

2

광합성

- 01 엽록체와 광합성색소
- 02 광합성 과정
- 03 광합성과 세포호흡의 전자전달계
- 04 광합성 관련 과학사

학습할 내용을 알아보고,
스스로 학습 계획을 세워 봅시다.

나무가 울창한 숲에 가면 산소가 많이 포함된 신선한 공기를 들이마실 수 있다.

들어다보기 나무가 울창한 숲의 공기에 산소가 많은 까닭은 무엇일까?

생각해 보기 식물은 광합성 과정에서 어떻게 빛에너지를 흡수하여 산소를 만들어 낼까?



이전
학습 내용

알고 있는 단어에 ✓ 표 해 보자.

- ☐ 엽록체 ☐ 광합성 ☐ 효소 ☐ 동화작용

지식·이해

- 엽록체의 구조와 기능을 이해하고, 광합성의 명반응과 탄소 고정반응의 단계별 특징을 설명할 수 있다.
- 광합성과 세포호흡의 전자전달계를 비교하여 공통점과 차이점을 설명할 수 있다.

과정·기능

- 광합성의 명반응과 탄소 고정반응의 상호 관계를 추론할 수 있다.
- 미토콘드리아와 엽록체의 내부 구조 모형을 만들 때 협력적으로 소통할 수 있다.

가치·태도

- 광합성색소 분리 실험 과정에서 과학 실험의 즐거움을 경험할 수 있다.
- 광합성 관련 과학사적 연구 결과에 대한 시각화 자료를 창의적으로 만들 수 있다.

나의
학습 계획

나는 이 단원에서 _____ 을/를 알고 싶다.

01

엽록체와 광합성색소

| 학습 목표 |

- ☐ 엽록체의 구조와 기능을 설명할 수 있다.
- ☐ 광합성색소의 종류와 특징을 설명할 수 있다.



엽록체의 구조와 기능

엽록체에서는 빛에너지를 흡수하여 이산화 탄소와 물로 포도당을 합성하는 광합성이 일어난다. 엽록체는 그림 Ⅲ-12와 같이 외막과 내막의 이중막으로 둘러싸여 있으며, 내막 안에는 동전 모양의 막 구조물인 **타이라코이드**가 있다. 타이라코이드 막에는 빛에너지를 흡수하는 광합성색소, 전자를 전달하는 데 필요한 효소, ATP 합성효소 등이 있으며, 타이라코이드가 여러 개 쌓여 **그라나**를 이룬다. 그라나를 제외한 내막 안쪽의 공간을 **스트로마**라고 하며, 스트로마에는 유기물 합성에 필요한 여러 가지 효소, DNA, 라이보솜 등이 있다.

엽록체의 구조와 기능은 중학교 『과학』의 ‘생물의 구성과 다양성’ 단원과 연계된다.

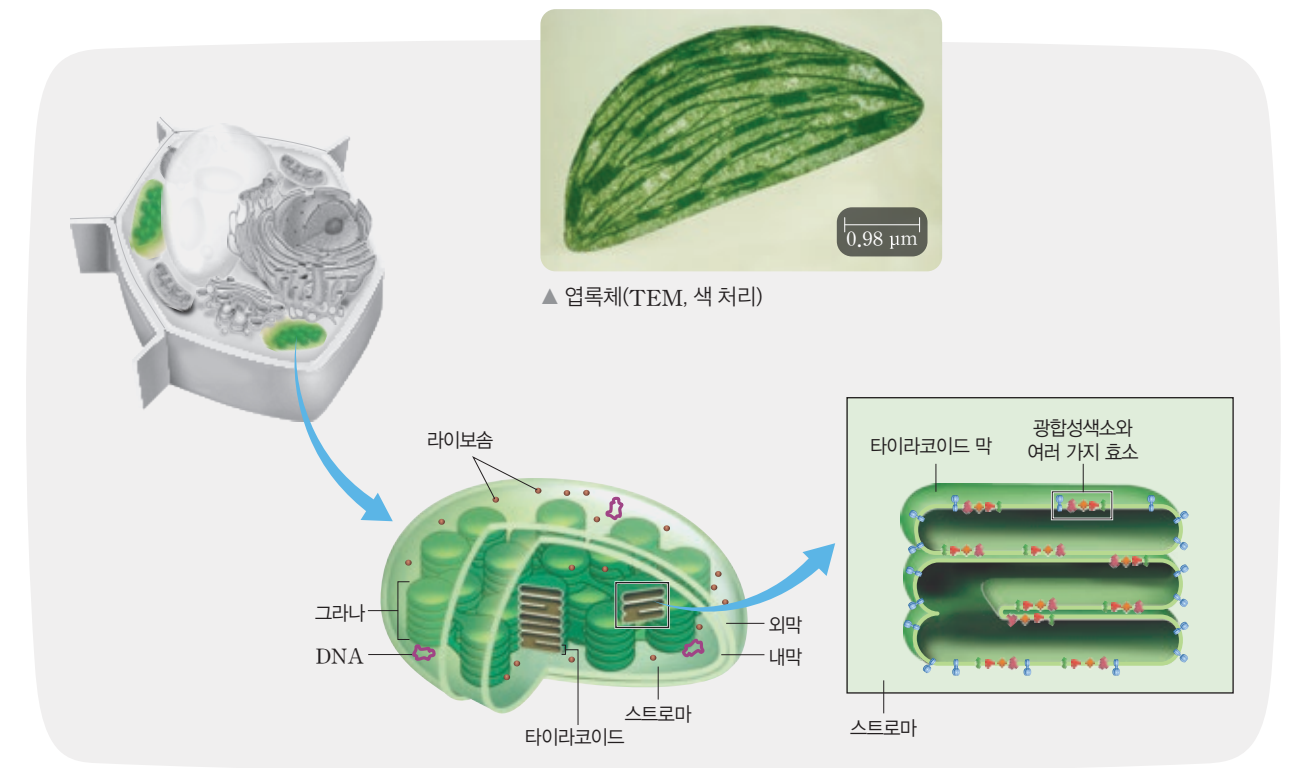


그림 Ⅲ-12 엽록체의 구조

엽록체는 마이토콘드리아와 마찬가지로 에너지전환이 일어나는 세포소기관이다.
다음 탐구에서 마이토콘드리아와 엽록체의 내부 구조 모형을 만들어 보자.

탐구

모형 생성,
협력적 소통

탐구 능력 | 문제 해결 능력

마이토콘드리아와 엽록체의 내부 구조 모형 제작하기

목표 마이토콘드리아와 엽록체의 구조를 이해하고, 마이토콘드리아와 엽록체의 내부 구조 모형을 만들 수 있다.

과정 및 결과

1. **디지털** 3D 엽록체, 3D 마이토콘드리아를 검색하여 구조를 탐색해 보자.
2. 모둠별로 마이토콘드리아와 엽록체의 내부 구조 모형을 어떻게 만들지 다음을 참고하여 토의해 보자.

- 마이토콘드리아와 엽록체에서 어떤 구조적 특징을 표현할지 정한다.
- 마이토콘드리아와 엽록체의 구조적 특징이 잘 드러나게 하려면 어떤 재료를 사용하는 것이 좋을지 정한다. **예** 동전, 모루, 색상지, 지점토, 스타이로폼 공

3. 마이토콘드리아와 엽록체의 내부 구조 모형을 만들어 보자.

4. **디지털** 모형을 활용하여 두 세포 소기관을 소개하는 3 분 동영상 만들고, 공유 플랫폼에 공유해 보자.

5. 다른 모둠에서 만든 3 분 동영상을 시청하고, 우리 모둠에서 만든 마이토콘드리아와 엽록체의 내부 구조 모형을 보완해 보자.



정리

- 마이토콘드리아와 엽록체는 구조적으로 어떤 공통점이 있는지 설명해 보자.

마이토콘드리아에는 주름진 내막 구조가, 엽록체에는 막 구조를 가진 타이라코이드가 발달해 있다. 이와 같이 복잡한 막 구조는 물질대사가 일어나는 표면적을 넓혀 에너지전환이 효율적으로 일어나게 한다.

광합성색소

식물이 광합성에 필요한 빛에너지를 흡수할 수 있는 것은 **그림 Ⅲ-13**과 같이 엽록체의 타이라코이드 막에 광합성색소가 있기 때문이다. 광합성색소에는 엽록소, 카로티노이드 등이 있다. 엽록소의 종류에는 엽록소 a, 엽록소 b 등이 있으며, 광합성을 하는 모든 식물과 조류에는 엽록소 a가 있다. 카로티노이드에는 카로틴, 잔토필 등이 있다. 카로티노이드는 빛에너지를 흡수하여 엽록소로 전달하고, 빛을 분산시켜 과도한 빛에 의해 엽록소가 손상되는 것을 막아 준다.

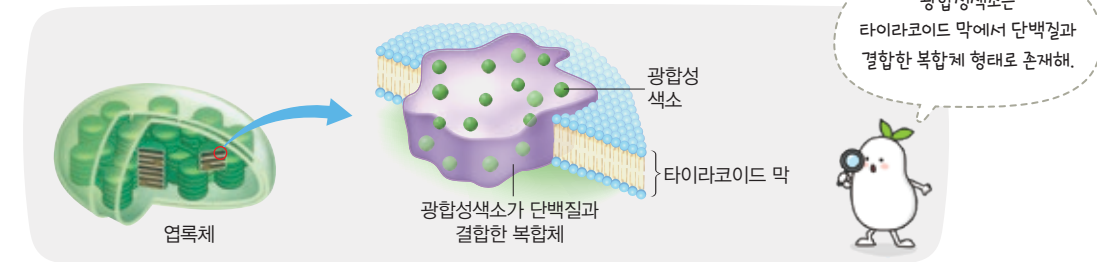
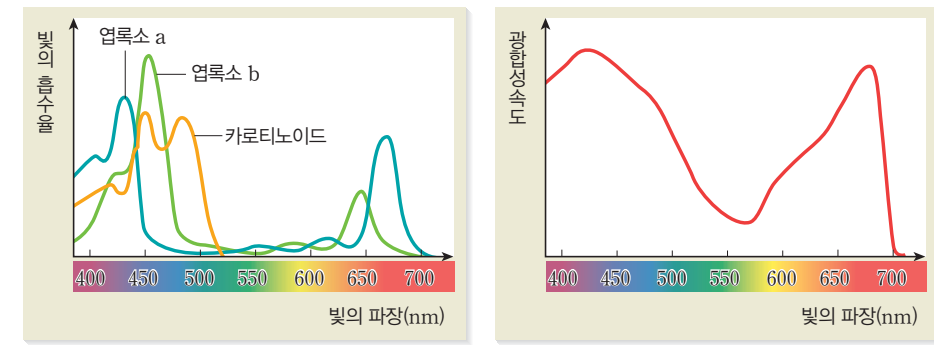


그림 Ⅲ-13 광합성색소

광합성색소는 빛의 파장에 따라 빛을 흡수하는 정도가 다른데, 빛의 파장에 따른 광합성색소의 빛 흡수율을 그래프로 나타낸 것을 **흡수스펙트럼**이라고 한다. 또 빛의 파장에 따른 식물의 광합성속도를 그래프로 나타낸 것을 **작용스펙트럼**이라고 한다.

그림 Ⅲ-14에서 흡수스펙트럼을 분석해 보면 엽록소 a와 엽록소 b는 모두 청자색광과 적색광을 주로 흡수하고, 작용스펙트럼을 분석해 보면 청자색광과 적색광에서 광합성속도가 가장 빠르다. 이를 통해 광합성에 필요한 빛에너지는 주로 엽록소가 흡수하며, 식물은 주로 엽록소가 흡수한 청자색광과 적색광을 이용하여 광합성을 한다는 것을 알 수 있다. 또 작용스펙트럼을 분석해 보면 엽록소 a와 엽록소 b가 거의 흡수하지 않는 초록색광에서도 광합성이 일어나는데, 이는 카로티노이드가 흡수한 빛도 광합성에 이용되기 때문이다.



▲ 흡수스펙트럼

▲ 작용스펙트럼

그림 Ⅲ-14 흡수스펙트럼과 작용스펙트럼

엽록소와 카로티노이드의 색깔
엽록소 a는 청록색, 엽록소 b는 황록색을 띠며, 카로티노이드는 노란색, 주황색, 붉은색 등을 띤다.

광합성색소는 타이라코이드 막에서 단백질과 결합한 복합체 형태로 존재해.

오개념 바로잡기

식물만 광합성을 할까?

식물뿐만 아니라 광합성세균, 물속에 사는 조류도 광합성을 한다.

식물의 잎이 초록색으로 보이는 까닭

엽록소가 초록색광은 거의 흡수하지 않고 대부분 반사하거나 통과시키기 때문에 식물의 잎이 초록색으로 보인다.

(출처: 『생명과학』, 2022.)

식물의 잎에는 여러 종류의 광합성색소가 있으며, 크로마토그래피를 이용하면 각 색소를 분리할 수 있다. 다음 탐구에서 크로마토그래피로 식물의 잎에서 광합성 색소를 분리해 보자.

탐구

실험, 결론 도출

탐구 능력 | 문제 해결 능력

크로마토그래피로 식물의 잎에서 광합성색소 분리하기

실험 영상



목표 크로마토그래피로 식물의 잎에서 광합성색소를 분리할 수 있다.

과정

- 말린 시금치 잎을 막자사발에 넣어 곱게 간 다음, 아세톤을 소량 넣고 5 분 동안 둔다.
- 크로마토그래피용 종이를 유리병의 길이에 맞게 자른 뒤, 아래 끝에서 1.5 cm 되는 곳에 연필로 출발선을 긋고 중앙에 원점을 표시한다.
- 모세관으로 1에서 얻은 광합성색소 추출액을 2의 원점에 찍고 말리는 과정을 여러 번 반복한다.
 - 원점에 찍힌 광합성색소 추출액의 지름이 2 mm ~ 3 mm 되게 한다.
- 유리병 바닥에서 1 cm 정도의 높이까지 전개액을 넣는다.
 - 전개액을 넣을 때 유리병 벽면에 전개액이 묻지 않게 주의한다.



준비물

- ☒ 뚜껑이 있는 유리병
- ☒ 모세관 ☒ 스포이트
- ☒ 막자와 막자사발
- ☒ 크로마토그래피용 종이
- ☒ 자 ☒ 연필
- ☒ 핀셋 ☒ 아세톤
- ☒ 전개액(석유 에테르:아세톤 =9:1)
- ☒ 말린 시금치 잎
- ☒ 실험복 ☒ 실험용 장갑
- ☒ 보안경 ☒ 마스크

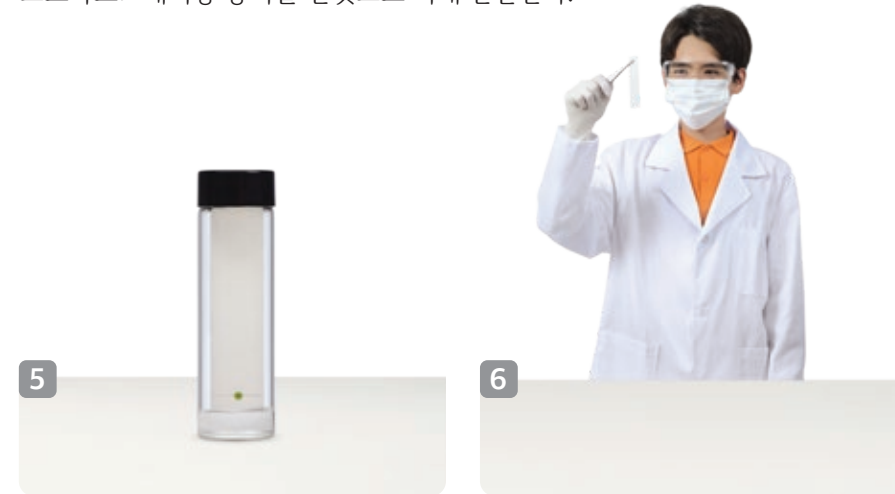
안전

- 유리 기구와 막자사발이 깨지지 않게 주의한다.
- 아세톤과 전개액은 휘발성이 강하므로 눈에 직접 닿지 않게 주의하고, 사용한 뒤 곧바로 뚜껑을 닫는다.
- 사용하고 남은 생물 재료와 화학 약품은 선생님의 지도에 따라 분리하여 처리한다.
- 실험복, 실험용 장갑, 보안경, 마스크를 반드시 착용한다.

- 4의 유리병에 3의 크로마토그래피용 종이를 넣고 뚜껑을 닫은 다음, 광합성색소가 분리되는 과정을 관찰한다.
- 광합성색소가 분리되면서 전개액이 크로마토그래피용 종이의 윗부분에 도달하면 크로마토그래피용 종이를 핀셋으로 꺼내 관찰한다.

디지털 탐색

시금치 잎의 광합성색소 분리를 검색하여 광합성색소가 분리된 실험 결과를 찾아 나의 실험 결과와 비교해 보자.



결과 및 정리

- 시금치 잎의 광합성색소는 몇 종류로 분리되며, 각 광합성색소는 어떤 색깔을 띠는지 써 보자.
- 분리된 광합성색소 중 엽록소에 해당하는 것은 몇 종류인지 써 보자.
- +사고력** 광합성색소의 종류에 따라 전개되는 정도가 다른 까닭을 생각해 보자.

스스로 평가하기

| 지식·이해 | 시금치 잎에서 몇 종류의 광합성색소가 분리되었는지 설명했는가? ☆☆☆

| 과정·기능 | 실험 과정을 정확히 수행하여 시금치 잎에서 광합성색소를 잘 분리했는가? ☆☆☆

| 가치·태도 | 광합성색소를 분리하면서 과학 실험의 즐거움을 경험했는가? ☆☆☆

식물의 엽록체에는 엽록소 a, 엽록소 b, 카로틴, 잔토필 등의 광합성색소가 있으며, 광합성색소가 흡수한 빛에너지를 이용하여 광합성이 일어난다.

스스로 확인하기

- 엽록체에는 ()이/가 여러 개 쌓여 이루어진 그라나가 있다.
- 엽록소는 주로 청자색광과 ()을/를 흡수한다.
- | 과학 역량 기르기 |** 가을에 노랗게 단풍이 든 느티나무 잎에는 주로 어떤 종류의 광합성 색소가 있는지 설명해 보자.

단원을 마치기 전에

학습 목표를 달성했는지 105 쪽 학습 목표에 ☒ 표하여 스스로 점검해 보자.

02 광합성 과정

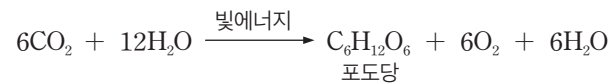
| 학습 목표 |

- 광합성의 명반응과 탄소 고정반응을 단계별로 구분하여 특징을 설명할 수 있다.
- 명반응과 탄소 고정반응의 상호 관계를 설명할 수 있다.



광합성의 전체 과정

광합성은 빛에너지를 흡수하여 이산화 탄소와 물로 포도당을 합성하는 과정이며, 이 과정에서 산소가 발생한다.



광합성은 빛에너지를 화학 에너지로 전환하는 과정인 명반응과 이산화 탄소를 환원하여 포도당을 합성하는 과정인 탄소 고정반응으로 구분한다. 명반응에서는 빛에너지를 ATP와 *NADPH의 화학 에너지로 전환하여 탄소 고정반응에 공급하며, 이 과정에서 물이 분해되어 산소가 발생한다. 탄소 고정반응에서는 명반응에서 공급된 ATP와 NADPH를 이용해 이산화 탄소를 환원하여 당을 합성하는 연속적인 화학 반응인 캘빈회로가 진행된다.

*NADPH

탈수소효소의 조효소인 NADP⁺가 H⁺과 전자를 받아 환원된 물질

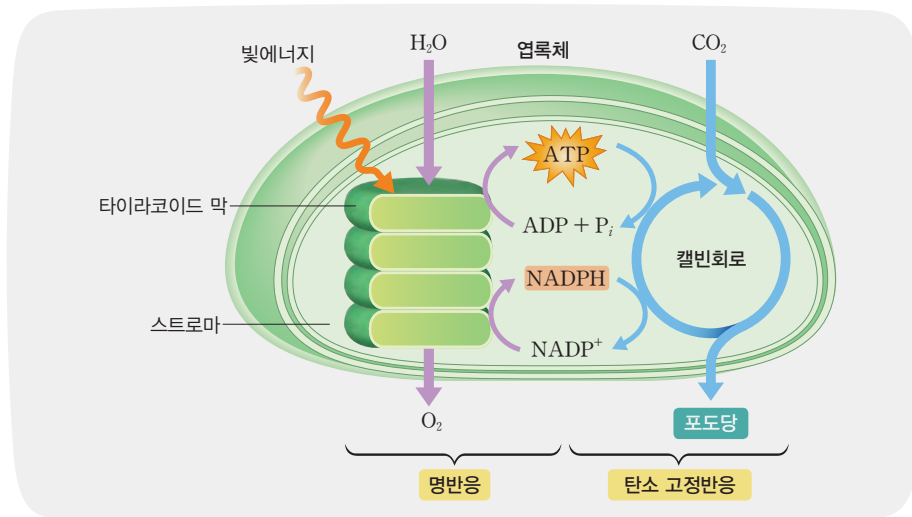


그림 III - 15 광합성의 전체 과정 광합성 과정은 엽록체의 타이코이드 막에서 일어나는 명반응과 스트로마에서 일어나는 탄소 고정반응으로 구분한다.

다음 해 보기에서 광합성의 명반응과 탄소 고정반응은 어떤 관계가 있는지 알아보자.

해보기

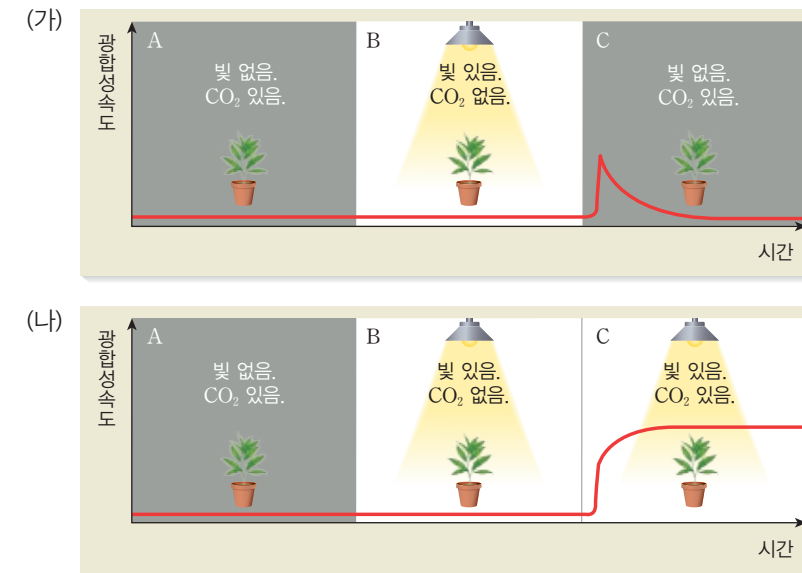
탐구 능력 | 문제 해결 능력

명반응과 탄소 고정반응의 상호 관계 추론하기

벤슨은 하루 동안 어두운 곳에 두었던 식물에 빛과 이산화 탄소의 조건을 달리하면서 광합성속도를 측정하여 그림과 같은 결과를 얻었다.

벤슨

(Benson, A. A., 1917~2015)
미국의 과학자. 식물의 탄소 고정 반응을 연구했다.



1. (가)에서 A 구간과 C 구간의 광합성속도가 다르게 나타난 까닭을 쓰고, 이를 통해 알 수 있는 사실을 설명해 보자.
2. (가)의 C 구간과 달리 (나)의 C 구간에서 광합성이 계속 일어나는 까닭을 설명해 보자.
3. 위 실험의 결과로 알 수 있는 명반응과 탄소 고정반응의 상호 관계를 추론해 보자.

빛이 있을 때 명반응이 일어나 ATP와 NADPH를 생성하며, 이산화 탄소가 있을 때 명반응 산물인 ATP와 NADPH를 이용하여 탄소 고정반응이 일어나 포도당을 합성한다. 따라서 명반응이 일어나지 않으면 ATP와 NADPH가 공급되지 않아 탄소 고정반응이 일어나지 않으며, 탄소 고정반응이 일어나지 않으면 명반응에 ADP와 NADP⁺가 공급되지 않아 명반응도 일어나지 않는다. 이와 같이 명반응과 탄소 고정반응이 함께 일어나야 이산화 탄소로부터 포도당이 합성되므로 광합성이 지속해서 일어나려면 빛과 이산화 탄소가 모두 필요하다.

광계의 색소

광계에서 반응중심색소는 한 쌍의 엽록소 a로 구성된다. 보조색소는 엽록소와 카로티노이드로 구성되며, 빛에너지를 흡수하여 반응중심색소로 전달하는 안테나 역할을 한다.

P₇₀₀과 P₆₈₀의 특징

P₇₀₀은 파장이 700 nm인 빛을 가장 잘 흡수하고, P₆₈₀은 파장이 680 nm인 빛을 가장 잘 흡수한다.

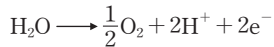
생명과 과학 + 물리학

반응중심색소

광계의 반응중심색소는 빛의 입자인 광자를 흡수한 보조색소로부터 광자의 에너지를 받아 들뜬상태가 되며, 들뜬상태의 반응중심색소는 고에너지 전자를 방출하고 원래의 바닥상태로 돌아간다.

물의 광분해

빛이 있을 때 비순환적 전자흐름에서 물이 분해되는 것이다.



명반응

명반응은 타이코이드 막에서 광합성색소가 흡수한 빛에너지를 ATP와 NADPH의 화학 에너지로 전환하는 과정이다. 광합성색소는 타이코이드 막에서 단백질과 결합한 복합체 형태로 존재하는데, 이를 광계라고 한다.

그림 III-16과 같이 광계에는 반응중심색소와 보조색소가 있으며, 광계는 반응중심색소가 P₇₀₀인 광계 I과 반응중심색소가 P₆₈₀인 광계 II로 구분한다. 보조색소에서 흡수한 빛에너지가

반응중심색소로 전달되면 반응중심색소는 고에너지 전자를 방출한다. 방출된 고에너지 전자의 전달 과정은 비순환적 전자흐름과 순환적 전자흐름으로 구분한다.

비순환적 전자흐름과 순환적 전자흐름 | 비순환적 전자흐름은 광계 II에서 방출된 전자가 전자전달계와 광계 I을 거쳐 NADP⁺에 전달되는 과정이다. 그림 III-17과 같이 광계 II가 빛에너지를 흡수하면 P₆₈₀에서 고에너지 전자가 방출되어 1차 전자수용체에 전달된다. 전자를 잃어 산화된 P₆₈₀은 물의 광분해로 방출된 전자를 받아 환원되며, 이 과정에서 산소가 발생한다. 1차 전자수용체에 전달된 고에너지 전자는 전자전달계의 산화환원반응을 거쳐 광계 I의 P₇₀₀으로 전달된다. 전자전달계에서 전자가 전달될 때 에너지가 단계적으로 방출되며, 이 에너지는 ATP 합성에 필요한 H⁺의 농도 기울기를 형성하는 데 이용된다.

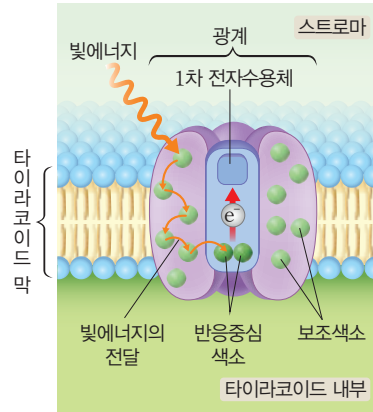


그림 III-16 광계

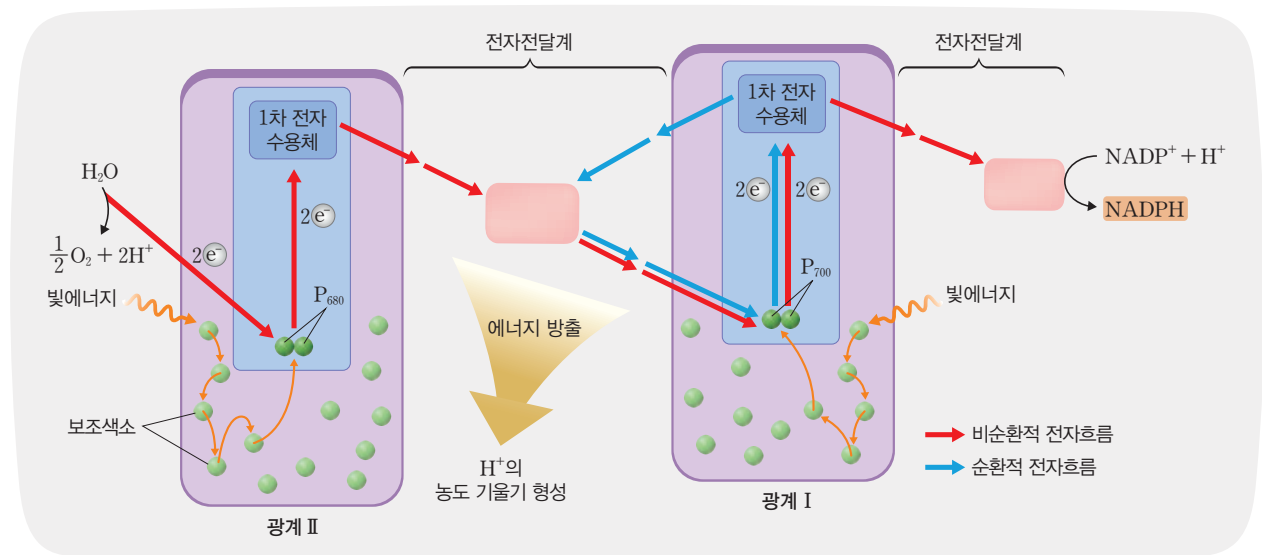


그림 III-17 명반응에서 전자의 전달 과정 비순환적 전자흐름에는 광계 I과 광계 II가 모두 관여하고, 순환적 전자흐름에는 광계 I만 관여한다. 전자전달계에서 전자는 일련의 산화환원반응으로 전달된다.

비순환적 전자흐름에서 광계 I이 빛에너지를 흡수하면 P₇₀₀에서 고에너지 전자가 방출되어 1차 전자수용체에 전달되며, 전자를 잃어 산화된 P₇₀₀은 광계 II에서 방출된 전자를 받아 환원된다. 1차 전자수용체에 전달된 고에너지 전자는 전자전달계를 거쳐 최종적으로 NADP⁺에 전달되며, 전자를 받은 NADP⁺는 H⁺과 결합하여 NADPH로 환원된다.

순환적 전자흐름은 빛에너지를 흡수한 광계 I의 P₇₀₀에서 방출된 고에너지 전자가 NADP⁺에 전달되지 않고 전자전달계를 거쳐 P₇₀₀으로 되돌아오는 과정이다. 전자전달계에서 전자가 전달될 때 에너지가 단계적으로 방출되며, 이 에너지는 ATP 합성에 필요한 H⁺의 농도 기울기를 형성하는 데 이용된다. 순환적 전자흐름에는 광계 I만 관여하며, NADPH와 산소는 생성되지 않는다.

화학삼투에 의한 ATP 합성 | 빛에너지를 흡수한 광계에서 방출된 고에너지 전자가 전자전달계의 전자운반체를 차례로 환원시키면서 전달되는 과정에서 에너지가 방출된다. 이 에너지를 이용하여 일부 전자운반체는 H⁺을 스트로마에서 타이코이드 내부로 능동수송한다. H⁺의 능동수송으로 타이코이드 내부의 H⁺ 농도가 스트로마보다 높아져 타이코이드 막을 경계로 H⁺의 농도 기울기가 형성된다. 이 H⁺의 농도 기울기에 따라 H⁺이 ATP 합성효소를 통해 타이코이드 내부에서 스트로마로 확산하며, 이 과정에서 ATP가 합성된다.

이처럼 비순환적 전자흐름과 순환적 전자흐름에서 형성된 H⁺의 농도 기울기에 의해 화학삼투가 일어나 ATP가 합성되는 과정을 **광인산화**라고 한다.

❓ 광계 I과 광계 II 중 비순환적 전자흐름과 순환적 전자흐름에 모두 관여하는 것은 어느 것일까?

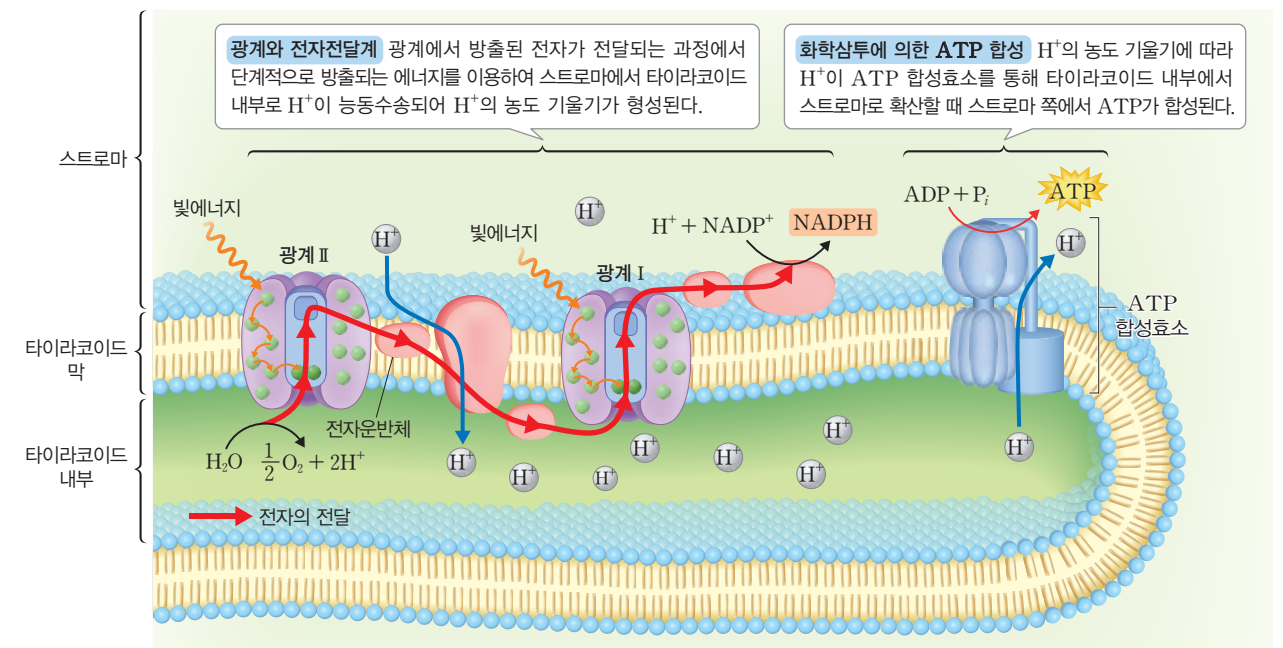
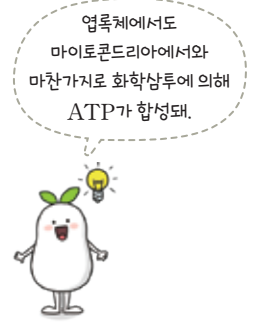


그림 III-18 비순환적 전자흐름과 화학삼투에 의한 ATP 합성

탄소 고정반응

탄소 고정반응은 스트로마에서 이산화 탄소를 환원하여 포도당을 합성하는 과정이다. 다음 해 보기에서 이산화 탄소로부터 포도당이 합성되기까지의 경로를 밝힌 캘빈의 실험을 알아보자.

해 보기

캘빈의 실험 알아보기

캘빈은 단세포생물인 클로렐라와 방사성 동위원소 ^{14}C 로 표지한 이산화 탄소($^{14}\text{CO}_2$)를 이용하여 다음과 같은 실험을 했다.



1. $^{14}\text{CO}_2$ 를 3초 동안 공급했을 때 방사선이 검출되는 유기물은 무엇이며, 이 유기물에서 방사선이 검출되는 까닭은 무엇인지 설명해 보자.
2. $^{14}\text{CO}_2$ 를 30초 동안 공급했을 때 방사선이 검출되는 유기물의 종류가 $^{14}\text{CO}_2$ 를 3초 동안 공급했을 때보다 많아진 까닭은 무엇인지 설명해 보자.

캘빈은 이산화 탄소가 고정되어 최초로 생성되는 물질이 3-인산글리세르산(3PG)이라는 것을 알아냈다. 이후 방사성 동위원소 ^{14}C 로 표지한 이산화 탄소($^{14}\text{CO}_2$)를 공급하는 시간을 늘려 가면서 새롭게 검출된 물질을 확인하여 이산화 탄소로부터 포도당이 합성되기까지의 경로를 밝혔다.

탄소 고정반응이 진행되는 **캘빈회로**는 탄소 고정, 3-인산글리세르산(3PG) 환원, 리불로스 2인산(RuBP) 재생의 세 단계로 구분할 수 있으며, 각 단계는 스트로마에 있는 여러 효소의 작용으로 일어난다.

탄소 고정반응을 통해 포도당 1분자가 합성될 때 캘빈회로에서 이산화 탄소 6분자가 고정되고, ATP 18분자와 NADPH 12분자가 이용된다.

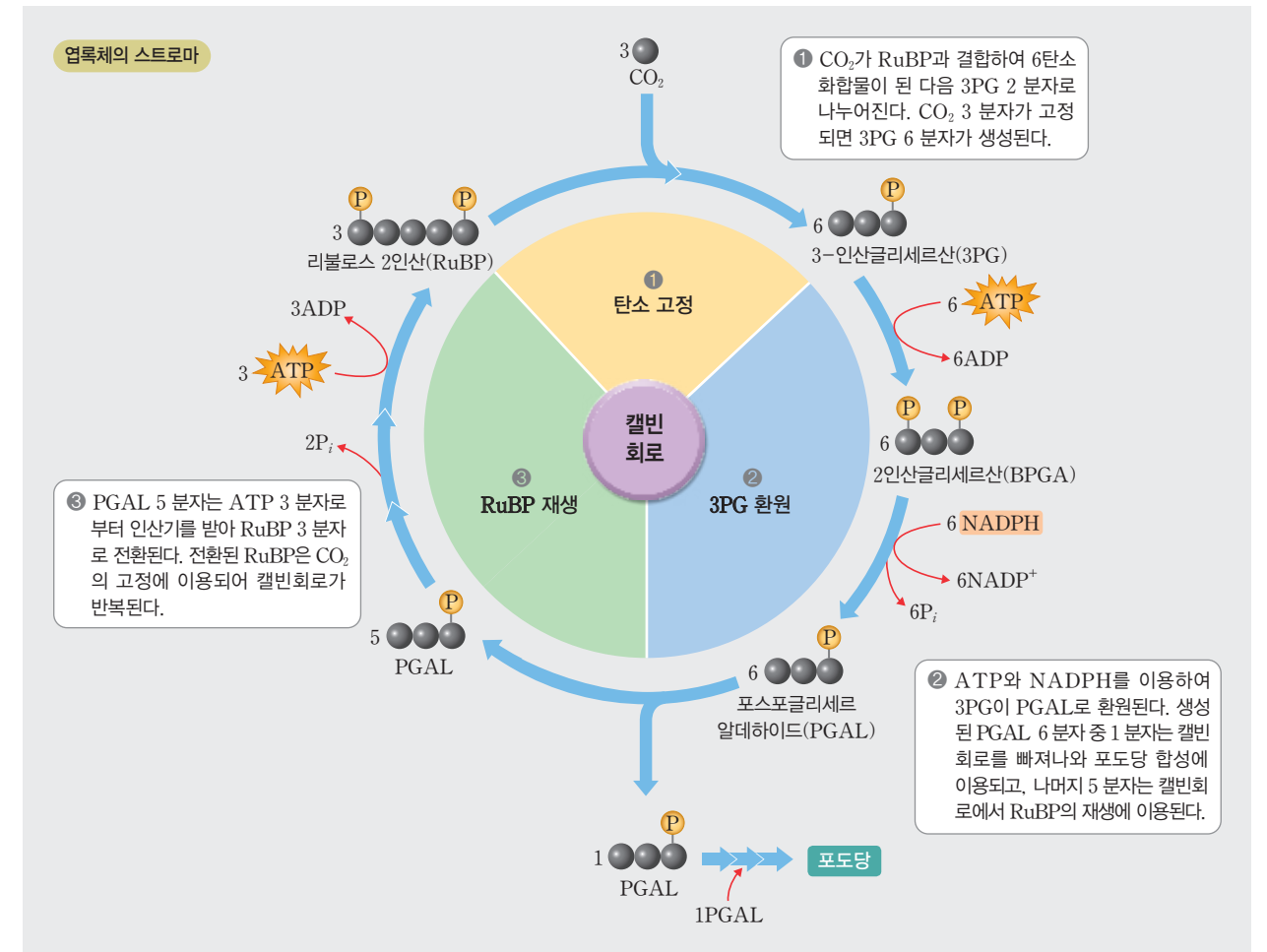


그림 Ⅲ-19 탄소 고정반응

스스로 확인하기

- 1 빛이 있을 때 산화된 광계 II의 P₆₈₀은 ()이/가 분해되어 방출된 전자를 받아 환원된다.
- 2 캘빈회로는 () 고정, () 환원, () 재생의 세 단계로 구분할 수 있다.
- 3 | 과학 역량 기르기 | 광합성이 활발하게 일어나는 엽록체에서 타이라코이드 내부와 스트로마의 pH를 비교하고, 그 까닭을 설명해 보자.

단원을 마치기 전에
학습 목표를 달성했는지
110 쪽 학습 목표에 ✓ 표
하여 스스로 점검해 보자.

03

광합성과 세포호흡의 전자전달계

| 학습 목표 |

- 광합성과 세포호흡의 전자전달계를 비교하여 공통점과 차이점을 설명할 수 있다.



엽록체와 미토콘드리아에서 전자전달계를 구성하는 막단백질과 ATP 합성효소는 매우 비슷하다. 다음 탐구에서 광합성과 세포호흡의 전자전달계와 인산화 반응을 비교해 보자.

탐구

- 자료 분석, 결론 도출

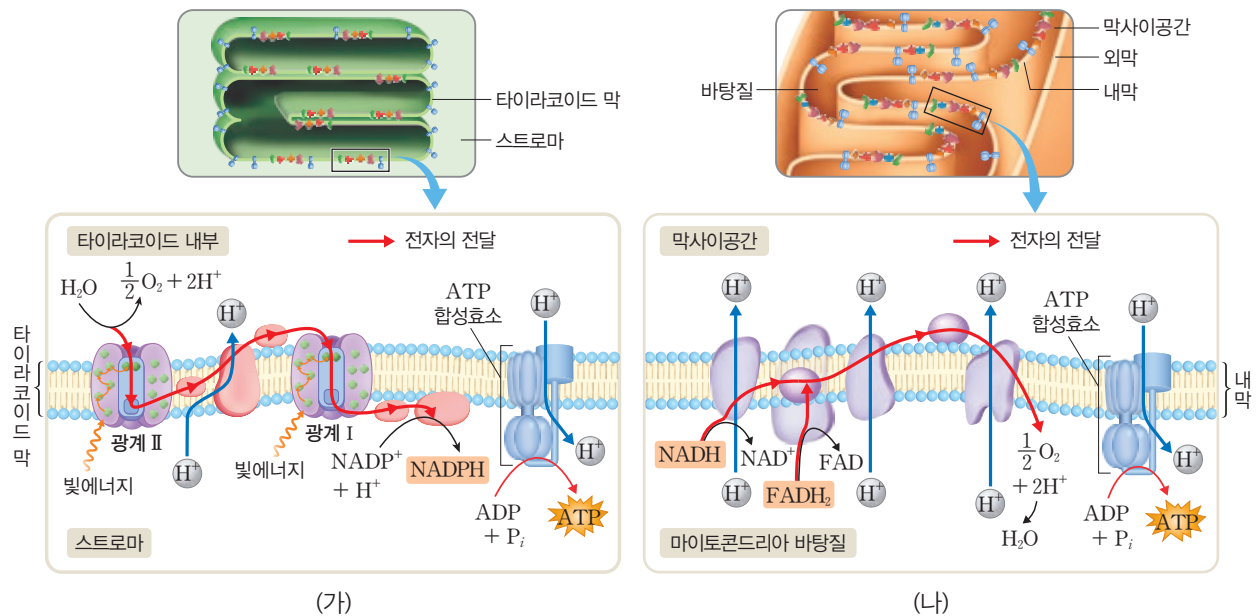
광합성과 세포호흡의 전자전달계와 인산화반응 비교하기

Q 탐구 능력 | 문제 해결 능력

목표 광합성과 세포호흡의 전자전달계와 인산화반응을 비교하여 공통점과 차이점을 설명할 수 있다.

과정 및 결과

그림 (가)는 엽록체 타이라코이드 막의, (나)는 미토콘드리아 내막의 전자전달계에서 전자가 전달되는 경로와 ATP 합성 과정을 나타낸 것이다.



1. (가)와 (나)에서의 전자전달계와 인산화반응을 비교하여 써 보자.

구분	(가)	(나)
최초 *전자공여체		
최종 전자수용체		
H ⁺ 의 능동수송 방향		
ATP 합성효소를 통한 H ⁺ 의 확산 방향		
에너지전환		

2. 모둠별로 광합성과 세포호흡의 전자전달계와 인산화반응의 공통점과 차이점을 다양한 매체를 활용하여 발표해 보자.

! 영상, 포스터, 카드 뉴스 등을 활용할 수 있다.

정리

- 광합성과 세포호흡의 전자 전달 과정에서 이루어지는 인산화반응을 에너지, 효소, 산화환원반응 중심으로 설명해 보자.



* 전자공여체

전자전달계에 전자를 공급하는 물질

스스로 평가하기

| 지식·이해 | 광합성과 세포호흡의 전자전달계와 인산화반응의 공통점과 차이점을 설명했는가? ☆☆☆

| 과정·기능 | 광합성과 세포호흡의 전자전달계와 인산화반응의 공통점과 차이점을 다양한 매체를 활용하여 발표했는가? ☆☆☆

| 가치·태도 | 광합성과 세포호흡의 전자전달계와 인산화반응을 비교하는 과정에서 과학적으로 사고했는가? ☆☆☆

엽록체와 미토콘드리아의 전자전달계에서 전자는 연속적인 산화환원반응을 통해 전달되며, 이 과정에서 에너지가 단계적으로 방출된다. 이 에너지는 막을 경계로 H⁺의 농도 기울기를 형성하는 데 이용되며, 그 결과 화학삼투가 일어나 ATP 합성효소에 의해 ATP가 합성된다.

한편 광합성의 광인산화에서는 물로부터 전자를 공급받지만, 세포호흡의 산화적 인산화에서는 NADH와 FADH₂로부터 전자를 공급받는다.

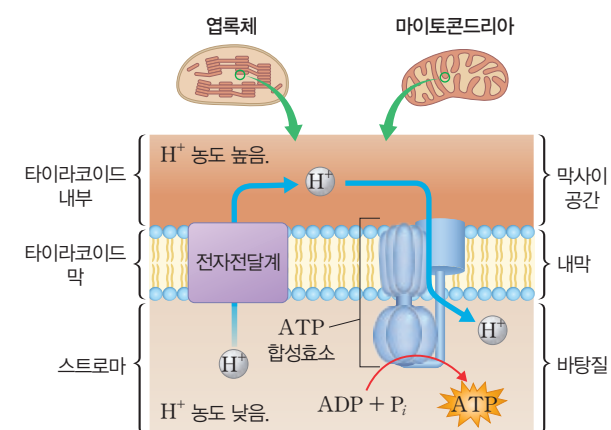


그림 III - 20 엽록체와 미토콘드리아의 전자전달계와 인산화반응

스스로 확인하기

1 엽록체와 미토콘드리아의 ()에서 전자는 연속적인 산화환원반응을 통해 전달되며, 이 과정에서 에너지가 단계적으로 방출된다.

2 | 과학 역량 기르기 | 광합성과 세포호흡의 전자전달계에서 전자의 전달은 온도의 영향을 많이 받는다. 그 까닭을 설명해 보자.

단원을 마치기 전에

학습 목표를 달성했는지 116 쪽 학습 목표에 ✓ 표하여 스스로 점검해 보자.

04

광합성 관련 과학사

| 학습 목표 |

- 광합성 관련 과학사적 연구 결과를 설명할 수 있다.
- 광합성 관련 과학사적 연구 결과에 대한 시각화 자료 만들 수 있다.



16 세기~17 세기의 과학자들은 식물이 성장하는 데 필요한 양분을 어떻게 얻는지 알기 위해 여러 가지 실험을 했으며, 이후 많은 과학자의 연구 결과가 축적되어 광합성 과정이 밝혀졌다. 다음 탐구에서 광합성과 관련된 연구에 대해 알아보자.

탐구

조사, 협력적 소통

탐구 능력 | 문제 해결 능력

광합성 관련 과학사 연대표 만들기

목표 광합성 관련 과학사적 연구 결과를 조사하여 시각화 자료를 창의적으로 만들 수 있다.

1 고안하기

다음은 광합성 과정을 밝혀내는 데 관여한 여러 과학자의 연구이다.

프리스틀리(Priestley, J., 1733~1804)
식물에서의 기체 발생에 대한 실험

잉엔하우스(Ingenhousz, J., 1730~1799)
식물에서의 기체 발생과 빛의 관계를 밝힌 실험

작스(Sachs, J. von, 1832~1897)
광합성산물 확인 실험

engelmann(Engelmann, T. W., 1843~1909)
빛의 파장과 광합성의 관계를 밝힌 실험

힐(Hill, R., 1899~1991)
물의 광분해 실험

루벤(Ruben, S., 1913~1943)
광합성에서 발생하는 산소의 유래를 밝힌 실험

벤슨(Benson, A. A., 1917~2015)
명반응과 탄소 고정반응을 발견한 실험

캘빈(Calvin, M., 1911~1997)
탄소 고정반응 과정을 밝힌 실험

아논(Arnon, D. I., 1910~1994)
광인산화 실험

야겐도르프(Jagendorf, A., 1926~2017)
광합성에서의 ATP 합성 원리를 밝힌 실험

준비물

- ☑ 스마트 기기
- ☑ 광합성 연구와 관련된 책

탐구 유의 사항

- 조사할 때에는 주제와 관련된 책이나 전문 기관에서 운영하는 누리집의 정보를 이용한다.
- 발표할 때에는 내용을 이해하기 쉽게 설명한다.

1. 모둠별로 조사해 보고 싶은 과학자의 연구를 2 개씩 골라 보자.
2. 과학자의 연구에 대해 어떤 내용을 조사할지 다음의 내용을 포함하여 정해 보자.

- 과학자가 광합성 관련 사실을 발견하게 된 실험 과정 및 결과
- 과학자가 발견한 광합성 관련 사실 또는 연구 결과가 광합성 과정을 밝히는 데 기여한 점

3. 조사 결과를 디지털 기기나 공유 플랫폼을 활용하여 어떤 시각화 자료로 만들지 정해 보자.

! 영상, 포스터, 정보 그림 같은 시각화 설명 자료를 활용할 수 있다.

4. 모듬원의 역할을 나누어 보자.

2 수행하기

1. 고른 과학자의 연구를 조사해 보자.

2. 조사 결과를 정리하여 시각화 자료로 만들어 보자.

3. 모듬별로 만든 시각화 자료를 모아 우리 반의 광합성 관련 과학사 연대표를 만들어 보자.

3 소통하기

1. 과학사 연대표를 활용하여 우리 모듬에서 조사한 내용을 발표해 보자.

2. 다음 표를 활용하여 우리 모듬과 다른 모듬의 발표 내용을 평가해 보자.

평가 내용	우수	보통	미흡
지식·이해 광합성 관련 과학사적 연구 결과를 시대순으로 나열하고 설명했는가?			
과정·기능 광합성 관련 연구 결과를 조사하고 시각화 자료로 만들 때 협력적으로 소통했는가?			
가치·태도 광합성 관련 연구 결과에 대한 시각화 자료를 창의적으로 만들었는가?			

광합성 관련 과학사 연대표

프리스틀리의 연구



밀폐된 유리종 속에 생쥐만 넣어 두면 생쥐가 곧 죽지만, 생쥐와 식물을 함께 넣어 두면 생쥐가 죽지 않는다. ➡ 식물은 동물의 호흡으로 오염된 공기를 정화한다.

잉엔하우스의 연구

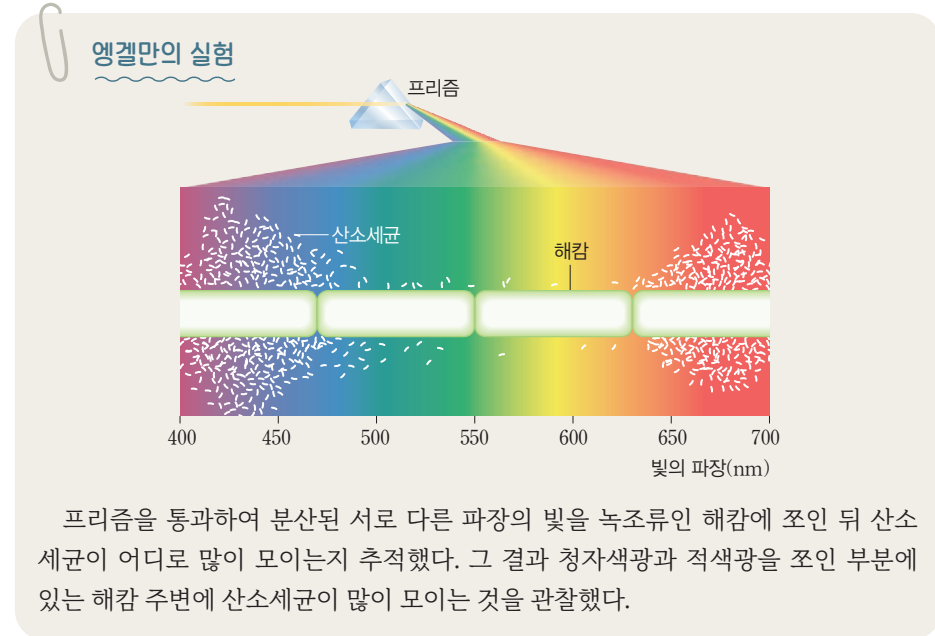


유리종 속에 식물과 생쥐를 함께 넣고 빛이 있는 곳에 두면 식물과 생쥐가 모두 살지만, 빛이 없는 곳에 두면 모두 죽는다. ➡ 식물은 빛이 있어야 동물의 호흡에 필요한 기체(산소)를 공급할 수 있다.

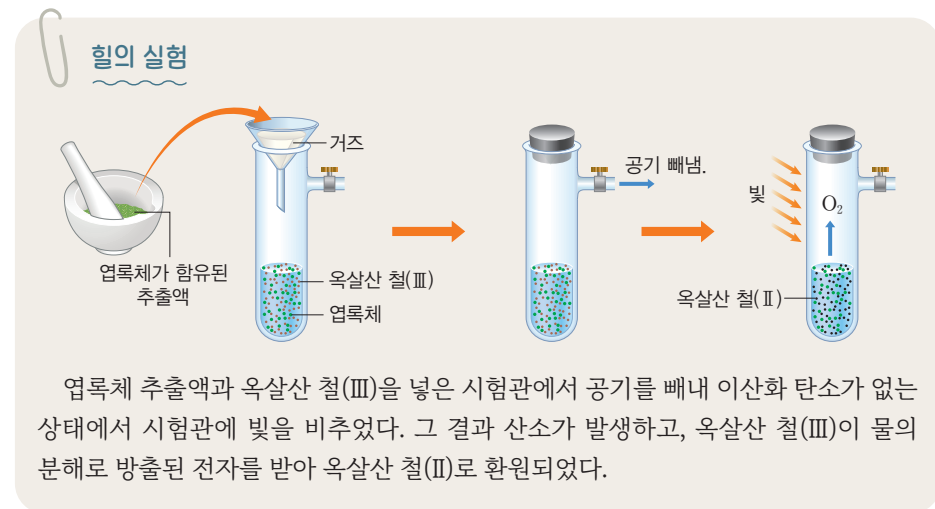
19 세기 중반에 광합성은 엽록체에서 일어나며, 광합성 결과 녹말이 생성된다는 것이 밝혀졌다. 이후 엥겔만은 실험을 통해 광합성이 일어나는 정도는 빛의 파장에 따라 다르며, 광합성에는 주로 청자색광과 적색광이 이용된다는 것을 알게 되었다.

산소세균의 특징

산소세균은 산소가 있는 환경에서만 살 수 있는 세균이다. 따라서 산소세균이 많이 모이는 곳은 광합성이 활발하게 일어나 산소가 많이 발생하는 곳이라는 것을 의미한다.

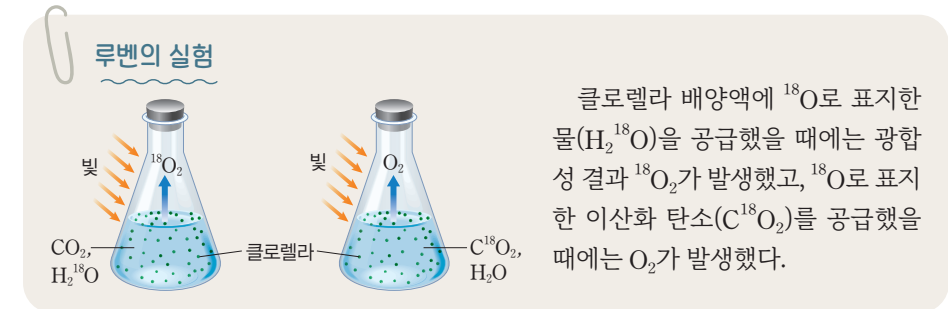


20 세기 이전에는 광합성 결과 발생한 산소가 식물이 흡수한 이산화 탄소에서 나온 것이라고 생각했다. 그러나 힐은 엽록체 추출액과 옥살산 철(III)을 이용한 실험을 통해 산소는 식물이 흡수한 이산화 탄소에서 나온 것이 아니라는 사실을 밝혔다.



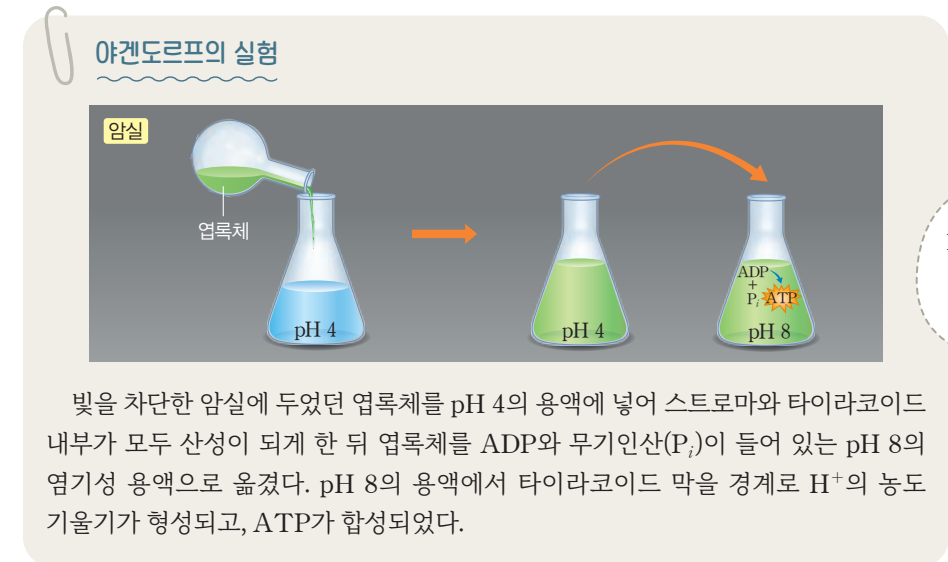
참의사고 힐의 실험에서 사용된 옥살산 철(III)과 같이 광합성이 일어날 때 엽록체에서 물의 분해로 방출된 전자를 받아 환원되는 물질은 무엇인지 설명해 보자.

힐의 실험 이후 루벤은 동위원소 ¹⁸O를 이용한 실험을 통해 광합성 결과 발생한 산소는 물이 분해되어 나온 것이라는 사실을 입증했다.



힐과 루벤의 연구로 광합성에서 물의 분해로 방출된 전자에 의해 전자수용체가 환원된다는 사실이 입증되었으며, 이후 엽록체에서의 전자수용체는 NADP⁺라는 것이 밝혀졌다.

20 세기 중반에는 미토콘드리아에서 전자가 전달될 때 형성된 H⁺의 농도 기울기에 의해 H⁺이 ATP 합성효소를 통해 확산할 때 ATP가 합성된다는 화학삼투설이 제안되었다. 이후 야겐도르프는 실험을 통해 화학삼투가 엽록체에서도 일어난다는 사실을 알아냈다.



스스로 확인하기

- 1 루벤의 실험을 통해 광합성 결과 발생한 산소는 ()이/가 분해되어 나온 것이라는 사실이 입증되었다.
- 2 | 과학 역량 기르기 | 암실에서 pH 8의 용액에 넣어 두었던 엽록체를 ADP와 무기인산(P_i)이 들어 있는 pH 4의 용액으로 옮기면 ATP가 합성될지 설명해 보자.

단원을 마치기 전에 학습 목표를 달성했는지 118 쪽 학습 목표에 ✓ 표하여 스스로 점검해 보자.

산림치유지도사

우리나라는 산림 면적이 국토의 60 % 이상을 차지할 정도로 울창한 숲이 많다. 최근에는 지친 몸과 마음을 회복하기 위해 숲을 찾는 사람이 꾸준히 증가하고 있다. 이들이 숲에서 활동하며 몸과 마음의 건강을 증진할 수 있도록 돕는 직업 중 하나가 산림치유지도사이다.

산림치유지도사는 어떤 일을 하나요?

산림치유지도사는 숲에 존재하는 햇빛, 경관, 온도, 습도, 소리 같은 다양한 환경 요소를 활용하여 식물 관찰, 명상, 맨발 걷기, 체조, 족욕 등 산림 치유 프로그램을 개발하고 진행하는 일을 합니다. 또 사람들이 숲에서 활동하면서 스트레스를 해소하고 심리적 안정을 찾을 수 있게 해 주며, 건강하게 살아갈 수 있게 돕습니다. 산림치유지도사가 되면 자연 휴양림, 치유의 숲 같은 산림 복지 시설에서 일할 수 있습니다.



토의·토론

내가 산림치유지도사라면 어떤 산림 치유 프로그램을 기획할지 토의해 보자.



의사 결정 능력

산림치유지도사가 되려면 어떻게 준비하나요?

산림치유지도사가 되려면 의료, 보건, 간호, 산림 관련 학과를 전공하는 것이 유리합니다. 그리고 산림청에서 지정한 양성 기관에서 산림치유 지도사 양성 과정을 마친 뒤 국가 자격증을 취득해야 합니다. 산림치유지도사에게는 자연을 사랑하는 마음과 자연을 주의 깊게 살피는 관찰력이 중요합니다. 또 숲을 찾는 사람들의 몸과 마음의 건강을 돌보아야 하므로 건강에 대한 지식과 관심, 다른 사람의 생각이나 감정을 이해하는 능력과 의사소통 능력이 필요합니다.



워크넷(www.work.go.kr)
산림치유지도사와 관련된 정보를 찾아보자.



중단원 마무리

2. 광합성

01 엽록체와 광합성색소

105 쪽 ~ 109 쪽

1. 엽록체의 구조와 기능

- 구조: 엽록체는 타이라코이드가 여러 개 쌓여 이루어진 그라나와 내막 안쪽의 공간인 ① (으)로 구분된다.
- 기능: 엽록체에서는 빛에너지를 흡수하여 이산화 탄소와 물로 포도당을 합성하는 광합성이 일어난다.

2. 광합성색소: 타이라코이드 막에 있으며, 광합성에 필요한 빛에너지를 흡수한다. ②, 카로티노이드 등이 있다.

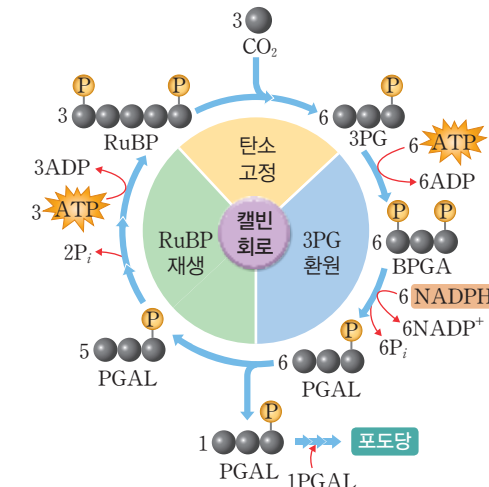
02 광합성 과정

110 쪽 ~ 115 쪽

1. 명반응: 빛에너지를 ATP와 NADPH의 화학 에너지로 전환하는 과정으로, 엽록체의 ③ 막에서 일어난다.

- 비순환적 전자흐름과 순환적 전자흐름: 빛에너지를 흡수한 광계에서 방출된 고에너지 전자가 전달되는 과정에서 단계적으로 방출된 에너지가 이용되어 H^+ 의 농도 기울기가 형성된다. ④ 전자흐름에서 물의 광분해가 일어나며, NADPH와 산소가 생성된다.
- 화학삼투에 의한 ATP 합성: 비순환적 전자흐름과 순환적 전자흐름에서 형성된 H^+ 의 농도 기울기에 따라 H^+ 이 ⑤ 을/를 통해 타이라코이드 내부에서 스트로마로 확산할 때 ATP가 합성된다.

2. 탄소 고정반응: 이산화 탄소를 환원하여 포도당을 합성하는 과정으로, 엽록체의 스트로마에서 일어난다.



▲ 탄소 고정반응

03 광합성과 세포호흡의 전자전달계

116 쪽 ~ 117 쪽

- 엽록체와 미토콘드리아의 전자전달계에서 전자는 연속적인 산화환원반응을 통해 전달된다.
- 광인산화에서는 ⑥ (으)로부터, 산화적 인산화에서는 NADH와 $FADH_2$ 로부터 전자를 공급받는다.

04 광합성 관련 과학사

118 쪽 ~ 121 쪽

- 엔젤만의 실험을 통해 광합성에는 주로 청자색광과 적색광이 이용된다는 사실을 알게 되었다.
- 힐과 루벤의 실험을 통해 광합성의 명반응에서 발생한 ⑦ 은/는 물에서 유래한 것임을 알게 되었다.
- 야겐도르프의 실험을 통해 엽록체에서도 화학삼투에 의해 ATP가 합성된다는 것을 알게 되었다.

스스로 평가하기

이 단원에서 학습한 내용을 확인하고 스스로 평가해 보십시오.

		우수	보통	미흡
지식·이해	엽록체의 구조와 기능을 이해하고, 광합성의 명반응과 탄소 고정반응의 단계별 특징을 설명했는가?	☐	☐	☐
	광합성과 세포호흡의 전자전달계를 비교하여 공통점과 차이점을 설명했는가?	☐	☐	☐
과정·기능	광합성의 명반응과 탄소 고정반응의 상호 관계를 추론했는가?	☐	☐	☐
	미토콘드리아와 엽록체의 내부 구조 모형을 만들 때 협력적으로 소통했는가?	☐	☐	☐
가치·태도	광합성색소 분리 실험 과정에서 과학 실험의 즐거움을 경험했는가?	☐	☐	☐
	광합성 관련 과학사적 연구 결과에 대한 시각화 자료를 창의적으로 만들었는가?	☐	☐	☐

평가 결과가 아쉽다면 '2. 광합성'을 다시 한번 학습해 보십시오.

광합성산물 이용 사례를 소개하는 소책자 만들기

식물은 광합성을 통해 사람을 비롯한 많은 생물에게
유기물과 산소를 공급한다. 광합성산물 중 유기물
은 식량, 의복, 건축 자재 등 여러 분야에서
다양하게 이용된다. 광합성을 통해 빛
에너지를 화학 에너지로 전환하여
합성된 유기물이 우리 생활에 다양
하게 이용되는 사례를 알아보자.



1
고안하기

- 모둠별로 광합성산물인 유기물이 우리 생활에 이용되는 사례를 어떻게
조사할지 정해 보자.
- 광합성산물의 이용 사례를 소개하는 소책자를 만들 방법을 정하고, 모듬원의 역할을 나누어
보자.

2
수행하기

- 광합성산물의 이용 사례와 관련된 자료를 조사해 보자.
- 광합성산물의 이용 사례를 소개하는 소책자를 만들어
보자.



3
소통하기

- 소책자를 전시해 보자.
- 다음 표를 활용하여 우리 모듬과 다른 모듬에서 만든 소책자를 평가해 보자.

평가 내용	우수	보통	미흡
지식·이해 광합성산물이 우리 생활에 다양하게 이용되는 사례 를 설명했는가?			
과정·기능 광합성산물이 우리 생활에 이용되는 사례를 소개 하는 소책자를 이해하기 쉽게 만들었는가?			
가치·태도 광합성산물이 우리 생활에 이용되는 사례를 조사 하면서 자연의 소중함을 느꼈는가?			

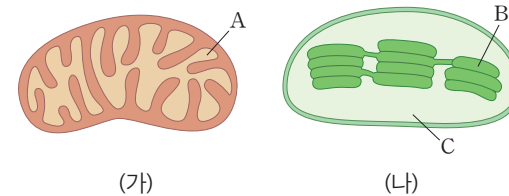
대단원 마무리

Ⅲ. 세포호흡과 광합성

137 쪽에서 정답을 확인할 수 있어요.

1. 세포호흡 84 쪽, 2. 광합성 104 쪽

- 01 그림 (가)는 미토콘드리아를, (나)는 엽록체를 나타
낸 것이다. A~C는 미토콘드리아 바탕질, 스트로마,
타이코이드 내부를 순서 없이 나타낸 것이다.



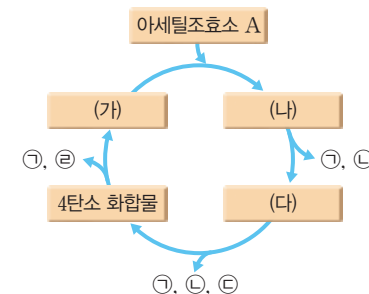
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로
고른 것은?

- [보기]
- ㄱ. A와 B에 모두 라이보솜이 있다.
 - ㄴ. C에서 캘빈회로가 진행된다.
 - ㄷ. (가)와 (나)에서 모두 화학삼투에 의한 인산화
반응이 일어난다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

1. 세포호흡 84 쪽

- 02 그림은 TCA 회로의 일부를 나타낸 것이다. (가)~(다)
는 5탄소 화합물, 시트르산, 옥살아세트산을 순서
없이 나타낸 것이고, ㉠~㉣은 ATP, CO₂, FADH₂,
NADH를 순서 없이 나타낸 것이다.



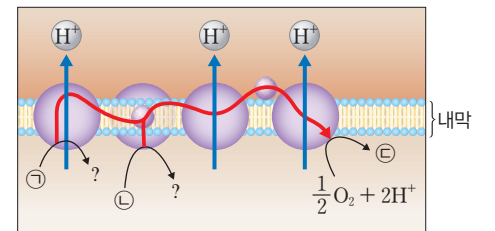
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로
고른 것은?

- [보기]
- ㄱ. (가)는 옥살아세트산이다.
 - ㄴ. ㉢은 CO₂이다.
 - ㄷ. 1 분자당 탄소 수는 (다)가 (나)보다 적다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

1. 세포호흡 84 쪽

- 03 그림은 전자 전달이 일어나고 있는 미토콘드리아
내막의 전자전달계를 나타낸 것이다. ㉠~㉣은 H₂O,
FADH₂, NADH를 순서 없이 나타낸 것이다.



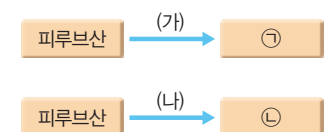
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로
고른 것은?

- [보기]
- ㄱ. 피루브산이 아세틸조효소 A로 되는 과정에서
㉠이 생성된다.
 - ㄴ. ㉢은 H₂O이다.
 - ㄷ. 전자 전달이 활발하게 일어나면 내막을 경계로
H⁺의 농도 기울기가 형성된다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

1. 세포호흡 84 쪽

- 04 그림은 발효에서 피루브산이 물질 ㉠과 ㉡으로 전환
되는 과정 (가)와 (나)를 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡은 에탄
올과 젖산을 순서 없이 나타낸 것이며, 1 분자당 탄소
수는 ㉡이 ㉠보다 많다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로
고른 것은?

- [보기]
- ㄱ. ㉠은 에탄올이다.
 - ㄴ. (가)는 사람의 근육세포에서도 일어난다.
 - ㄷ. (가)와 (나)에서 모두 산화환원반응이 일어난다.

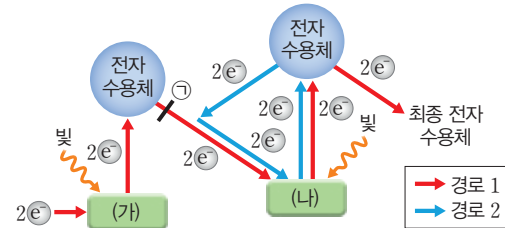
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

과학 역량 기르기

2. 광합성 104 쪽

1. 세포호흡 84 쪽

- 05 그림은 광합성의 명반응에서 전자가 전달되는 경로를 나타낸 것이다. (가)와 (나)는 광계 I과 광계 II를 순서 없이 나타낸 것이며, 물질 X는 ㉠에서 전자 전달을 차단하여 광합성을 억제한다.



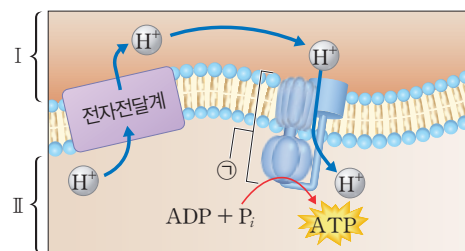
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- ㉠. (가)의 반응중심색소는 P₇₀₀이다.
 ㉡. 경로 1에서 최종 전자수용체는 NADP⁺이다.
 ㉢. 타이라코이드 내부의 pH는 X를 처리한 뒤가 처리하기 전보다 높다.

- ① ㉠ ② ㉡ ③ ㉠, ㉡
 ④ ㉡, ㉢ ⑤ ㉠, ㉡, ㉢

2. 광합성 104 쪽

- 06 그림은 식물세포의 엽록체와 미토콘드리아에서 일어나는 인산화반응의 일부를 나타낸 것이다.

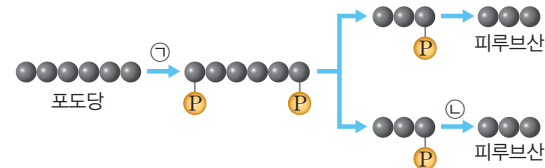


이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- ㉠. ㉠은 ATP 합성효소이다.
 ㉡. 미토콘드리아에서 I은 막사이공간이다.
 ㉢. 엽록체에서 II에서 I로 H⁺이 이동하는 방식은 촉진확산이다.

- ① ㉠ ② ㉡ ③ ㉠, ㉡ ④ ㉠, ㉢ ⑤ ㉡, ㉢

- 07 그림은 세포호흡에서 포도당 1 분자가 피루브산 2 분자로 분해되는 과정을 나타낸 것이다.



㉠ 과정과 ㉡ 과정의 차이점을 ATP와 관련지어 설명해 보자.

1. 세포호흡 84 쪽

- 08 표는 피루브산의 산화 및 TCA 회로에서 물질 전환 과정 (가)~(다)를 나타낸 것이다.

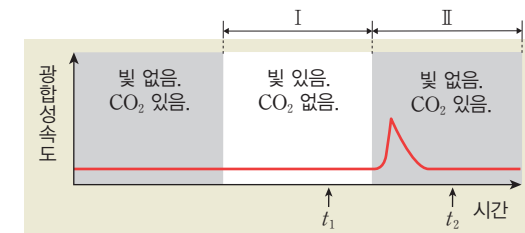
구분	물질 전환 과정
(가)	피루브산 → 아세틸조효소 A
(나)	5탄소 화합물 → 옥살아세트산
(다)	시트르산 → 5탄소 화합물

- (1) (가)~(다) 중 기질수준인산화가 일어나는 과정을 모두 써 보자.

- (2) (가)~(다)의 공통점을 생성되는 물질의 종류와 관련지어 설명해 보자.

2. 광합성 104 쪽

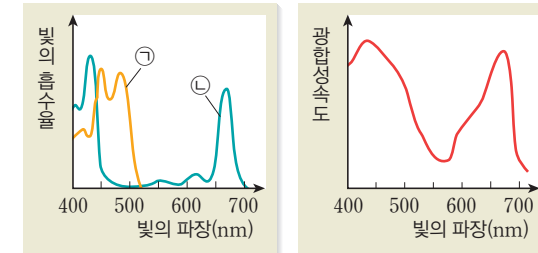
- 09 그림은 어떤 식물에서 빛과 CO₂의 조건을 달리했을 때 시간에 따른 광합성속도를 나타낸 것이다.



t₁일 때와 t₂일 때 스트로마에서의 ATP 농도를 비교하고, 그렇게 판단한 까닭을 설명해 보자.

2. 광합성 104 쪽

- 10 그림 (가)는 어떤 식물에서 광합성색소의 흡수스펙트럼을, (나)는 이 식물의 작용스펙트럼을 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡은 엽록소 a와 카로티노이드를 순서 없이 나타낸 것이다.



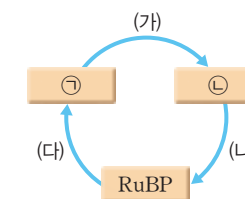
(가) (나)

- (1) ㉠과 ㉡ 중 광계의 반응중심색소를 구성하는 것은 어느 것인지 써 보자.

- (2) 이 식물에 빛과 이산화 탄소가 충분히 공급될 때, 파장이 450 nm인 빛에서와 파장이 550 nm인 빛에서의 단위 시간당 산소 생성량을 비교하여 설명해 보자.

2. 광합성 104 쪽

- 11 그림은 캘빈회로에서 물질 전환 과정의 일부를 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡은 PGAL과 3PG를 순서 없이 나타낸 것이다.



- (1) ㉠과 ㉡이 무엇인지 각각 써 보자.

- (2) (가)~(다) 중 NADPH가 이용되는 단계를 모두 써 보자.

- (3) 식물의 잎에 이산화 탄소의 공급을 차단하면 RuBP의 농도는 어떻게 변화할지 그 까닭과 함께 설명해 보자.

과학 글쓰기

- [12~13] 다음은 알코올발효에 대한 실험이다. 물음에 답해 보자.

(가) 알코올발효에 필요한 주효소, 조효소, ADP와 무기인산(P_i)이 모두 들어 있는 시험관 ㉠~㉢에 각각 표와 같이 물질을 첨가한 다음, 시험관 ㉠~㉢을 밀폐하여 산소가 없는 조건으로 만든다.

시험관	첨가한 물질의 양(상댓값)		
	포도당	과당 2인산	ATP
㉠	1	0	0
㉡	1	0	2
㉢	0	2	2
㉣	1	1	0

(나) 반응이 끝난 뒤 ㉠~㉣에서 생성된 에탄올의 총량은 다음과 같다.

시험관	생성된 에탄올의 총량(상댓값)
㉠	0
㉡	1
㉢	2
㉣	2

- 12 ㉠에서 에탄올이 생성되지 않은 까닭을 설명해 보자.

.....

.....

.....

- 13 반응이 끝난 뒤 ㉣에서 생성된 에탄올의 총량이 ㉢에서와 같은 까닭을 설명해 보자.

.....

.....

.....

이 단원의 활동 결과물을 모아 나만의 포트폴리오를 완성해 보자.