 모두 기질수준인산화가, (라)에서 산화적 인산화가 일어나 ATP가 생성된다.
② 해당 과정(가)은 세포질에서, 피루브산의 산화(나)와 TCA 회로(다)는 모두 마이토콘드리아 바탕질에서, 산화적 인산화(라)는 마이토콘드리아 내막에서 일어난다.
③ 산화적 인산화(라)에서 NADH(㉠)는 산화되어 NAD^+가 되고, $FADH_2$(㉡)는 산화되어 FAD가 된다.
④ 전자전달계에서 최종 전자수용체인 O_2(㉢)는 H^+과 결합하여 H_2O(㉣)을 생성한다.
바로알기 ⑤ 피루브산 1분자당 생성되는 CO_2(ⓔ)의 양은 피루브산의 산화(나)에서 1분자, TCA 회로(다)에서 2분자이므로, 피루브산의 산화(나)에서가 TCA 회로(다)에서보다 적다.

03 꼼꼼 문제 분석

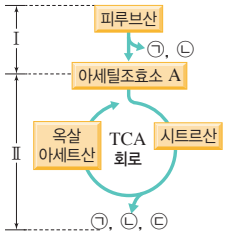


특징	(가) Ⅰ	(나) Ⅱ
ATP가 소모된다.	?×	ⓐ○
탈수소 반응이 일어난다.	○	?×
탈탄산 반응이 일어난다.	ⓑ×	×

(○: 있음, ×: 없음)

ㄱ. (가)에서 탈수소 반응이 일어나므로 NADH가 생성된다. 따라서 (가)는 Ⅰ이다.
ㄷ. (가)(Ⅰ)와 (나)(Ⅱ)는 모두 해당 과정의 일부이며, 해당 과정은 세포질에서 일어난다.
바로알기 ㄴ. (나)(Ⅱ)는 해당 과정 중 ATP 소모 단계이므로 ⓐ는 '○'이다. (가)(Ⅰ)와 (나)(Ⅱ)에서 모두 CO_2가 방출되지 않으므로 ⓑ는 '×'이다.

04 꼼꼼 문제 분석

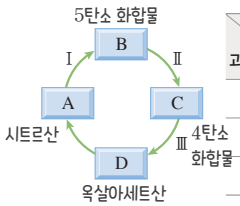


과정	NADH 분자 수 ㉠	㉡	$FADH_2$ 분자 수 ㉢
Ⅰ	ⓐ 1	ⓑ 1	0
Ⅱ	ⓒ 3	2	ⓓ 1

- Ⅰ: CO_2 1분자, NADH 1분자가 생성된다.
- Ⅱ: CO_2 2분자, NADH 3분자, $FADH_2$ 1분자가 생성된다.

ㄴ. 과정 Ⅰ은 피루브산의 산화 과정으로 CO_2 1분자, NADH 1분자가 생성되고, 과정 Ⅱ는 TCA 회로 과정으로 CO_2 2분자, NADH 3분자, $FADH_2$ 1분자가 생성된다. 과정 Ⅰ에서 ㉢의 분자 수는 0이므로 ㉢은 $FADH_2$이다. 과정 Ⅱ에서 ㉡의 분자 수는 2이므로 ㉡은 CO_2이고, 나머지 ㉠은 NADH이다. 과정 Ⅰ에서 생성되는 NADH(㉠)는 1분자이므로 ⓐ는 1이고, CO_2(㉡)도 1분자이므로 ⓑ는 1이다. 과정 Ⅱ에서 생성되는 NADH(㉠)는 3분자이므로 ⓒ는 3이고, $FADH_2$(㉢)는 1분자이므로 ⓓ는 1이다. 따라서 ⓒ(3)=ⓐ(1)+ⓑ(1)+ⓓ(1)이다.
ㄷ. TCA 회로(Ⅱ)에서 기질수준인산화로 ATP가 생성된다.
바로알기 ㄱ. ㉠은 NADH, ㉡은 CO_2, ㉢은 $FADH_2$이다.

05 꼼꼼 문제 분석



과정 \ 물질	㉠ ATP	㉡ CO_2	㉢ NADH
Ⅰ	×	?○	○
Ⅱ	○	○	?○
Ⅲ	ⓐ×	×	○

(○: 생성됨, ×: 생성 안 됨)

- TCA 회로 중 5탄소 화합물 → 4탄소 화합물에서 ATP, CO_2, NADH가 모두 생성되므로 B는 5탄소 화합물이고 C는 4탄소 화합물이며, A는 시트르산이고 D는 옥살아세트산이다.
- 과정 Ⅰ에서 CO_2, NADH가 생성되므로 ㉠은 ATP이고, 과정 Ⅲ에서 NADH가 생성되므로 ㉢은 NADH이며, 나머지 ㉡은 CO_2이다.

TCA 회로 중 시트르산 → 5탄소 화합물에서 CO_2, NADH가 생성되고, 5탄소 화합물 → 4탄소 화합물에서 ATP, CO_2, NADH가 생성되며, 4탄소 화합물 → 옥살아세트산에서 NADH가 생성된다.

ㄱ. Ⅲ의 4탄소 화합물(C) → 옥살아세트산(D)에서 ATP(㉠)가 생성되지 않으므로 ⓐ는 '×'이다.

ㄴ. 1분자당 탄소 수는 시트르산(A)이 6, 5탄소 화합물(B)이 5, 4탄소 화합물(C)이 4이므로 A>B>C이다.

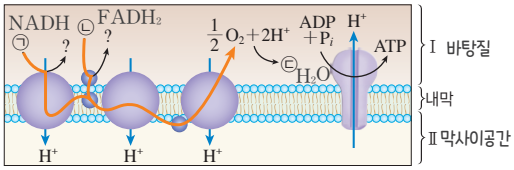
ㄷ. Ⅰ ~ Ⅲ에서 모두 탈수소효소가 작용하여 NADH가 생성된다.

06 ㄴ. (라)에서 막사이공간의 pH가 바탕질의 pH보다 낮으므로 H^+이 마이토콘드리아 내막의 ATP 합성효소를 통해 막사이공간에서 바탕질로 확산되면서 ATP가 합성된다.

바로알기 ㄱ. (다)의 수용액에 첨가된 포도당은 마이토콘드리아 안으로 들어가지 못하므로 ATP 합성량에 영향을 미치지 못한다.

ㄷ. (라)에서 H^+이 막사이공간에서 바탕질로 확산되었으므로 마이토콘드리아 바탕질의 H^+의 농도가 증가한다(pH 8보다 낮아진다.). 이후 (라)의 마이토콘드리아를 다시 pH 8의 수용액으로 옮기면 바탕질에서의 H^+ 농도가 막사이공간의 H^+ 농도보다 높아져, 막사이공간에서 바탕질로 H^+의 확산이 일어나지 않으므로 ATP가 합성되지 않는다.

07 꼼꼼 문제 분석



H^+은 ATP 합성효소를 통해 마이토콘드리아 막사이공간에서 바탕질로 이동하므로 Ⅰ은 마이토콘드리아의 바탕질이고 Ⅱ는 막사이공간이다.

ㄱ. ㉠은 NADH, ㉡은 $FADH_2$이며, 피루브산이 아세틸조효소 A로 전환되는 과정에서 NADH(㉠)가 생성된다.

바로알기 ㄴ. 전자전달계의 최종 전자수용체는 O_2이며, 전자를 받은 O_2는 H^+과 결합하여 H_2O을 생성한다.

ㄷ. ATP 합성효소를 통한 H^+의 이동을 차단하면 마이토콘드리아 막사이공간에서 바탕질로 H^+이 이동하지 못하므로, 전자전달계가 작동하는 동안 막사이공간(Ⅱ)의 pH는 낮아지고 바탕질(Ⅰ)의 pH는 높아진다. 따라서 $\frac{\text{바탕질(Ⅰ)에서의 pH}}{\text{막사이공간(Ⅱ)에서의 pH}}$는 X를 처리한 후가 처리하기 전보다 크다.

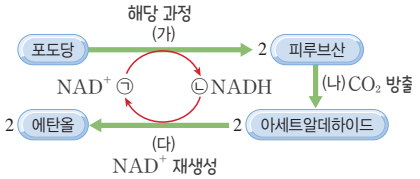
08 지방이 지방산과 글리세롤로 분해된 다음 글리세롤은 해당 과정의 중간 산물로 전환된 뒤 해당 과정과 TCA 회로를 거쳐 산화되고, 지방산은 아세틸조효소 A로 전환된 뒤 TCA 회로를 거쳐 산화되므로 A는 지방이고 ㉠은 지방산, ㉡은 글리세롤이다. 탄수화물은 포도당으로 분해된 다음, 해당 과정으로 들어가 세포호흡의 나머지 단계를 거치므로 B는 탄수화물이고 ㉢은 포도당이다.

ㄴ. 세포질에서 해당 과정으로 생성된 피루브산은 마이토콘드리아 바탕질로 들어가 아세틸조효소 A로 전환된다.

ㄷ. 아미노산은 아미노기가 제거된 후 피루브산, 아세틸조효소 A, TCA 회로의 중간 산물 등으로 전환되어 세포호흡에 사용된다.

바로알기 ㄱ. ㉠은 지방산, ㉡은 글리세롤, ㉢은 포도당이다.

09 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. (가)는 해당 과정으로, ATP 소모 단계와 ATP 생성 단계로 나누어진다. ATP 소모 단계에서 포도당 1분자가 과당 2인산 1분자로 활성화되면서 ATP가 ADP와 무기인산으로 분해되는 반응이 일어난다.

ㄴ. (나)에서 탈탄산 반응이 일어나 이산화 탄소가 방출된다.

바로알기 ㄷ. (다)에서 아세트알데하이드가 에탄올로 환원되고, NADH(㉡)가 NAD^+(㉠)로 산화된다.

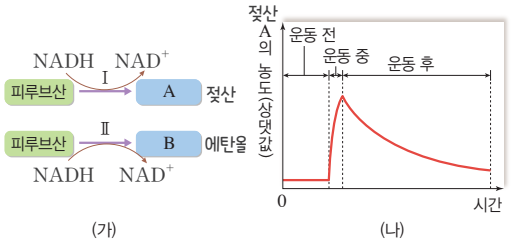
10 효모는 산소가 있을 때는 산소호흡을, 산소가 없을 때는 알코올발효를 한다.

ㄱ. 효모는 산소가 없을 때 알코올발효를 하여 생명활동에 필요한 에너지를 생성하므로 A는 에탄올이다.

ㄴ. 알코올발효 과정에서 아세트알데하이드는 NADH로부터 H^+과 전자를 받아 에탄올로 환원되므로, 에탄올이 생성되는 구간 Ⅱ에서 아세트알데하이드가 환원된다.

바로알기 ㄷ. 포도당 1분자가 산소호흡에 의해 분해될 때 기질수준인산화에 의해 해당 과정에서 2ATP, TCA 회로에서 2ATP가 합성되며, 포도당 1분자가 알코올발효에 의해 분해될 때 기질수준인산화에 의해 해당 과정에서 2ATP가 합성된다. 따라서 포도당 1분자당 기질수준인산화에 의해 합성되는 ATP의 분자 수는 산소호흡이 일어나는 구간 Ⅰ에서가 알코올발효가 일어나는 구간 Ⅱ에서보다 크다.

11 꼼꼼 문제 분석

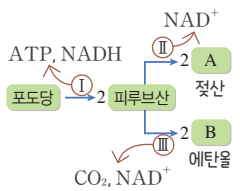


ㄱ. 사람의 근육세포에서는 산소가 없을 때 젖산발효를 하여 생명활동에 필요한 에너지를 생성하므로 A는 젖산이다.

ㄷ. 사람의 근육세포에서 젖산발효 후 근육세포에 축적된 젖산은 혈액에 의해 간으로 운반되어 피루브산으로 전환된 뒤, 산소호흡에 이용되거나 포도당으로 합성된다.

바로알기 ㄴ. Ⅰ과 Ⅱ에서 모두 NAD^+가 생성된다.

12 꼼꼼 문제 분석



과정 \ 물질	㉠ CO_2	㉡ NADH
Ⅰ	ⓐ ×	○
Ⅱ	×	? ×
Ⅲ	? ○	ⓑ ×

(○: 생성됨, ×: 생성 안 됨)

- 해당 과정(Ⅰ)에서 NADH가 생성되므로 ㉡은 NADH이고, ㉠은 CO_2이다.
- 과정 Ⅱ에서 CO_2(㉠)가 생성되지 않으므로 A는 젖산이고, B는 에탄올이다.

ㄱ. 해당 과정(Ⅰ)에서는 CO_2(㉠)가 생성되지 않으므로 ⓐ는 '×'이고, 알코올발효(Ⅲ)에서는 NADH(㉡)가 생성되지 않으므로 ⓑ는 '×'이다.

ㄷ. 분자식이 젖산(A)은 $C_3H_6O_3$이고 에탄올(B)은 C_2H_5OH이므로, 1분자당 탄소 수는 A에서 3, B에서 2이다.

바로알기 ㄴ. Ⅱ에서는 탈탄산 반응이 일어나지 않고, Ⅲ에서 탈탄산 반응이 일어난다.

13 꼼꼼 문제 분석

과정 \ 특징	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
피루브산 → A	○	×	? ○
피루브산 → B	○	? ○	×
피루브산 → C	? ○	×	○

아세틸조효소 A (○: 있음, ×: 없음)

(가)

특징(Ⅰ ~ Ⅲ)

- NAD^+가 생성된다. Ⅲ
- 산화환원반응이 일어난다. Ⅰ
- 마이토콘드리아에서 일어난다. Ⅱ

(나)

ㄴ. '산화환원반응이 일어난다.'는 피루브산의 산화, 알코올발효, 젖산발효에 모두 해당하는 특징이므로 Ⅰ이다. '마이토콘드리아에서 일어난다.'는 피루브산의 산화에만 해당하는 특징이므로 Ⅱ이며, B는 아세틸조효소 A이다. 나머지 Ⅲ은 'NAD^+가 생성된다.'이며, A와 C는 각각 에탄올과 젖산 중 하나이다.

바로알기 ㄱ. B는 아세틸조효소 A이고, A와 C는 각각 에탄올과 젖산 중 하나이다.

ㄷ. A가 에탄올(C_2H_5OH)이고 C가 젖산($C_3H_6O_3$)일 때 1분자당 $\frac{\text{A의 탄소 수}}{\text{C의 탄소 수}}=\frac{2}{3}$이고, A가 젖산($C_3H_6O_3$)이고 C가 에탄올($C_2H_5OH$)일 때 1분자당 $\frac{\text{A의 탄소 수}}{\text{C의 탄소 수}}=\frac{3}{2}$이다.

14

세포호흡은 세포질에서 해당 과정을 통해 포도당 1분자가 피루브산 2분자로 분해되고, 산소가 있을 때 피루브산이 마이토콘드리아 바탕질로 들어가 피루브산의 산화 및 TCA 회로, 산화적 인산화 과정을 거쳐 ATP를 생성하는 과정이다. 시험관 Ⅰ에 첨가한 포도당은 마이토콘드리아 안으로 들어갈 수 없으므로 세포호흡에 이용되지 못한다. 시험관 Ⅱ에 첨가한 피루브산은 마이토콘드리아 안으로 들어가 피루브산의 산화 및 TCA 회로, 산화적 인산화가 일어나 ATP를 합성한다.

모범 답안 (1) (가) Ⅱ (나) Ⅰ

(2) Ⅰ(나)에서는 포도당이 마이토콘드리아로 들어가지 못해 세포호흡에 이용되지 못하므로 산소가 소비되지 않는다. Ⅱ(가)에서는 피루브산이 마이토콘드리아로 들어가 피루브산의 산화 및 TCA 회로를 거치며 이후 전자전달계에서 전자의 이동이 일어나므로 최종 전자수용체인 산소의 소비량이 증가한다.

채점 기준		배점
(1)	(가)와 (나)를 모두 옳게 쓴 경우	30 %
(2)	포도당과 피루브산의 마이토콘드리아 통과 여부와 전자전달계에서의 전자 이동 여부를 포함하여 옳게 서술한 경우	70 %
	포도당과 피루브산의 마이토콘드리아 통과 여부와 전자전달계에서의 전자 이동 여부 중 한 가지만 언급하여 서술한 경우	30 %

15

세포호흡으로 포도당 1분자가 분해될 때, 해당 과정에서 기질수준인산화로 2ATP가 생성되고, TCA 회로에서 기질수준인산화로 2ATP가 생성된다. 해당 과정에서 생성된 2NADH, 피루브산의 산화에서 생성된 2NADH, TCA 회로에서 생성된 6NADH와 $2FADH_2$의 에너지로부터 산화적 인산화로 28ATP가 생성된다.

모범 답안 (1) (가) 2ATP (나) 2ATP (다) 28ATP

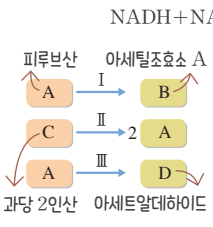
(2) 기질수준인산화는 기질에 결합하고 있던 인산기가 ADP로 전달되어 ATP가 합성되는 과정이다. 산화적 인산화는 고에너지 전자가 전자전달계를 따라 이동하면서 방출하는 에너지를 이용하여 형성된 H^+의 농도 기울기에 따라 H^+이 ATP 합성효소를 통과할 때 ATP가 합성되는 과정이다.

채점 기준		배점
(1)	(가)~(다)를 모두 옳게 쓴 경우	30 %
(2)	ATP가 합성되는 원리와 관련지어 차이점을 옳게 서술한 경우	70 %
	기질수준인산화와 산화적 인산화의 차이점 중 일부만 옳게 서술한 경우	30 %

중단원 고난도 문제 153쪽

01 ㄱ **02** ③ **03** ②

01 꼼꼼 문제 분석



과정	분자 수를 더한 값		
	㉠+㉡	㉡+㉢	㉠+㉢
I	ⓐ(1+0)	?(0+1)	2(1+1)
II	2(2+0)	ⓑ(0)	2(2+0)
III	0	?(0+1)	ⓒ(0+1)

선택지 분석

㉠ ⓐ=ⓑ+ⓒ이다.

✗ ㉡. I과 III은 모두 세포질에서 일어난다. II와 III은

✗ ㉢. 1분자당 $\frac{\text{수소 수}}{\text{탄소 수}}$는 B가 D보다 크다. 작다.

전략적 풀이 ❶ 산소호흡과 발효에서 일어나는 과정을 통해 A~D와 ㉠~㉢이 각각 무엇인지 알아낸 후, ⓐ~ⓒ를 구한다.

ㄱ. II에서 1분자의 C가 2분자의 A로 전환되므로 C는 과당 2인산, A는 피루브산이다. 과당 2인산 → 2피루브산(II)에서 2NADH가 생성되는데, 표에서 ㉠+㉡=2, ㉠+㉢=2이므로 ㉠은 NADH이다.

피루브산 → 아세틸조효소 A에서 1NADH, $1CO_2$가 생성되고, 피루브산 → 아세트알데하이드에서 $1CO_2$가 생성되는데, III에서 ㉠+㉡=0이므로 ㉢만 생성된다. 따라서 D는 아세트알데하이드, ㉢은 CO_2이고, 나머지 B는 아세틸조효소 A, ㉡은 NAD^+이다.

피루브산 → 아세틸조효소 A(I)에서 1NADH, $1CO_2$가 생성되므로 ⓐ=NADH(㉠)+NAD^+(㉡)=1이다. 과당 2인산 → 2피루브산(II)에서 2NADH가 생성되므로 ⓑ=NAD^+(㉡)+CO_2(㉢)=0이다. 피루브산 → 아세트알데하이드(III)에서 $1CO_2$가 생성되므로 ⓒ=NADH(㉠)+CO_2(㉢)=1이다.

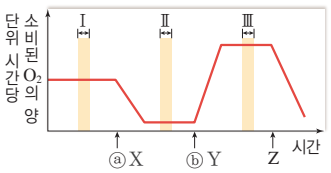
❷ 산소호흡과 발효가 일어나는 장소를 구분한다.

ㄴ. 피루브산 → 아세틸조효소 A(I)는 마이토콘드리아 바탕질에서, 과당 2인산 → 2피루브산(II)과 피루브산 → 아세트알데하이드(III)는 세포질에서 일어난다.

❸ 탈탄산 반응과 탈수소 반응 여부를 고려하여 B와 D의 탄소 수와 수소 수를 비교한다.

ㄷ. 피루브산 → 아세틸조효소 A(B)에서 탈탄산 반응이 일어나 $1CO_2$가 생성되고, 탈수소 반응이 일어나 1NADH가 생성된다. 피루브산 → 아세트알데하이드(D)에서 탈탄산 반응이 일어나 $1CO_2$가 생성된다. 따라서 1분자당 탄소 수는 아세틸조효소 A(B)와 아세트알데하이드(D)가 같고, 1분자당 수소 수는 아세틸조효소 A(B)가 아세트알데하이드(D)보다 작으므로, 1분자당 $\frac{\text{수소 수}}{\text{탄소 수}}$는 아세틸조효소 A(B)가 아세트알데하이드(D)보다 작다.

02 꼼꼼 문제 분석



X를 첨가하면 전자전달계를 통한 전자의 이동이 감소하므로 O_2의 소비도 감소하며, Y를 첨가하면 전자전달계를 통한 전자의 이동이 다시 증가하므로 O_2의 소비도 증가한다. ➡ ⓐ는 X, ⓑ는 Y이다.

선택지 분석

㉠ ⓐ는 X이다.

㉡ 단위 시간당 세포호흡에 의해 생성되는 H_2O 분자 수는 구간 I에서가 구간 II에서보다 크다.

✗ ㉢. 마이토콘드리아의 $\frac{\text{막사이공간의 pH}}{\text{바탕질의 pH}}$는 구간 II에서가 구간 III에서보다 크다. 작다.

전략적 풀이 ❶ 자료의 그래프를 해석하여 ⓐ와 ⓑ가 각각 무엇인지 알아낸다.

ㄱ. X는 ATP 합성효소를 통한 H^+의 이동을 차단하므로, X를 첨가하면 전자전달계를 통한 전자의 이동이 감소하여 O_2의 소비도 감소한다. 따라서 ⓐ는 X이다. Y는 마이토콘드리아 내막에 있는 인지질을 통해 H^+을 새어 나가게 하므로, Y를 첨가하면 전자전달계를 통한 전자의 이동이 다시 증가하여 O_2의 소비도 증가한다. 따라서 ⓑ는 Y이다.

❷ X의 작용 기작을 통해 물질 첨가 전후 고에너지 전자가 O_2로 전달되는지 여부를 파악한다.

ㄴ. ⓐ(X)를 첨가하기 전인 구간 Ⅰ에서가 첨가한 후인 구간 Ⅱ에서보다 O_2의 소비가 많으므로, 단위 시간당 세포호흡에 의해 생성되는 H_2O 분자 수는 구간 Ⅰ에서가 구간 Ⅱ에서보다 크다.

❸ X와 Y의 작용 기작을 통해 물질 첨가 이후 마이토콘드리아에서 막사이공간과 바탕질의 pH가 어떻게 변하는지 파악한다.

ㄷ. X는 ATP 합성효소를 통해 H^+이 막사이공간에서 바탕질로 이동하는 것을 차단하므로, X를 첨가하면 막사이공간의 pH는 감소하고 바탕질의 pH는 증가한다. Y는 마이토콘드리아 내막에 있는 인지질을 통해 H^+을 새어 나가게 하므로 Y를 첨가하면 막사이공간의 pH는 증가하고 바탕질의 pH는 감소한다. 따라서 마이토콘드리아의 $\frac{\text{막사이공간의 pH}}{\text{바탕질의 pH}}$는 구간 Ⅱ에서가 구간 Ⅲ에서보다 작다.

03 꼼꼼 문제 분석

시험관	첨가한 물질의 양(상댓값)			생성된 에탄올의 총량 (상댓값)
	ATP	㉠ 포도당	㉡ 과당 2인산	
Ⅰ	0	1	0	0
Ⅱ	0	0	1	1
Ⅲ	0	1	1	ⓐ 2
Ⅳ	2	1	0	1
Ⅴ	2	1	1	2

과당 2인산이 있으면 ATP가 없어도 해당 과정을 거쳐 에탄올이 생성되지만, 포도당이 있어도 ATP가 없으면 해당 과정이 일어나지 않아 알코올발효도 일어나지 않는다. ➡ ㉠은 포도당, ㉡은 과당 2인산이다.

선택지 분석

✕ ㄱ. ㉡은 포도당이다. ㉠

○ ㄴ. ⓐ는 2이다.

✕ ㄷ. 2분자의 에탄올이 생성될 때, $\frac{\text{사용된 ATP 분자 수}}{\text{생성된 ATP 분자 수}}$는 Ⅱ에서가 Ⅳ에서보다 크다. 작다.

전략적 풀이 ❶ Ⅰ ~ Ⅴ의 결과를 통해 ㉠과 ㉡이 각각 무엇인지 알아낸다.

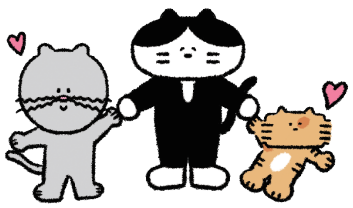
ㄱ. 해당 과정에서 1분자의 포도당이 1분자의 과당 2인산으로 전환될 때 2ATP가 사용되고, 1분자의 과당 2인산이 2분자의 피루브산으로 분해될 때 4ATP가 생성된다. 따라서 포도당이 있어도 ATP가 없으면 해당 과정이 일어나지 않아 에탄올이 생성되지 않는다. 반면 과당 2인산이 있으면 ATP가 없어도 해당 과정이 일어나 에탄올이 생성된다. 따라서 ㉠은 포도당, ㉡은 과당 2인산이다.

❷ Ⅲ에서 생성된 에탄올의 총량을 파악한다.

ㄴ. Ⅲ에서 과당 2인산이 피루브산으로 분해되는 과정에서 ATP가 생성되며, 생성된 ATP를 사용하여 포도당이 과당 2인산으로 전환된다. 그 결과 과당 2인산의 양은 Ⅲ에서가 Ⅱ에서의 2배가 된다. 따라서 생성된 에탄올의 총량은 Ⅲ에서가 Ⅱ에서의 2배가 되므로, ⓐ는 2이다.

❸ Ⅱ와 Ⅳ 각각에서 2분자의 에탄올이 생성될 때 사용된 ATP 분자 수와 생성된 ATP 분자 수를 비교한다.

ㄷ. 2분자의 에탄올이 생성될 때, Ⅱ에서 사용된 ATP 분자 수는 0이고 생성된 ATP 분자 수는 4이다. 또한 2분자의 에탄올이 생성될 때, Ⅳ에서 사용된 ATP 분자 수는 2이고 생성된 ATP 분자 수는 4이다. 따라서 2분자의 에탄올이 생성될 때, $\frac{\text{사용된 ATP 분자 수}}{\text{생성된 ATP 분자 수}}$는 Ⅱ에서가 Ⅳ에서보다 작다.



2 광합성

01 / 광합성(1)

개념 확인 문제 160쪽

❶ 타이라코이드 ❷ 그라나 ❸ 스트로마 ❹ 광합성색소
❺ 엽록소 ❻ 명반응 ❼ 화학

1 (1) B, 스트로마 (2) A, 그라나 (3) C, 타이라코이드 **2** (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○ **3** (1) (나) (2) 청자색, 적색 **4** (1) × (2) × (3) ○ (4) ×

1 납작한 주머니 모양의 막 구조인 C는 타이라코이드이고, 타이라코이드(C)가 여러 개 쌓인 A는 그라나이다. 타이라코이드(C)를 제외한 나머지 공간인 B는 스트로마이다.

2 (1) 엽록체는 외막과 내막의 이중막 구조이며, 내막은 외막처럼 매끈하다.
(2) 그라나를 제외한 내막 안쪽의 공간을 스트로마라고 하며, 스트로마에는 포도당 합성에 관여하는 여러 가지 효소, DNA, 라이보솜 등이 있다.
(3) 엽록체에서는 광합성이 일어나 빛에너지를 화학 에너지로 전환하여 유기물에 저장한다.
(4) 카로티노이드는 빛에너지를 흡수하여 엽록소로 전달하는 보조색소이며, 과도한 빛으로부터 엽록소를 보호한다.

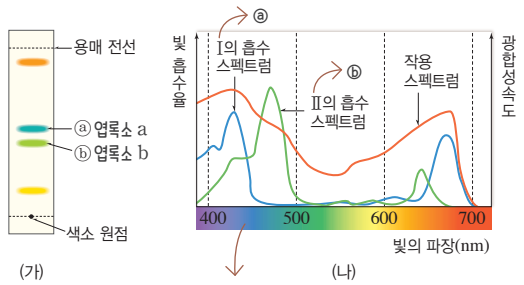
3 흡수스펙트럼은 빛의 파장에 따른 광합성색소의 빛 흡수율을 그래프로 나타낸 것이고, 작용스펙트럼은 빛의 파장에 따른 식물의 광합성속도를 그래프로 나타낸 것이다.
(1) (가)는 엽록소 a와 b의 흡수스펙트럼이고, (나)는 엽록체의 작용스펙트럼이다.
(2) 엽록소 a와 b는 청자색과 적색의 빛을 주로 흡수하고, 이 파장의 빛에서 광합성이 가장 활발하게 일어난다.

4 (1) 광합성에서는 물이 분해되어 산소가 발생하고 이산화 탄소가 포도당으로 환원된다.
(2) 명반응은 엽록체의 타이라코이드 막에서 일어나고, 탄소고정반응은 엽록체의 스트로마에서 일어난다.
(3), (4) 명반응에서 만들어지는 ATP와 NADPH가 공급되어야 포도당을 합성할 수 있으므로, 탄소고정반응은 빛이 공급되어야 지속적으로 일어난다.

대표 자료 분석 1 161쪽

1 ⓐ 엽록소 a, ⓑ 엽록소 b **2** (1) 타이라코이드 막 (2) ㉠ 적색, ㉡ 초록색 (3) 적색 (4) 엽록소 **3** (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○ (5) × (6) ○ (7) ○ (8) ○

꼼꼼 문제 분석



엽록소 a와 b는 청자색과 적색의 빛을 주로 흡수하고, 이 파장의 빛에서 광합성이 가장 활발하게 일어난다.

1 엽록소 a의 전개율이 엽록소 b의 전개율보다 크므로 ⓐ는 엽록소 a이고, ⓑ는 엽록소 b이다.

2 (1) 광합성색소인 엽록소 a(ⓐ)와 엽록소 b(ⓑ)는 타이라코이드 막에 있다.
(2) 엽록소 a(ⓐ)와 엽록소 b(ⓑ)는 청자색과 적색의 빛을 주로 흡수하고, 초록색 빛은 거의 흡수하지 않으며 대부분 반사하거나 통과시킨다.
(3) 작용스펙트럼을 보면 청자색광과 적색광에서 광합성속도가 가장 빠르다.
(4) 흡수스펙트럼과 작용스펙트럼이 거의 일치하는 것으로 보아 식물은 주로 엽록소가 가장 잘 흡수하는 청자색광과 적색광을 이용하여 광합성을 한다는 것을 알 수 있다.

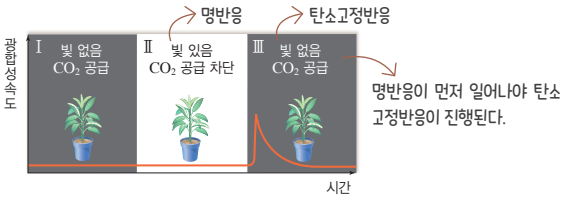
3 (1) 분자량이 작을수록, 전개액에 대한 용해도가 높을수록, TLC 판에 대한 흡착력이 낮을수록 전개율이 크다.
(2) 전개율(R_f) $= \frac{\text{원점에서 색소까지의 거리}}{\text{원점에서 용매 전선까지의 거리}}$이다. 따라서 원점에서 색소까지의 거리가 멀수록 전개율이 크다.
(3) 엽록소 a(Ⅰ)는 일부 광합성세균을 제외한 모든 광합성 생물에 있다.
(4) Ⅰ은 ⓐ(엽록소 a)이고, Ⅱ는 ⓑ(엽록소 b)이다.
(5), (6) 엽록소는 초록색 빛을 대부분 반사하거나 통과시키는데, 카로티노이드가 이 빛을 흡수하여 엽록소에 전달하므로 초록색 빛에서도 광합성이 일어난다.

(7) 흡수스펙트럼을 보면 엽록소 a와 엽록소 b는 모두 청자색광과 적색광을 주로 흡수하고, 작용스펙트럼을 보면 청자색광과 적색광에서 광합성속도가 가장 빠르다.
(8) 작용스펙트럼을 보면 광합성은 파장이 450 nm인 빛에서가 550 nm인 빛에서보다 더 활발하게 일어남을 알 수 있다.

대표 자료 분석 2 162쪽

1 Ⅱ, Ⅴ, Ⅵ **2** Ⅲ, Ⅵ **3** ㉠ 명반응, ㉡ 탄소고정반응
4 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ○ (6) ○ (7) ○

꼼꼼 문제 분석



1 명반응은 빛에너지를 화학 에너지로 전환하는 단계로, 엽록체의 타이라코이드 막에서 일어난다. 명반응은 빛이 있는 구간 Ⅱ, Ⅴ, Ⅵ에서 일어난다.

2 탄소고정반응은 CO_2를 환원하여 포도당을 합성하는 단계로, 엽록체의 스트로마에서 일어난다. 탄소고정반응은 명반응의 산물과 CO_2가 있는 구간 Ⅲ, Ⅵ에서 일어난다.

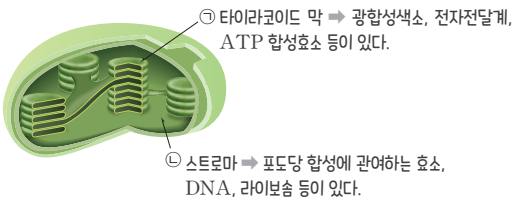
3 광합성 과정은 엽록체의 타이라코이드 막에서 일어나는 명반응(㉠)과 엽록체의 스트로마에서 일어나는 탄소고정반응(㉡)으로 구분된다.

4 (1) 빛은 없고 CO_2만 있는 구간 Ⅰ과 Ⅲ 중에서 Ⅱ에서 빛을 공급한 이후인 구간 Ⅲ에서만 광합성이 일시적으로 일어났으므로, 구간 Ⅰ과 Ⅲ을 비교하면 명반응이 먼저 일어나야 탄소고정반응이 진행된다는 것을 알 수 있다.
(2) 구간 Ⅰ과 Ⅳ에서는 광합성이 일어나지 않았다. 따라서 구간 Ⅰ과 Ⅳ를 비교하여 빛이 없어도 CO_2가 있으면 광합성이 일어난다는 것을 알 수 없다.
(3), (5) 빛이 있는 Ⅱ와 Ⅴ에서는 명반응이 일어난다. 명반응이 일어나면 ATP와 NADPH가 생성되고, 물이 분해되어 산소가 발생한다.
(4), (7) 구간 Ⅲ과 Ⅵ에서 광합성속도의 차이가 나타난 것은 빛의 유무 때문이다. 이를 통해 광합성이 지속되기 위해서는 빛과 CO_2가 모두 필요함을 알 수 있다.
(6) 빛과 CO_2가 모두 있는 구간 Ⅵ에서는 명반응과 탄소고정반응이 모두 일어난다.

내신 만점 문제 163쪽~164쪽

01 ③ **02** ④ **03** ⑤ **04** ② **05** ④ **06** ①
07 ② **08** ③

01 꼼꼼 문제 분석



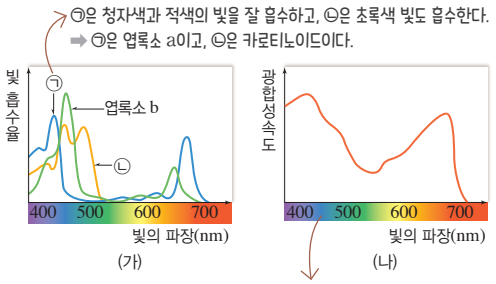
바로알기 ㄷ. 엽록체에서 DNA와 라이보솜은 스트로마(㉡)에 있다.

02 ①, ② 마이토콘드리아에서는 세포호흡이 일어나 유기물의 화학 에너지가 ATP의 화학 에너지로 전환되고, 엽록체에서는 광합성이 일어나 빛에너지를 화학 에너지로 전환하여 유기물에 저장한다.
③, ⑤ 마이토콘드리아는 바탕질에, 엽록체는 스트로마에 자체 DNA와 라이보솜이 있어 스스로 복제하여 증식할 수 있다.
바로알기 ④ 마이토콘드리아와 엽록체는 모두 ATP 합성효소를 가진다. 마이토콘드리아에서 ATP 합성효소는 내막에 있고, 엽록체에서 ATP 합성효소는 타이라코이드 막에 있다.

03 ㄱ. 광합성색소는 엽록체의 타이라코이드 막에 있다.
ㄴ. 엽록소 a와 b는 청자색광과 적색광을 주로 흡수하고, 초록색광은 거의 흡수하지 않는다.

ㄷ. 카로티노이드에는 카로틴, 잔토필 등이 있으며, 이들은 보조 색소로서 빛에너지를 흡수하여 엽록소로 전달하고, 과도한 빛에 의해 엽록소가 손상되는 것을 막아 준다.

04 꼼꼼 문제 분석



ㄷ. 광합성속도가 빠를수록 산소 생성량이 많으므로, 단위 시간당 산소 생성량은 파장이 450 nm인 빛에서가 파장이 550 nm인 빛에서보다 많다.

바로알기 ㄱ. ㉠은 엽록소 a, ㉡은 카로티노이드이다.

ㄴ. 작용스펙트럼(나)을 통해 초록색 빛에서도 광합성이 일어남을 알 수 있다. 이는 카로티노이드가 흡수한 빛도 광합성에 이용되기 때문이다.

05 ㄴ, ㄷ. 산소세균은 청자색과 적색의 빛을 비춘 부위에 많이 모여 있다. 이는 청자색과 적색의 빛을 비춘 해캄의 부위에서 광합성이 활발하게 일어나 산소가 많이 발생했기 때문이다.

바로알기 ㄱ. 산소세균은 해캄에서 발생한 산소를 이용하는 생물이며, 빛을 흡수하여 광합성을 하는 것은 해캄이다.

06 ㄱ. 카로틴의 전개율이 엽록소 a의 전개율보다 크다고 하였으므로 ㉠은 카로틴, ㉡은 엽록소 a이다.

바로알기 ㄴ. 전개율(R_f) $=\frac{\text{원점에서 색소까지의 거리}}{\text{원점에서 용매 전선까지의 거리}}$이므로, 카로틴(㉠)이 엽록소 b보다 전개율이 크다.

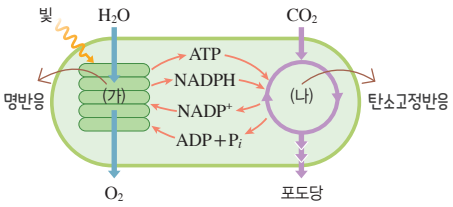
ㄷ. 엽록소 a(㉡)와 b는 청자색광과 적색광을 주로 흡수하며, 초록색광은 대부분 반사하거나 통과시킨다.

07 ㄷ. 명반응이 일어날 때 물(H_2O)이 분해되어 산소(O_2)가 발생한다. 빛이 있는 구간 B, E, F에서는 명반응이 일어나므로 산소(O_2)가 발생한다.

바로알기 ㄱ. 구간 B에서는 CO_2가 없으므로 탄소고정반응이 일어나지 않는다.

ㄴ. 구간 C에서는 빛이 없으므로 명반응이 일어나지 않는다.

08 꼼꼼 문제 분석



- 명반응(가): 빛에너지를 ATP와 NADPH의 화학 에너지로 전환하여 탄소고정반응에 공급하며, 이 과정에서 물이 분해되어 산소가 발생한다.
- 탄소고정반응(나): 명반응에서 공급된 ATP와 NADPH를 이용해 이산화 탄소를 환원하여 포도당을 합성한다.

ㄱ. 명반응(가)은 빛에너지를 화학 에너지로 전환하는 과정이다.

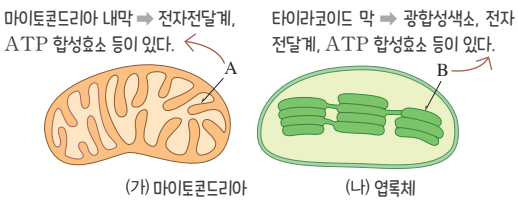
ㄷ. 명반응(가)에서 만들어지는 물질인 ATP와 NADPH가 공급되어야 탄소고정반응(나)이 일어날 수 있다.

바로알기 ㄴ. 탄소고정반응(나)에서 CO_2를 환원하여 포도당을 합성한다.

실력 UP 문제 165쪽

01 ③ **02** ② **03** ③ **04** ①

01 꼼꼼 문제 분석

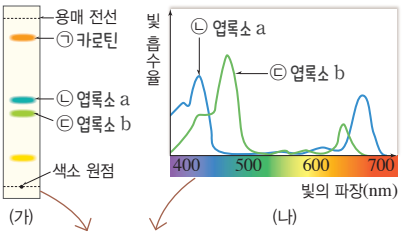


ㄱ. 마이토콘드리아(가)에는 주름진 내막 구조가, 엽록체(나)에는 막 구조를 가진 타이라코이드가 발달해 있다. 이와 같이 복잡한 막 구조는 물질대사가 일어나는 표면적을 넓혀 에너지전환이 효율적으로 일어나게 한다.

ㄴ. 마이토콘드리아 내막(A)과 타이라코이드 막(B)에는 전자전달계가 있다.

바로알기 ㄷ. 탄소고정반응은 엽록체의 스트로마에서 일어난다.

02 꼼꼼 문제 분석



흡수스펙트럼에서 ㉡이 엽록소 a, ㉢이 엽록소 b인 것을 알 수 있으므로, ㉠이 카로틴이다.
➡ 분리된 색소의 전개율은 카로틴(㉠) > 엽록소 a(㉡) > 엽록소 b(㉢)이다.

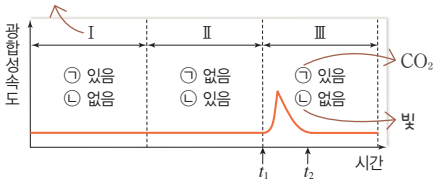
ㄷ. 용매 전선과 색소 사이의 거리는 엽록소 a(㉡)가 엽록소 b(㉢)보다 작고, 원점과 색소 사이의 거리는 엽록소 a(㉡)가 엽록소 b(㉢)보다 크다.

바로알기 ㄱ. ㉠이 ㉡보다 원점에서 색소까지의 거리가 크므로, ㉠은 ㉡보다 전개율이 크다.

ㄴ. ㉠은 카로틴, ㉡은 엽록소 a, ㉢은 엽록소 b이다.

03 꼼꼼 문제 분석

명반응이 먼저 일어나야 명반응 산물을 이용하여 탄소고정반응이 진행될 수 있다.
➡ ㉠이 있은 후(Ⅰ) ㉢이 있을 때(Ⅱ)는 광합성이 일어나지 않았고, ㉢이 있은 후(Ⅱ) ㉠이 있을 때(Ⅲ)는 광합성이 일어났으므로 ㉢이 빛이고, ㉠이 CO_2이다.

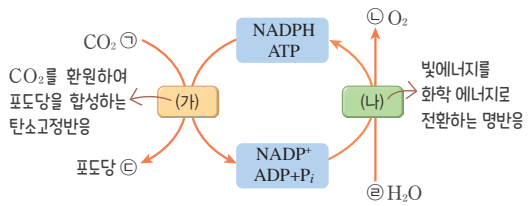


ㄱ. ㉠은 CO_2, ㉡은 빛이다.

ㄴ. 구간 Ⅱ에서는 빛(㉡)이 있으므로 명반응이 일어난다.

바로알기 ㄷ. 명반응에서 NADPH가 생성되고, 탄소고정반응에서 NADPH가 사용되므로, 스트로마에서 NADPH의 농도는 t_1일 때가 t_2일 때보다 높다.

04 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. ㉠은 CO_2, ㉡은 O_2, ㉢은 포도당, ㉣은 H_2O이다.

바로알기 ㄴ, ㄷ. 광합성색소는 빛에너지를 화학 에너지로 전환하는 명반응(나)에서 빛을 흡수한다.

02 광합성(2)

개념 확인 문제 169쪽

❶ 타이라코이드 ❷ NADPH ❸ P_{700} ❹ P_{680} ❺ 비순환적 ❻ NADPH ❼ 순환적 ❽ Ⅰ ❾ ATP 합성효소

1 O_2 **2** (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) × (6) × (7) ○ **3** ㉠ 물(H_2O), ㉡ $NADP^+$ **4** (1) (가) 타이라코이드 내부 (나) 스트로마 (2) ㉠ H_2O, ㉡ NADPH (3) ⓐ 광계 Ⅱ, ⓑ 광계 Ⅰ (4) (나)

1 1분자의 물이 광분해되면 $2H^+$, $2e^-$, $\frac{1}{2}O_2$가 생성된다.

2 (1) 명반응은 엽록체의 타이라코이드 막에서 일어난다.
(2) 광계는 타이라코이드 막에서 광합성색소가 단백질과 결합하여 복합체를 이룬 것이다.
(3) 광계의 반응 중심 색소는 한 쌍의 엽록소 a로 구성된다.
(4) 광계 Ⅰ의 반응 중심 색소는 P_{700}이고, 광계 Ⅱ의 반응 중심 색소는 P_{680}이다.
(5) 비순환적 전자흐름에는 광계 Ⅰ과 광계 Ⅱ가 모두 관여하고, 순환적 전자흐름에는 광계 Ⅰ만 관여한다.
(6) 순환적 전자흐름에서는 물(H_2O)의 광분해가 일어나지 않아 산소(O_2)가 발생하지 않는다.
(7) 타이라코이드 안에 있던 H^+이 ATP 합성효소를 통해 스트로마 쪽으로 확산하면서 ATP가 생성된다.

3 광합성 명반응의 비순환적 전자흐름에서 물(H_2O)의 광분해로 전자가 방출되며, 전자전달계를 거쳐 최종적으로 $NADP^+$에 전자가 전달되어 NADPH가 생성된다.

4 (1) 물의 광분해가 일어나는 (가)는 타이라코이드 내부이고, ATP가 합성되는 (나)는 스트로마이다.
(2) 물질 ㉠의 분해로 수소 이온(H^+)과 전자(e^-), 산소(O_2)가 발생하므로 ㉠은 물(H_2O)이다. $NADP^+$가 전자전달계를 거쳐 전달된 전자를 받아 ㉡으로 환원되므로 ㉡은 NADPH이다.
(3) 광계 Ⅱ의 P_{680}이 고에너지 전자를 방출한 후 물(H_2O)의 광분해로 방출된 전자를 받아 환원된다. 따라서 ⓐ는 광계 Ⅱ이고, ⓑ는 광계 Ⅰ이다.
(4) 타이라코이드 내부(가)의 H^+ 농도가 스트로마(나)의 H^+ 농도보다 높을 때 H^+이 ATP 합성효소를 통해 타이라코이드 내부(가)에서 스트로마(나)로 확산되면서 ATP가 합성된다. 따라서 ATP 합성효소가 ATP를 합성하려면 타이라코이드 내부(가)의 pH보다 스트로마(나)의 pH가 더 높아야 한다.

완자쌤 비법 특강 174쪽

Q1 광합성: $NADP^+$, 세포호흡: 산소(O_2)

Q1 광합성에서 최종 전자수용체는 $NADP^+$로, 전자를 받은 $NADP^+$는 H^+과 결합하여 NADPH로 환원된다. 세포호흡에서 최종 전자수용체는 O_2로, 전자를 받은 O_2는 H^+과 결합하여 물을 생성한다.

개념 확인 문제 175쪽

❶ 스트로마 ❷ RuBP ❸ ATP ❹ 3 ❺ 6 ❻ 18 ❼ $FADH_2$ ❽ $NADP^+$

1 (1) ○ (2) × (3) × (4) × **2** (1) 3PG (2) NADPH (3) PGAL **3** ㉠ 광, ㉡ 산화적 **4** (1) ㉠ 타이라코이드 내부, ㉡ 막사이공간, ㉢ 스트로마, ㉣ 마이토콘드리아 바탕질 (2) (가)

1 (1) 탄소고정반응은 엽록체의 스트로마에서 일어난다.
(2) 전자전달계를 거쳐 ATP가 생성되는 과정은 명반응이다.
(3), (4) 탄소고정반응에서는 명반응의 산물인 ATP와 NADPH를 이용해 이산화 탄소를 환원하여 포도당을 합성한다.

2 (1) 탄소고정반응에서 최초로 생성되는 물질은 3PG이다.
(2) 3PG가 PGAL로 환원될 때 ATP와 NADPH가 사용된다.
(3) 캘빈회로에서 만들어지는 탄소 화합물 중 PGAL은 포도당 합성에 이용된다.

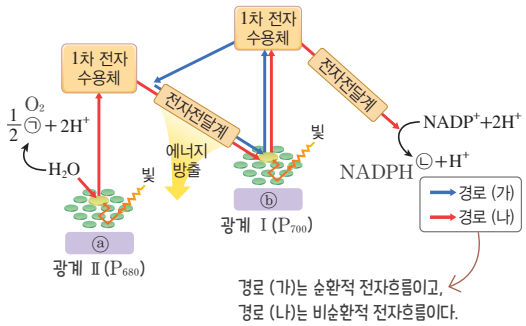
3 광합성에서는 광(㉠)인산화에 의해 ATP가 합성되고, 세포호흡에서는 기질수준인산화와 산화적(㉡) 인산화에 의해 ATP가 합성된다.

4 엽록체에서는 H^+을 스트로마(㉢)에서 타이라코이드 내부(㉠)로 능동수송하고, H^+이 농도 기울기에 따라 ATP 합성효소를 통해 타이라코이드 내부(㉠)에서 스트로마(㉢) 쪽으로 확산한다. 마이토콘드리아에서는 H^+을 바탕질(㉣)에서 막사이공간(㉡)으로 능동수송하고, H^+이 농도 기울기에 따라 ATP 합성효소를 통해 막사이공간(㉡)에서 바탕질(㉣) 쪽으로 확산한다.

대표 자료 분석 1 176쪽

1 ㉠ O_2, ㉡ NADPH **2** ⓐ 광계 Ⅱ, ⓑ 광계 Ⅰ **3** (가) 순환적 전자흐름 (나) 비순환적 전자흐름 **4** ⓑ **5** (1) ○ (2) × (3) × (4) × (5) ○ (6) × (7) × (8) ○ (9) ○

꼼꼼 문제 분석



1 ㉠은 물(H_2O)의 광분해로 생성된 O_2이고, ㉡은 $NADP^+$가 전자와 H^+을 받아 생성된 NADPH이다.

2 광계는 반응 중심 색소가 흡수하는 빛의 파장에 따라 광계 Ⅰ과 광계 Ⅱ로 구분된다. ⓐ는 반응 중심 색소가 P_{680}인 광계 Ⅱ이고, ⓑ는 반응 중심 색소가 P_{700}인 광계 Ⅰ이다.

3 광계 Ⅰ의 P_{700}에서 방출된 전자가 $NADP^+$에 전달되지 않고 전자전달계를 거쳐 P_{700}으로 되돌아오는 경로 (가)는 순환적 전자흐름이고, 광계에서 방출된 전자가 전자전달계를 거쳐 최종적으로 $NADP^+$에 전달되어 NADPH가 생성되는 경로 (나)는 비순환적 전자흐름이다.

4 순환적 전자흐름(가)에는 광계 Ⅰ(ⓑ)이, 비순환적 전자흐름(나)에는 광계 Ⅰ(ⓑ)과 광계 Ⅱ(ⓐ)가 관여한다.

5 (1) NADPH(㉡)는 탄소고정반응에 사용된다.
(2) 광계 Ⅱ(ⓐ)의 반응 중심 색소는 P_{680}이다.
(3) 광계는 엽록체의 타이라코이드 막에 존재한다.
(4) 광계에서 반응 중심 색소는 한 쌍의 엽록소 a로 구성된다.
(5) 순환적 전자흐름(가)에서는 ATP만 생성되고, 비순환적 전자흐름(나)에서는 ATP, NADPH, O_2가 생성된다.
(6) 비순환적 전자흐름(나)에서 최종 전자수용체는 $NADP^+$이다.
(7) H_2O의 광분해는 비순환적 전자흐름에서 일어난다.
(8) 비순환적 전자흐름에서는 전자가 최종적으로 $NADP^+$에 전달된다.

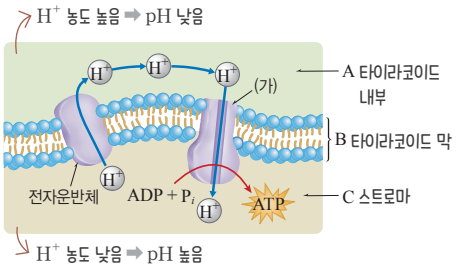
(9) 순환적 전자흐름과 비순환적 전자흐름에서 방출된 에너지는 ATP 합성에 필요한 H^+의 농도 기울기를 형성하는 데 이용된다.

대표 자료 분석 2

177쪽

1 A: 타이라코이드 내부, B: 타이라코이드 막, C: 스트로마
2 ATP 합성효소 **3** ㉠ A, ㉡ C **4** (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○ (5) × (6) ○

꼼꼼 문제 분석



1 엽록체의 타이라코이드 막에 전자전달계와 ATP 합성효소(가)가 있고, 스트로마에서 ATP가 합성된다. 따라서 A는 타이라코이드 내부이고, B는 타이라코이드 막, C는 스트로마이다.

2 H^+이 ATP 합성효소(가)를 통해 타이라코이드 내부(A)에서 스트로마(C)로 확산하고, 이 과정에서 ATP가 합성된다.

3 엽록체에 빛을 충분한 시간 동안 비추면 명반응이 일어나 H^+이 스트로마(C)에서 타이라코이드 내부(A)로 능동수송되므로, 타이라코이드 내부(A)의 pH가 스트로마(C)의 pH보다 낮아진다.

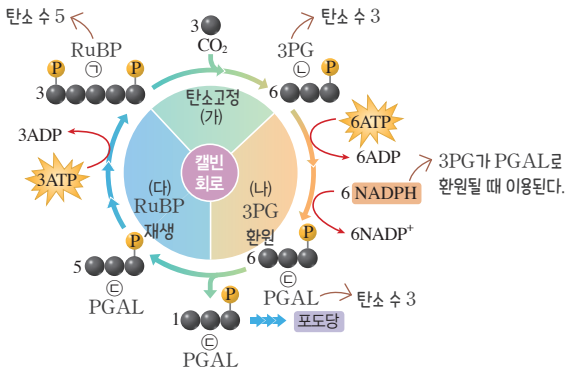
4 (1), (3) 타이라코이드 내부(A)가 스트로마(C)보다 H^+의 농도가 높을 때 H^+이 ATP 합성효소(가)를 통해 타이라코이드 내부(A)에서 스트로마(C)로 확산하면서 ATP가 합성된다.
(2), (6) 비순환적 전자흐름과 순환적 전자흐름에서 전자가 이동하면서 방출된 에너지를 이용하여 전자운반체가 H^+을 능동수송하고, 이렇게 형성된 H^+의 농도 기울기에 의해 화학삼투가 일어난다.
(4) 광합성의 명반응을 통해 합성된 ATP와 NADPH는 탄소고정반응에 사용된다.
(5) 빛에너지의 흡수로 형성된 H^+의 농도 기울기를 이용하여 ATP를 합성하는 과정을 광인산화라고 한다.

대표 자료 분석 3

178쪽

1 (다) **2** (나) **3** ㉠ RuBP, ㉡ 3PG, ㉢ PGAL **4** (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) × (6) ○

꼼꼼 문제 분석



1 (가)는 탄소고정, (나)는 3PG 환원, (다)는 RuBP 재생 단계이다.

2 명반응 산물인 NADPH는 3PG가 PGAL로 환원되는 과정(나)에서 이용된다.

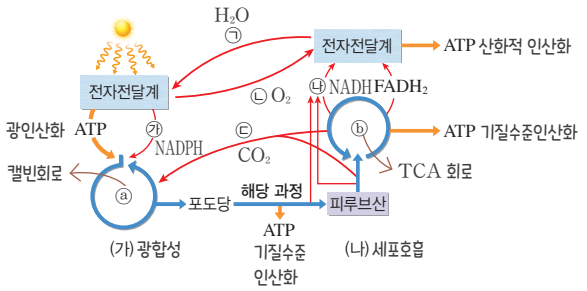
3 CO_2 3분자가 5탄소 화합물인 RuBP(㉠) 3분자와 결합하여 6탄소 화합물을 거쳐 3탄소 화합물인 3PG(㉡) 6분자로 나누어진다. 명반응에서 공급받은 ATP와 NADPH를 사용하여 3PG(㉡)가 3탄소 화합물인 PGAL(㉢)로 환원된다.

4 (1) (가)는 탄소고정, (나)는 3PG 환원, (다)는 RuBP 재생 단계이다.
(2) 3PG와 PGAL은 3탄소 화합물이고, RuBP는 5탄소 화합물이다. 따라서 1분자당 $\frac{\text{PGAL의 탄소 수}}{\text{RuBP의 탄소 수}} < 1$이다.
(3) 포도당은 6탄소 화합물이므로, 포도당 1분자를 합성하기 위해서는 캘빈회로에서 CO_2 6분자가 고정되어야 한다.
(4) 명반응 산물인 ATP는 3PG가 PGAL로 환원되는 과정과 PGAL이 RuBP로 전환되는 과정에서 사용된다.
(5) 포도당 1분자를 합성하는 데에는 CO_2 6분자, ATP 18분자, NADPH 12분자가 사용된다.
(6) 캘빈회로에서 RuBP는 CO_2와 결합하여 3PG가 되므로 엽록체에 CO_2의 공급을 차단하면 일시적으로 RuBP의 농도는 증가하고, 3PG의 농도는 감소한다.

대표 자료 분석 4 179쪽

1 ㉠ H_2O, ㉡ O_2, ㉢ CO_2 **2** ㉮ NADPH, ㉯ NADH
3 ⓐ 캘빈회로, ⓑ TCA 회로 **4** (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ○ (6) ○ (7) ○

꼼꼼 문제 분석



1 빛에너지를 흡수하여 포도당을 합성하는 (가)는 광합성이고, 포도당을 분해하여 ATP를 합성하는 (나)는 세포호흡이다. 광합성의 명반응에서 물(H_2O)(㉠)이 광분해되어 산소(O_2)(㉡)가 생성된다. ㉢은 세포호흡 과정 중 피루브산의 산화와 TCA 회로(ⓑ)에서 방출되는 CO_2이다.

2 광합성(가)에서는 탈수소효소의 조효소로 $NADP^+$가 사용되어 NADPH(㉮)가 생성되고, 세포호흡(나)에서는 NAD^+와 FAD가 사용되어 NADH(㉯)와 $FADH_2$가 생성된다.

3 광합성(가)의 탄소고정반응에서는 명반응의 산물인 ATP와 NADPH를 이용하여 캘빈회로(ⓐ) 등의 연속적인 반응이 일어나 이산화 탄소가 포도당으로 환원된다. 세포호흡(나)에서는 해당 과정으로 생성된 피루브산이 아세틸조효소 A로 산화된 다음 TCA 회로(ⓑ)를 거쳐 이산화 탄소로 분해된다.

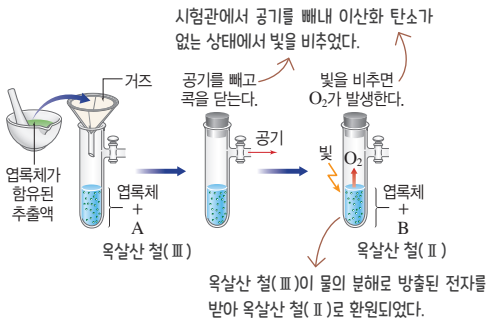
4 (1) 광합성(가)은 태양의 빛에너지를 포도당의 화학 에너지로 전환하는 작용이다.
(2) 광합성(가)에서는 광인산화에 의해, 세포호흡(나)에서는 기질 수준인산화와 산화적 인산화에 의해 ATP가 합성된다.
(3) 광합성(가)의 전자전달계에서 전자공여체는 H_2O이다.
(4) 광합성(가)은 동화작용이고, 세포호흡(나)은 이화작용이다.
(5) 세포호흡(나)의 전자전달계에서 최종 전자수용체는 O_2이다.
(6) 세포호흡(나)의 전자전달계에서 H^+의 능동수송은 마이토콘드리아 바탕질 → 막사이공간 방향으로 일어나고, ATP 합성효소를 통한 H^+의 확산은 막사이공간 → 마이토콘드리아 바탕질 방향으로 일어난다.
(7) 동물의 간세포에서도 세포호흡(나)이 일어나므로 TCA 회로(ⓑ)가 일어난다.

내신 만점 문제 180쪽~183쪽

01 ③	02 ③	03 해설 참조	04 ④	05 ③
06 ②	07 ②, ⑤	08 ④	09 ⑤	10 ②
11 해설 참조		12 ③	13 ④	14 ④ 15 ①
16 ①				

01 ① 광합성의 명반응은 엽록체의 타이라코이드 막에서 일어난다.
② 탄소고정반응에서는 명반응에서 공급된 ATP와 NADPH로 CO_2를 환원하여 포도당을 합성한다.
④ H^+의 농도 기울기에 따라 H^+이 ATP 합성효소를 통해 확산하는 과정에서 ATP가 합성된다.
⑤ 비순환적 전자흐름과 순환적 전자흐름에서 방출된 에너지를 이용하여 스트로마에서 타이라코이드 내부로 H^+이 능동수송되어 H^+의 농도 기울기가 형성된다.
바로알기 ③ 명반응에서는 광합성색소에서 흡수한 빛에너지가 ATP와 NADPH의 화학 에너지로 전환된다.

02 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. CO_2가 없는 상태에서 빛을 비추었을 때 O_2가 발생했으므로 물이 분해되어 O_2가 발생했음을 알 수 있다.
ㄷ. 엽록체에서 옥살산 철(Ⅲ)과 같이 전자를 받아 환원되는 물질은 $NADP^+$이다.
바로알기 ㄴ. 옥살산 철(Ⅲ)(A)은 물의 분해로 방출된 전자를 받아 옥살산 철(Ⅱ)(B)로 환원되었다.

03 모범 답안 (1) ㉠ $^{18}O_2$, ㉡ O_2

(2) 광합성 결과 발생한 산소(O_2)는 물(H_2O)이 분해되어 나온 것이다.

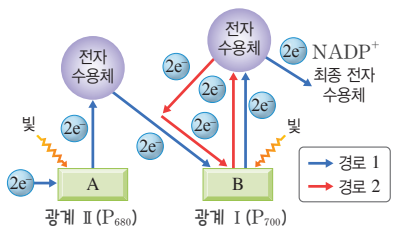
채점 기준		배점
(1)	㉠과 ㉡을 모두 옳게 쓴 경우	40 %
	㉠과 ㉡ 중 하나만 옳게 쓴 경우	20 %
(2)	광합성 결과 발생한 산소는 물이 분해되어 나온 것이라고 옳게 서술한 경우	60 %
	광합성 결과 발생한 산소는 물에서 유래한 것이라고 서술한 경우도 정답 인정	60 %

04 ㄱ. 광계는 타이라코이드 막에서 광합성색소가 단백질과 결합하여 복합체를 이룬 것이다.

ㄷ. 광계에서 반응 중심 색소는 한 쌍의 엽록소 a로 구성된다.

바로알기 ㄴ. 엽록소와 보조색소로 구성된 안테나 색소는 빛에너지를 흡수하여 반응 중심 색소에 모아 주는 역할을 한다.

05 꼼꼼 문제 분석



- 경로 1: 비순환적 전자흐름으로, 물의 광분해가 일어나 O_2가 발생하고, NADPH와 ATP가 모두 생성된다.
- 경로 2: 순환적 전자흐름으로, 물의 광분해가 일어나지 않아 O_2가 발생하지 않고, NADPH도 생성되지 않으며, ATP만 생성된다.

ㄱ. 비순환적 전자흐름(경로 1)에서 물의 광분해가 일어나 산소가 발생하고, 순환적 전자흐름(경로 2)에서는 물의 광분해가 일어나지 않아 산소가 발생하지 않는다.

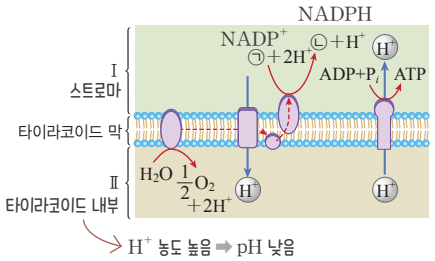
ㄴ. 광계 Ⅰ(B)의 반응 중심 색소는 P_{700}이고, 광계 Ⅱ(A)의 반응 중심 색소는 P_{680}이다.

바로알기 ㄷ. 순환적 전자흐름(경로 2)에서는 NADPH가 생성되지 않으므로, 순환적 전자흐름(경로 2)이 주로 일어날 때 NADPH의 생성량이 증가하지 않는다.

06 ㄴ. 순환적 전자흐름에서는 광계 Ⅰ의 P_{700}(㉠)에서 방출된 전자가 1차 전자수용체로 전달된 다음, 전자전달계를 거쳐 P_{700}(㉠)으로 다시 돌아온다.

바로알기 ㄱ, ㄷ. 순환적 전자흐름은 광계 Ⅰ만 관여하며, 물의 광분해가 일어나지 않아 O_2가 발생하지 않고, NADPH도 생성되지 않으며, ATP만 생성된다.

07 꼼꼼 문제 분석



타이라코이드 내부에서 H_2O의 광분해가 일어나고, 스트로마 쪽에서 ATP가 합성되므로 Ⅰ은 스트로마이고, Ⅱ는 타이라코이드 내부이다.

① ㉠은 전자를 받아 NADPH(㉡)로 환원되는 $NADP^+$이다.

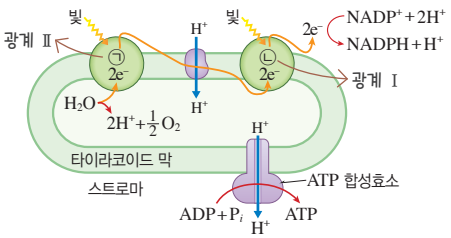
③ 스트로마(Ⅰ)에 DNA와 라이보솜이 있다.

④ 명반응이 활발하게 일어날 때 H^+은 스트로마(Ⅰ)에서 타이라코이드 내부(Ⅱ)로 능동수송되므로 pH는 스트로마(Ⅰ)에서가 타이라코이드 내부(Ⅱ)에서보다 높다.

바로알기 ② 광합성의 명반응 과정에서 최종 전자수용체는 $NADP^+$(㉠)이다.

⑤ 엽록체에서 빛에너지의 흡수로 형성된 H^+의 농도 기울기를 이용하여 ATP를 합성하는 과정은 광인산화이다.

08 꼼꼼 문제 분석



전자를 잃은 P_{680}은 물이 분해되면서 방출된 전자를 받아 환원되고, P_{700}에서 방출된 전자는 $NADP^+$로 전달되므로 ㉠은 광계 Ⅱ, ㉡은 광계 Ⅰ이다.

ㄴ. 명반응에서는 빛에너지를 ATP와 NADPH의 화학 에너지로 전환하여 탄소고정반응에 공급한다.

ㄷ. 전자가 전자전달계를 거치는 동안 에너지가 방출되고, 이 에너지를 이용하여 H^+이 스트로마에서 타이라코이드 내부로 능동수송된다.

바로알기 ㄱ. 순환적 전자흐름에는 광계 Ⅰ(㉡)만 관여하고, 비순환적 전자흐름에는 광계 Ⅰ(㉡)과 광계 Ⅱ(㉠)가 모두 관여한다.

09 ① 탄소고정반응은 엽록체의 스트로마에서 일어난다.

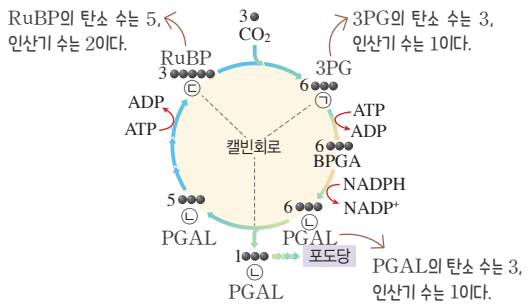
② 캘빈회로의 탄소고정 단계에서 루비스코가 작용한다.

③ 탄소고정반응은 명반응에서 공급된 ATP와 NADPH를 이용하여 포도당을 합성하는 과정이다.

④ 캘빈회로에서 만들어지는 탄소 화합물 중 PGAL은 포도당 합성에 이용된다.

바로알기 ⑤ 이산화 탄소가 고정되어 최초로 생성되는 물질은 3PG이다.

10 꼼꼼 문제 분석

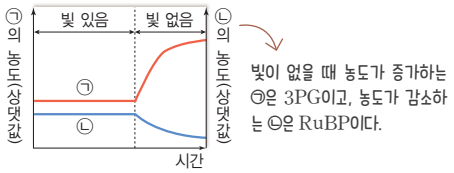


ㄴ. RuBP(㉢)의 인산기 수는 2이고, PGAL(㉡)의 인산기 수는 1이다.

바로알기 ㄱ. ㉠은 3PG, ㉡은 PGAL, ㉢은 RuBP이다.

ㄷ. 탄소고정반응을 통해 포도당 1분자가 합성될 때 캘빈회로에서 이산화 탄소 6분자가 고정되고, ATP 18분자와 NADPH 12분자가 이용된다.

11 꼼꼼 문제 분석

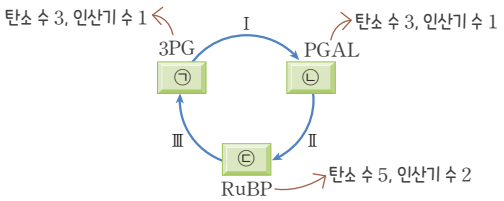


빛이 없을 경우 명반응의 산물인 ATP와 NADPH가 공급되지 않아 3PG → PGAL → RuBP로 전환되는 과정이 일어나지 않는다. 따라서 일시적으로 3PG의 농도는 증가하고, RuBP의 농도는 감소한다.

모범 답안 ㉠은 3PG, ㉡은 RuBP이다. 빛이 없으면 명반응의 산물인 ATP와 NADPH가 생성되지 않으므로 캘빈회로에서 3PG 환원과 RuBP 재생이 일어나지 않아 일시적으로 3PG의 농도가 증가하고, RuBP의 농도는 감소하기 때문이다.

채점 기준	배점
㉠과 ㉡을 모두 옳게 쓰고, 그렇게 판단한 까닭을 캘빈회로와 관련지어 옳게 서술한 경우	100 %
㉠과 ㉡만 옳게 쓴 경우	40 %

12 꼼꼼 문제 분석



3PG가 PGAL로 환원되는 과정에서 NADPH가 사용된다. ➡ ㉠은 3PG, ㉡은 PGAL, ㉢은 RuBP이다.

ㄱ. 1분자당 $\frac{\text{탄소 수}}{\text{인산기 수}}$는 3PG(㉠)가 $\frac{3}{1}$이고, RuBP(㉢)가 $\frac{5}{2}$이다.

ㄴ. PGAL(㉡)이 RuBP(㉢)로 전환되는 과정(Ⅱ)에서 ATP가 사용된다.

바로알기 ㄷ. 캘빈회로에서 만들어지는 탄소 화합물 중 PGAL(㉡)이 포도당 합성에 이용된다.

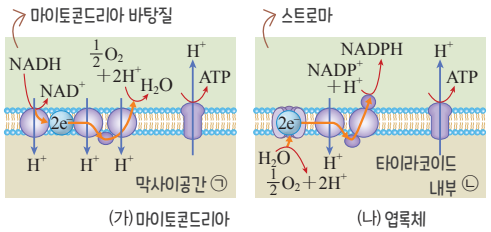
13 (가)는 광합성의 캘빈회로, (나)는 세포호흡의 TCA 회로이다. ㉠은 광합성의 명반응에서 물의 광분해로 발생하는 O_2이고, ㉡은 피루브산의 산화와 TCA 회로에서 방출되는 CO_2이다.

ㄱ. ㉠은 O_2이다.

ㄷ. TCA 회로(나)에서 기질수준인산화로 ATP가 생성된다.

바로알기 ㄴ. 캘빈회로(가)는 엽록체의 스트로마에서 일어난다.

14 꼼꼼 문제 분석



- 마이토콘드리아(가): H^+이 마이토콘드리아 바탕질 → 막사이공간(㉠)으로 능동수송되고, ATP 합성효소를 통해 막사이공간(㉠) → 마이토콘드리아 바탕질로 확산하면서 ATP가 합성된다.
- 엽록체(나): H^+이 스트로마 → 타이라코이드 내부(㉡)로 능동수송되고, ATP 합성효소를 통해 타이라코이드 내부(㉡) → 스트로마로 확산하면서 ATP가 합성된다.

ㄴ. 마이토콘드리아(가)에서는 O_2, 엽록체(나)에서는 $NADP^+$가 최종 전자수용체로 작용한다.

ㄷ. 광합성과 세포호흡에서 모두 화학삼투에 의해 ATP가 합성된다.

바로알기 ㄱ. ㉠은 막사이공간이고, ㉡은 타이라코이드 내부이다.

15 ㄱ. A는 잉엔하우스, B는 헬몬트이다.

바로알기 ㄴ. 잉엔하우스(A)는 실험을 통해 식물은 빛이 있어야 동물의 호흡에 필요한 기체(산소)를 공급할 수 있다(식물이 신선한 공기를 생성하는 능력은 빛이 중요한 영향을 미친다.)고 하였다.

ㄷ. 헬몬트(B)는 실험을 통해 식물은 흙에서 양분을 얻어 자라는 것이 아니라 물만으로 자랄 수 있다고 하였다.

16 ㄱ. 빛을 비추었을 때 엽록체에서 광인산화로 ATP(㉠)가 합성되었다.

바로알기 ㄴ. 광합성에서 발생하는 산소의 유래를 밝힌 실험은 힐과 루벤의 실험이다.

ㄷ. 캘빈과 벤슨은 방사성 동위원소로 표지된 이산화 탄소를 이용하여 유기물이 생성되는 과정을 밝혔다.

실력 UP 문제 184쪽~185쪽

01 ㄱ, ㄴ **02** ③ **03** ② **04** ① **05** ③ **06** ③
07 ① **08** ④

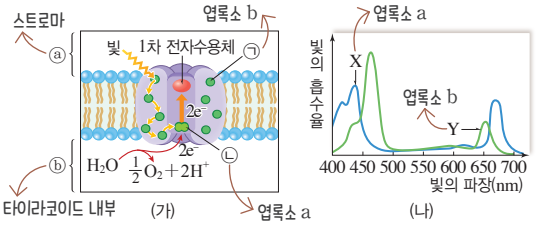
01 비순환적 전자흐름에서는 광계 Ⅰ과 광계 Ⅱ가 모두 관여하고, ATP, NADPH, O_2가 생성된다. P_{680}은 광계 Ⅱ의 반응 중심 색소이다. 순환적 전자흐름에서는 광계 Ⅰ만 관여하고 ATP가 생성된다. 따라서 비순환적 전자흐름은 (가)의 특징 3가지가 모두 해당되고, 순환적 전자흐름은 (가)의 특징 중 'ATP가 생성된다.'만 해당된다. ㉠>㉡이므로 ㉠은 3이고, ㉡은 1이다.

ㄱ. A는 비순환적 전자흐름이고, B는 순환적 전자흐름이다.

ㄴ. 광계 Ⅰ은 비순환적 전자흐름(A)과 순환적 전자흐름(B)에 모두 관여한다.

바로알기 ㄷ. ㉡은 1이다.

02 꼼꼼 문제 분석



- 타이라코이드 내부에서 H_2O의 광분해가 일어난다. ➡ ⓐ는 스트로마이고, ⓑ는 타이라코이드 내부이다.
- 반응 중심 색소는 한 쌍의 엽록소 a로 구성된다. ➡ ㉠은 엽록소 b이고, ㉡은 엽록소 a이다.

ㄱ. Y는 엽록소 b로 ㉠이다.

ㄴ. ⓐ는 스트로마이고, 스트로마(ⓐ)에 엽록체의 DNA와 라이보솜이 있다.

바로알기 ㄷ. (나)에서 엽록소 a(X)와 엽록소 b(Y)가 빛을 흡수하는 양이 파장이 450 nm인 빛에서가 550 nm인 빛에서보다 많으므로 명반응은 파장이 450 nm인 빛에서가 550 nm인 빛에서보다 활발하게 일어난다. 따라서 단위 시간당 생성되는 O_2의 양은 파장이 450 nm인 빛에서가 550 nm인 빛에서보다 많다.

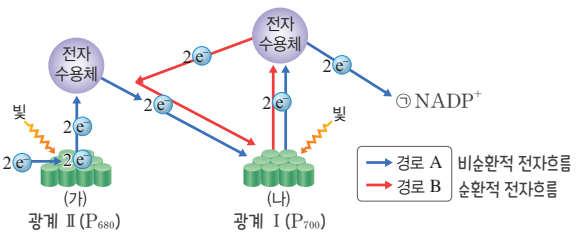
03 ㉠은 스트로마, ㉡는 타이라코이드 내부이다. (가)는 물의 광분해, (나)는 ATP 합성, (다)는 NADPH 생성 반응이다.

ㄴ. 타이라코이드 내부(㉡)의 H^+ 농도가 스트로마(㉠)의 H^+ 농도보다 높을 때, 즉 타이라코이드 내부(㉡)의 pH가 스트로마(㉠)의 pH보다 낮을 때 H^+이 ATP 합성효소를 통해 타이라코이드 내부(㉡)에서 스트로마(㉠)로 확산하면서 ATP가 합성된다.

바로알기 ㄱ. 물의 광분해(가)는 빛이 있을 때 타이라코이드 내부(㉡)의 광계 Ⅱ 쪽에서 일어난다.

ㄷ. 순환적 전자흐름에서는 $NADP^+$가 NADPH로 환원되는 반응(다)이 일어나지 않는다.

04 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 광계 Ⅰ(나)의 반응 중심 색소는 P_{700}이다.

바로알기 ㄴ. 순환적 전자흐름(경로 B)이 진행될 때는 물의 광분해가 일어나지 않는다.

ㄷ. 광합성의 명반응에서 최종 전자수용체(㉠)는 $NADP^+$이다. 3PG가 PGAL로 환원될 때는 ATP와 NADPH가 사용된다.

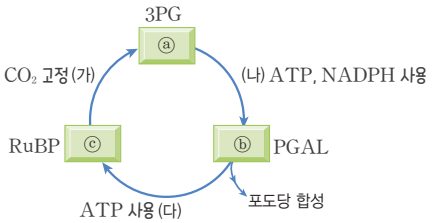
05 빛이 없을 경우 명반응의 산물인 ATP와 NADPH가 공급되지 않아 3PG → PGAL → RuBP로 전환되는 과정이 일어나지 않으므로 일시적으로 3PG의 농도는 증가하고, RuBP의 농도는 감소한다.

ㄱ. 빛이 없을 때 농도가 증가하는 ㉠은 3PG이고, 농도가 감소하는 ㉡은 RuBP이다.

ㄷ. 캘빈회로에서 CO_2 3분자가 RuBP(㉡) 3분자와 결합하여 6탄소 화합물을 거쳐 3PG(㉠) 6분자로 나누어진다.

바로알기 ㄴ. 3PG(㉠)의 탄소 수는 3, 인산기 수는 1이고, RuBP(㉡)의 탄소 수는 5, 인산기 수는 2이다.

06 꼼꼼 문제 분석



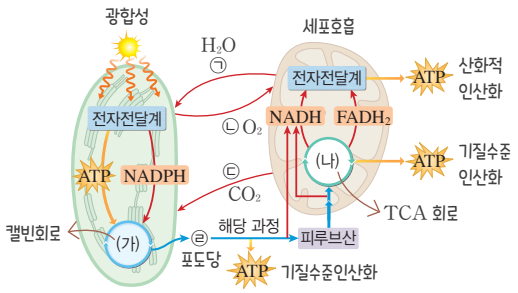
PGAL 중 일부는 포도당 합성에 이용되고, 일부는 RuBP로 전환된다. ➡ ⓑ는 PGAL이고, ⓒ는 RuBP, ⓐ는 3PG이다.

ㄱ. CO_2 공급이 중단되면 탄소고정 단계가 진행되지 않으므로 RuBP(ⓒ)의 농도는 증가하고, 3PG(ⓐ)의 농도는 감소한다.

ㄴ. 3PG(ⓐ)가 PGAL(ⓑ)로 환원되는 과정(나)에서 ATP와 NADPH가 사용된다.

바로알기 ㄷ. 1분자당 3PG(ⓐ)의 탄소 수는 3이고, PGAL(ⓑ)의 인산기 수는 1이다. 따라서 $\frac{\text{3PG(ⓐ)의 탄소 수}}{\text{PGAL(ⓑ)의 인산기 수}}=3$이다.

07 꼼꼼 문제 분석

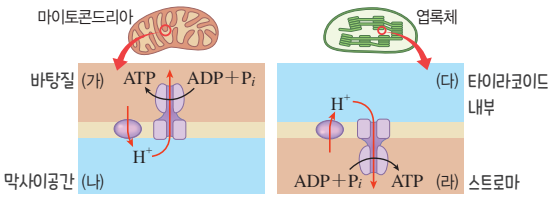


ㄱ. 캘빈회로(가)에서 3PG가 PGAL로 환원되는 반응이 일어난다.

바로알기 ㄴ. TCA 회로(나)는 마이토콘드리아 바탕질에서 일어난다.

ㄷ. 1분자의 포도당(㉣)이 합성되기 위해서는 6분자의 CO_2(㉢)가 필요하다.

08 꼼꼼 문제 분석



- 마이토콘드리아: H^+이 마이토콘드리아 바탕질에서 막사이공간으로 능동수송되고, ATP 합성효소를 통해 막사이공간에서 마이토콘드리아 바탕질로 확산한다. ➡ (가)는 마이토콘드리아 바탕질, (나)는 막사이공간이다.
- 엽록체: H^+이 스트로마에서 타이라코이드 내부로 능동수송되고, ATP 합성효소를 통해 타이라코이드 내부에서 스트로마로 확산한다. ➡ (다)는 타이라코이드 내부, (라)는 스트로마이다.

ㄴ. (다)는 타이라코이드 내부이다.

ㄷ. 전자가 전달되는 과정에서 방출되는 에너지를 이용하여 H^+을 스트로마(라)에서 타이라코이드 내부(다)로 능동수송한다.

바로알기 ㄱ. 마이토콘드리아 바탕질(가)의 pH가 막사이공간(나)의 pH보다 높을 때 H^+이 ATP 합성효소를 통해 막사이공간(나)에서 바탕질(가)로 확산하면서 ATP가 생성된다.

중단원 핵심 정리 186쪽~187쪽

① 엽록체 ② 그라나 ③ 청자색 ④ 이산화 탄소 ⑤ 탄소 고정반응 ⑥ NADPH ⑦ 빛에너지 ⑧ 산소(O_2) ⑨ P_{680} ⑩ $NADP^+$ ⑪ 광계 I ⑫ ATP ⑬ 스트로마 ⑭ 타이라코이드 내부 ⑮ ATP 합성효소 ⑯ 스트로마 ⑰ RuBP ⑱ 12 ⑲ 광인산화 ⑳ 산소(O_2)

중단원 마무리 문제 188쪽~191쪽

01 ⑤	02 ⑤	03 ③	04 ①	05 ①	06 ①
07 ②	08 ③	09 ⑤	10 ③	11 ①	12 ③
13 ④	14 ①	15 해설 참조		16 해설 참조	
17 해설 참조					

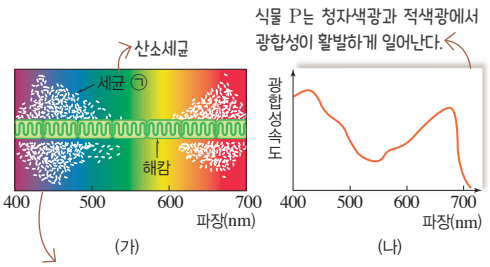
01 A는 내막, B는 스트로마, C는 타이라코이드 막이다.

ㄴ. 스트로마(B)에는 포도당 합성에 관여하는 효소, DNA, 라이보솜 등이 있다.

ㄷ. 타이라코이드 막(C)에는 빛에너지를 흡수하는 광합성색소와 전자전달계, ATP 합성효소 등이 있다.

바로알기 ㄱ. 엽록체에서 전자전달계는 타이라코이드 막(C)에 있다.

02 꼼꼼 문제 분석



산소세균(㉠)이 주로 청자색광과 적색광을 비춘 부위에 모여 있다. ➡ 청자색광과 적색광을 비춘 부위에서 해캄의 광합성이 활발하게 일어나 산소가 많이 발생했기 때문이다.

ㄱ. ㉠은 산소세균이다.

ㄴ. 산소세균(㉠)이 많이 모이는 곳은 해캄의 광합성이 활발하게 일어나 산소가 많이 발생한 곳이라는 것을 의미한다.

ㄷ. 엽록소 a는 일부 광합성세균을 제외한 모든 광합성 생물에 있다.

03 ㉠은 H_2O, ㉡은 CO_2, ㉢은 NADPH, ㉣은 ADP, ㉤은 O_2이다.

① 명반응 과정에서 전자를 처음 제공하는 물질인 전자공여체는 H_2O(㉠)이다.

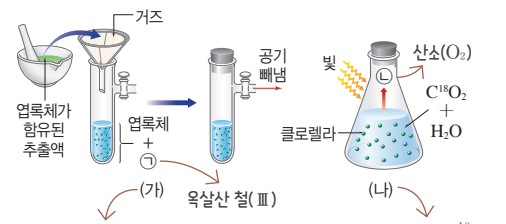
② 포도당 1분자를 합성할 때 6분자의 CO_2(㉡)가 필요하다.

④ ADP(㉣)는 아데노신에 2개의 인산기가 결합한 구조이다.

⑤ ㉤은 O_2이다.

바로알기 ③ 명반응에서 최종 전자수용체는 $NADP^+$이다.

04 꼼꼼 문제 분석



이산화 탄소가 없는 상태에서 시험관에 빛을 비추었더니 산소가 발생하고, 옥살산 철(Ⅲ)(㉠)이 물의 분해로 방출된 전자를 받아 옥살산 철(Ⅱ)로 환원되었다.

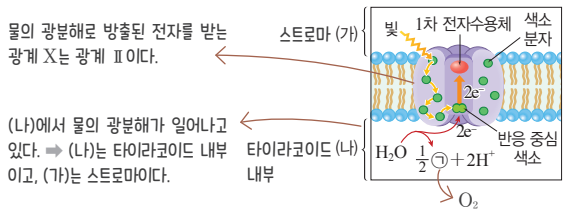
클로렐라 배양액에 ^{18}O로 표지한 이산화 탄소($C^{18}O_2$)를 공급했을 때 O_2(㉡)가 발생했다.

ㄱ. 빛에너지의 흡수로 물이 분해되어 산소가 발생하고, 이때 방출된 전자를 옥살산 철(Ⅲ)(㉠)이 받아 옥살산 철(Ⅱ)로 환원된다.

바로알기 ㄴ. 산소는 물에서 유래하므로 ㉡은 O_2이다.

ㄷ. 광합성 결과 발생한 산소는 물이 분해되어 나온 것이다.

05 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 광계 Ⅱ(X)의 반응 중심 색소는 P_{680}이다.

바로알기 ㄴ. 광합성이 활발하게 일어날 때 H^+이 스트로마(가)에서 타이라코이드 내부(나)로 능동수송된다. 따라서 H^+의 농도는 스트로마(가)에서가 타이라코이드 내부(나)에서보다 낮다.

ㄷ. 포도당 1분자가 합성될 때 발생하는 O_2(㉠)의 분자 수는 6이다. $6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow{\text{빛에너지}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$

06 비순환적 전자흐름을 나타낸 그림에서 ⓐ는 광계 Ⅱ, ⓑ는 광계 Ⅰ이고, 최종 전자수용체는 $NADP^+$이다.

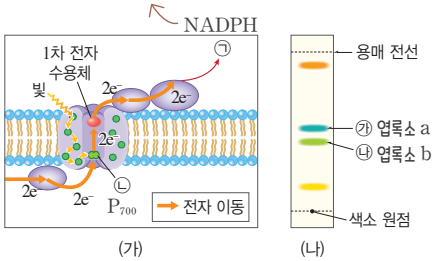
ㄱ. 광계 Ⅱ(ⓐ)에서 방출된 전자가 전자전달계(가)를 통해 전달될 때 에너지가 방출되고, 이 에너지를 이용하여 스트로마에 있는 H^+이 타이라코이드 내부로 능동수송된다.

바로알기 ㄴ. 비순환적 전자흐름에서는 물의 광분해가 일어나 O_2가 발생하고, NADPH와 ATP가 모두 생성된다.

ㄷ. 광계 Ⅰ(ⓑ)에서 방출된 전자는 $NADP^+$에 전달된다.

07 꼼꼼 문제 분석

광계 Ⅰ의 P_{700}(㉡)에서 방출된 전자는 1차 전자수용체를 환원한 후 전자전달계를 거쳐 $NADP^+$로 전달되고, 그 결과 $NADP^+$가 NADPH(㉠)로 환원된다.



ㄷ. 광계 X에서 방출된 전자가 $NADP^+$로 전달되어 NADPH(㉠)가 생성되었으므로, 광계 X는 광계 Ⅰ이다. 광계 Ⅰ은 순환적 전자흐름과 비순환적 전자흐름에 모두 관여한다.

바로알기 ㄱ. 캘빈회로에서 사용되는 ㉠은 NADPH이다. ATP는 ATP 합성효소를 통한 화학삼투로 합성된다.
ㄴ. 광계의 반응 중심 색소(㉡)는 엽록소 a(㉮)이다.

08 꼼꼼 문제 분석

비순환적 전자흐름에서는 산화환원반응, 물의 광분해, NADPH 생성이 모두 일어나므로 B가 비순환적 전자흐름이고, A는 순환적 전자흐름이다.

순환적 전자흐름

구분	㉠	㉡	㉢
A	? ×	ⓐ ×	ⓑ ○
B	ⓑ ○	? ○	ⓑ ○

비순환적 전자흐름

(○: 일어남, ×: 일어나지 않음)

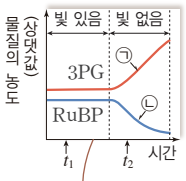
산화환원반응은 순환적 전자흐름과 비순환적 전자흐름에서 모두 일어나므로 ㉢은 산화환원반응이고, ⓑ는 '○'이다.

ㄱ. ⓐ는 '×', ⓑ는 '○'이다.
ㄴ. ㉢은 순환적 전자흐름(A)과 비순환적 전자흐름(B)에서 모두 일어나는 산화환원반응이다.
바로알기 ㄷ. 광계 Ⅱ는 순환적 전자흐름(A)에 관여하지 않는다.

09 3PG가 PGAL로 환원되는 과정에서 ATP와 NADPH가 사용되므로 A는 3PG, B는 PGAL, C는 RuBP이다. PGAL이 RuBP로 전환되는 과정에서 ATP가 사용되므로 ㉠은 ATP, ㉡은 NADPH이다.
ㄱ. ㉡은 NADPH이다.
ㄴ. 캘빈회로에서 CO_2는 RuBP(C)와 결합하여 3PG(A)로 전환되므로 $^{14}CO_2$를 주입했을 때 가장 먼저 ^{14}C로 표지되는 물질은 3PG(A)이다.
ㄷ. 1분자당 탄소 수는 3PG(A)가 3, PGAL(B)이 3, RuBP(C)가 5이다.

10 꼼꼼 문제 분석

캘빈회로에서 CO_2 6분자가 RuBP 6분자와 반응하여 12분자의 3PG로 전환된다. ➡ B는 3PG이고, ⓐ는 6이다.



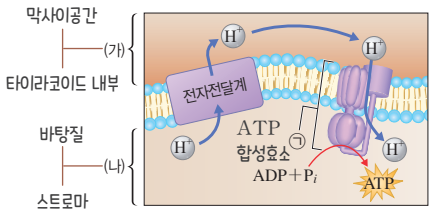
구분	RuBP A ㉡	3PG B ㉠
분자 수	ⓐ 6	12
1분자당 인산기 수	ⓑ 2	ⓒ 1

빛이 없을 경우 명반응 산물이 공급되지 않아 일시적으로 3PG의 농도는 증가하고, RuBP의 농도는 감소한다. ➡ ㉠은 3PG, ㉡은 RuBP이다.

ㄱ. 빛이 없을 때 증가하는 ㉠은 3PG(B)이고, 감소하는 ㉡은 RuBP(A)이다.
ㄴ. 빛이 있을 때 H^+이 스트로마에서 타이라코이드 내부로 능동수송되므로 타이라코이드 내부의 pH는 t_1일 때가 t_2일 때보다 낮다.
바로알기 ㄷ. ⓐ(6) > ⓑ(2) + ⓒ(1)이다.

11 1분자당 $\frac{\text{인산기 수}}{\text{탄소 수}}$는 3PG가 $\frac{1}{3}$, RuBP가 $\frac{2}{5}$이므로 (가)는 RuBP, (나)는 3PG이다.
ㄱ. 표에서 시간이 지남에 따라 RuBP(가)의 농도는 감소하고, 3PG(나)의 농도는 증가한다. P가 'CO_2 농도 감소'이면 P 처리 후 RuBP(가)의 농도는 증가하고, 3PG(나)의 농도는 감소해야 하므로 P는 '빛 차단'이다.
바로알기 ㄴ. (가)는 RuBP, (나)는 3PG이다.
ㄷ. 캘빈회로에서 PGAL이 RuBP(가)로 전환되는 과정에서 NADPH는 사용되지 않는다.

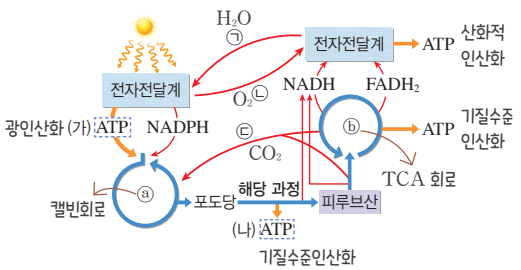
12 꼼꼼 문제 분석



- 마이토콘드리아: H^+이 내막에 있는 ATP 합성효소를 통해 막사이공간에서 바탕질로 확산되면서 ATP가 생성된다. ➡ (가)는 막사이공간, (나)는 마이토콘드리아 바탕질이다.
- 엽록체: H^+이 타이라코이드 막에 있는 ATP 합성효소를 통해 타이라코이드 내부에서 스트로마로 확산되면서 ATP가 생성된다. ➡ (가)는 타이라코이드 내부, (나)는 스트로마이다.

ㄱ. 마이토콘드리아에서 (가)는 막사이공간이다.
ㄴ. 엽록체에서 ATP 합성효소(㉠)는 타이라코이드 막에 있다.
바로알기 ㄷ. ATP 합성효소(㉠)를 통해 (가)에서 (나)로 H^+이 이동하는 원리는 농도 차에 따른 확산이다.

13 꼼꼼 문제 분석



ㄴ. 캘빈회로(ⓐ)는 엽록체의 스트로마에서 일어나고, TCA 회로(ⓑ)는 마이토콘드리아 바탕질에서 일어난다. 엽록체의 스트로마와 마이토콘드리아 바탕질에 모두 라이보솜이 있다.

ㄷ. 마이토콘드리아의 전자전달계에서 O_2(㉡)가 최종 전자수용체로 사용된다.

바로알기 ㄱ. 엽록체의 명반응과 마이토콘드리아의 산화적 인산화에서 화학삼투로 ATP가 합성된다. (나)는 해당 과정에서 기질수준인산화로 합성된 ATP이다.

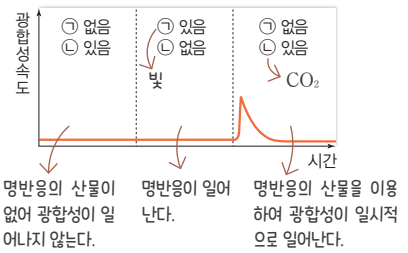
14 (가)는 프리스틀리, (나)는 잉엔하우스의 실험이다.

ㄱ. (가)를 통해 식물은 동물의 호흡으로 오염된 공기를 정화한다(식물은 동물이 생성하는 나쁜 공기를 신선한 공기로 바꾸는 능력이 있다.)는 결론을 얻었다.

바로알기 ㄴ. (나)에서 빛의 유무는 조작변인이다.

ㄷ. (나)에서 빛이 없는 곳에 둔 식물과 생쥐는 모두 죽었다. 이를 통해 식물의 광합성에 빛이 필요함을 알 수 있다.

15 꼼꼼 문제 분석



명반응 산물인 ATP와 NADPH가 있어야 탄소고정반응이 일어나 포도당이 합성된다. 따라서 광합성속도가 일시적으로 증가했다 감소하는 구간에 '없음'으로 표기된 ㉠이 빛이고, '있음'으로 표기된 ㉡이 CO_2이다.

모범 답안 ㉠은 빛, ㉡은 CO_2이다. 명반응에서 생성된 ATP와 NADPH를 이용하여 탄소고정반응이 일어나 포도당을 합성하기 때문에 탄소고정반응이 지속적으로 일어나려면 빛(㉠)이 필요하다.

채점 기준	배점
㉠과 ㉡을 옳게 쓰고, 탄소고정반응이 지속적으로 일어나기 위해 빛(㉠)이 필요한 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
㉠과 ㉡만 옳게 쓴 경우	40 %

16 모범 답안 • 공통점: 광계 Ⅰ이 관여한다. ATP가 합성된다. 등
• 차이점: 비순환적 전자흐름에서는 물(H_2O)의 광분해가 일어나 산소(O_2)가 발생하지만, 순환적 전자흐름에서는 물(H_2O)의 광분해가 일어나지 않아 산소(O_2)가 발생하지 않는다. 비순환적 전자흐름에서는 NADPH가 생성되지만, 순환적 전자흐름에서는 NADPH가 생성되지 않는다. 등

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

17 캘빈회로에서 RuBP와 CO_2가 결합하여 3PG로 전환되므로 CO_2 농도가 감소하면 일시적으로 RuBP의 농도는 증가하고, 3PG의 농도는 감소한다.

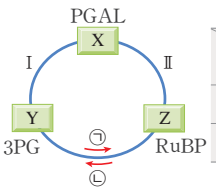
모범 답안 ㉠은 3PG이다. 캘빈회로에서 CO_2는 RuBP와 결합하여 3PG로 전환되는데, CO_2 농도가 감소하면 RuBP와 결합하는 CO_2의 양이 줄어들어 3PG의 농도가 감소하기 때문이다.

채점 기준	배점
㉠을 옳게 쓰고, CO_2 농도 변화에 따른 3PG(㉠)의 농도 변화를 캘빈회로와 관련지어 옳게 서술한 경우	100 %
㉠만 옳게 쓴 경우	30 %

중단원 고난도 문제 192쪽

01 ⑤ **02** ㄱ, ㄷ **03** ② **04** ㄴ

01 꼼꼼 문제 분석



과정 \ 물질	ⓐ CO_2	ⓑ ATP	ⓒ NADPH
Ⅰ	×	○	○
Ⅱ	×	?○	×

(○: 사용됨, ×: 사용 안 됨)

선택지 분석

㉠ 포도당 1분자를 합성하는 데 필요한 분자 수는 ⓑ가 ⓒ보다 많다.

㉡ 1분자당 $\frac{\text{Y의 인산기 수}+\text{Z의 탄소 수}}{\text{X의 탄소 수}}=2$이다.

㉢ 회로의 진행 방향은 ㉡이다.

전략적 풀이 ❶ 캘빈회로에서 CO_2, ATP, NADPH가 사용되는 과정을 파악하고, 포도당 1분자를 합성하기 위해 필요한 CO_2, ATP, NADPH의 분자 수를 생각해 본다.

Ⅰ에서 ⓑ와 ⓒ가 모두 사용되므로 X와 Y는 각각 3PG와 PGAL 중 하나이고, ⓐ는 CO_2, Z는 RuBP이다. Ⅰ과 Ⅱ에서 모두 CO_2(ⓐ)가 사용되지 않으므로 CO_2(ⓐ)는 Y와 Z 사이에서 공급되며, Y는 3PG, X는 PGAL이다. Ⅱ에서 ATP는 사용되지만 NADPH는 사용되지 않으므로 ⓒ가 NADPH, ⓑ가 ATP이다. RuBP(Z)는 CO_2(ⓐ)와 결합하여 3PG(Y)로 전환되고, 3PG(Y)가 PGAL(X)로 환원될 때 ATP(ⓑ)와 NADPH(ⓒ)가 사용되며, PGAL(X)이 RuBP(Z)로 전환될 때 ATP(ⓑ)가 사용된다.

ㄱ. 포도당 1분자를 합성하는 데 필요한 ATP(ⓑ)의 분자 수는 18이고, NADPH(ⓒ)의 분자 수는 12이다.

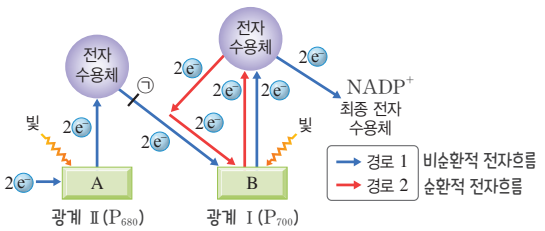
❷ PGAL, 3PG, RuBP 각각의 1분자당 탄소 수와 인산기 수를 비교해 본다.

ㄴ. 1분자당 PGAL(X)의 탄소 수는 3, 인산기 수는 1이고, 3PG(Y)의 탄소 수는 3, 인산기 수는 1이며, RuBP(Z)의 탄소 수는 5, 인산기 수는 2이다. 따라서 1분자당 $\frac{\text{Y의 인산기 수+Z의 탄소 수}}{\text{X의 탄소 수}}$는 $\frac{1+5}{3}=2$이다.

❸ 회로의 진행 방향을 파악한다.

ㄷ. 3PG가 PGAL로 환원되고, PGAL이 RuBP로 재생되므로 회로의 진행 방향은 ㉡이다.

02 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

㉠. 경로 1에서 최종 전자수용체는 $NADP^+$이다.

ㄴ. 반응 중심 색소가 가장 잘 흡수하는 빛의 파장은 A에서가 B에서보다 길다. 짧다

㉢. $\frac{\text{타이라코이드 내부의 pH}}{\text{스트로마의 pH}}$는 P를 처리한 후가 P를 처리하기 전보다 크다.

전략적 풀이 ❶ 순환적 전자흐름과 비순환적 전자흐름의 경로를 각각 파악하고, 비순환적 전자흐름에서 최종 전자수용체가 무엇인지 생각해 본다.

ㄱ. 경로 1은 비순환적 전자흐름이고, 경로 2는 순환적 전자흐름이다. 비순환적 전자흐름(경로 1)에서 최종 전자수용체는 $NADP^+$이다.

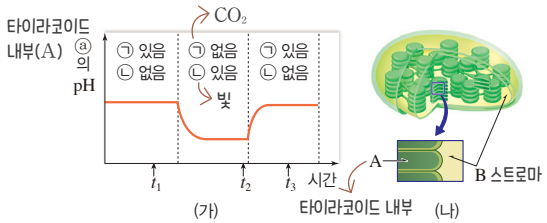
❷ 광계 Ⅰ과 광계 Ⅱ의 반응 중심 색소의 특징을 이해한다.

ㄴ. 광계 Ⅱ(A)의 반응 중심 색소는 680 nm 파장의 빛을 가장 잘 흡수하는 P_{680}이고, 광계 Ⅰ(B)의 반응 중심 색소는 700 nm 파장의 빛을 가장 잘 흡수하는 P_{700}이다.

❸ 전자전달계에서 H^+의 능동수송 방향과 이에 따라 형성되는 H^+의 농도 기울기를 파악한다.

ㄷ. 물질 P가 작용하여 ㉠에서 전자 전달이 차단되면 스트로마에서 타이라코이드 내부로 H^+이 능동수송되지 못하므로 P를 처리하면 P를 처리하기 전보다 스트로마의 H^+ 농도는 높아지고, 타이라코이드 내부의 H^+ 농도는 낮아진다. 따라서 타이라코이드 내부의 pH는 P를 처리하기 전보다 높아지고, 스트로마의 pH는 P를 처리하기 전보다 낮아진다.

03 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

ㄱ. ㉠은 빛이다. CO_2

ㄴ. ⓐ는 A이다.

ㄷ. B에서 $\frac{NADP^+\text{의 양}}{NADPH\text{의 양}}$은 t_2일 때가 t_3일 때보다 크다. 작다

전략적 풀이 ❶ CO_2 조건에 따른 RuBP의 농도 변화와 빛 조건에 따른 스트로마와 타이라코이드 내부의 pH 변화를 생각해 본다.

RuBP는 CO_2와 결합하여 3PG로 전환되므로 CO_2가 없을 경우 RuBP의 농도가 증가한다. RuBP의 농도가 t_2일 때가 t_1일 때보다 높으므로 ㉠은 CO_2이다. 빛이 있을 경우 명반응이 일어나 스트로마(B)에서 타이라코이드 내부(A)로 H^+이 능동수송되어 타이라코이드 내부(A)의 pH는 낮아지고, 스트로마(B)의 pH는 높아진다. 빛(㉡)이 있을 때 ⓐ의 pH가 낮아지므로 ⓐ는 타이라코이드 내부(A)이다.

ㄱ. ㉠은 CO_2이고, ㉡은 빛이다.

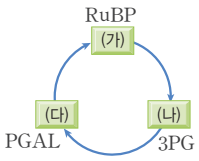
ㄴ. ⓐ는 타이라코이드 내부(A)이다.

❷ 빛 조건에 따른 NADPH 생성 여부를 생각해 본다.

ㄷ. 빛이 있을 때 최종 전자수용체인 $NADP^+$는 NADPH로 환원되므로 $NADP^+$의 양은 t_2일 때가 t_3일 때보다 적고, NADPH의 양은 t_2일 때가 t_3일 때보다 많다.

04 꼼꼼 문제 분석

$^{14}CO_2$를 공급한 후 ^{14}C가 가장 먼저 검출되는 ㉢은 3PG이고, 두 번째로 검출되는 ㉠은 PGAL이며, ㉢은 RuBP이다. ➡ 시간의 흐름은 Ⅲ(5초) → Ⅰ(90초) → Ⅱ(5분)이다.



구분	Ⅰ (90초)	Ⅱ (5분)	Ⅲ (5초)
PGAL ㉠ (다)	○	○	×
3PG ㉡ (나)	○	?○	○
RuBP ㉢ (가)	×	○	×

(○: ^{14}C 함유됨, ×: ^{14}C 함유 안 됨)

선택지 분석

ㄱ. 90초일 때 (가)는 ^{14}C를 함유한다. 함유하지 않는다

ㄴ. $\frac{\text{탄소 수}}{\text{인산기 수}}$는 (나)가 ㉢보다 크다.

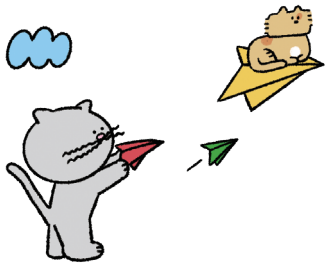
ㄷ. 캘빈회로에서 ㉠이 ㉢으로 전환되는 과정에서 NADPH가 사용된다. 사용되지 않는다

전략적 풀이 ❶ 캘빈회로에서 CO_2가 고정되어 최초로 생성되는 물질과 이후 생성되는 물질을 시간 순서에 따라 생각해 본다.

캘빈회로에서 CO_2가 고정되어 최초로 생성되는 물질은 3PG이고, 시간이 지날수록 ^{14}C를 함유한 물질이 많아진다. 따라서 ^{14}C가 가장 먼저 검출된(Ⅲ, 5초) ㉡은 3PG이고, 두 번째로 검출된(Ⅰ, 90초) ㉠은 PGAL이며, 세 번째로 검출된(Ⅱ, 5분) ㉢은 RuBP이다. PGAL(㉠)이 (다)이므로 (가)는 RuBP(㉢), (나)는 3PG(㉡)이다.

ㄱ. 90초(Ⅰ)일 때 RuBP((가), ㉢)는 ^{14}C를 함유하지 않는다.

ㄴ. $\frac{\text{탄소 수}}{\text{인산기 수}}$는 3PG((나), ㉡)가 $\frac{3}{1}$, RuBP((가), ㉢)가 $\frac{5}{2}$이다.

❷ 캘빈회로에서 NADPH가 사용되는 경로를 생각해 본다.

ㄷ. 캘빈회로에서 NADPH는 3PG((나), ㉡)가 PGAL((다), ㉠)로 전환되는 과정에 사용되며, PGAL((다), ㉠)이 RuBP((가), ㉢)로 전환되는 과정에는 사용되지 않는다.