

III

세포호흡과 광합성

세포호흡과 광합성은 어떤 과정을 거쳐 일어날까?

이 단원에서는 세포호흡 과정의 단계별 특징을 이해하고, 산소호흡과 발효의 공통점과 차이점을 알아보자. 또 광합성의 명반응과 탄소 고정반응의 특징을 이해하고, 광합성과 세포호흡의 전자전달계를 비교해 보자.



이 단원의 핵심
아이디어

1 세포호흡

세포는 유기물을 분해하는 세포호흡을 통해 생명활동에 필요한 에너지를 얻는다.

2 광합성

광합성을 통해 빛에너지를 화학 에너지로 전환하여 유기물을 합성하고, 이 유기물은 우리 생활에 다양하게 이용된다.

단원 연계

중학교 과학

- 생물의 구성과 다양성
- 식물과 에너지
- 동물과 에너지

통합과학1

- 시스템과 상호작용

생명과과학

- 생명 시스템의 구성

세포와 물질대사

1. 세포호흡
2. 광합성

포트폴리오

이 단원을 학습하면서 나만의 포트폴리오를 만들어 보자.

- 118 쪽 광합성 관련 과학사 연대표 만들기
- 124 쪽 광합성산물 이용 사례를 소개하는 소책자 만들기

1

세포호흡

01 미토콘드리아의 구조와 기능

02 세포호흡 과정

03 발효

우리는 하루 동안 여러 가지 생명활동을 하며, 생명활동에는 에너지가 필요하다.

들어다보기 우리 몸의 세포는 생명활동에 필요한 에너지를 어떻게 얻을까?

생각해 보기 생명활동에 필요한 에너지를 얻으려면 무엇이 필요할까?



학습할 내용을 알아보고,
스스로 학습 계획을 세워 봅시다.

이전
학습 내용

알고 있는 단어에 ✓ 표 해 보자.

☐ 미토콘드리아 ☐ 세포호흡 ☐ 효소 ☐ 이화작용

지식·이해

- 미토콘드리아의 구조와 기능을 이해하고, 세포호흡 과정의 단계별 특징을 설명할 수 있다.
- 기질수준인산화와 산화적 인산화를 구분하여 설명할 수 있다.
- 산소호흡과 발효의 공통점과 차이점을 설명할 수 있다.

과정·기능

- 생명체 내에서의 미토콘드리아의 기능을 추론할 수 있다.
- 발효 실험을 설계하여 수행하고, 발효 이용 사례에 대한 조사 계획을 세워 조사할 수 있다.

가치·태도

- 세포호흡 과정의 단계별 특징을 정리할 때 과학적으로 사고할 수 있다.
- 발효를 이용한 사례를 조사하는 과정에서 과학 이론의 유용성을 인식할 수 있다.

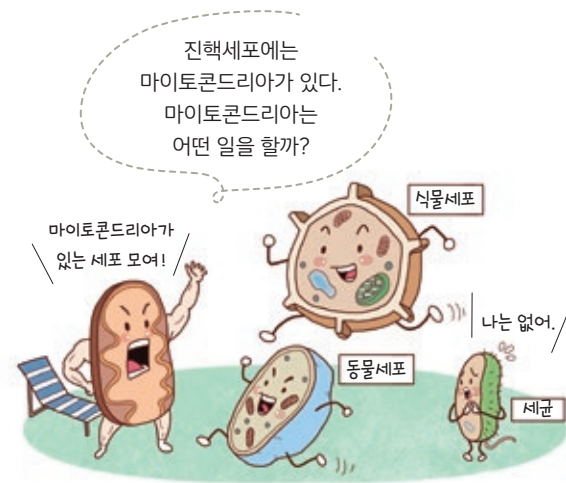
나의
학습 계획

나는 이 단원에서 _____ 을/를 알고 싶다.

01 미토콘드리아의 구조와 기능

| 학습 목표 |

- ☐ 미토콘드리아의 구조를 설명할 수 있다.
- ☐ 생명체 내에서의 미토콘드리아의 기능을 설명할 수 있다.



미토콘드리아에서는 유기물을 분해하여 생명활동에 필요한 에너지를 얻는 세포호흡이 일어난다. 미토콘드리아는 그림 Ⅲ-1과 같이 외막과 내막의 이중막으로 둘러싸여 있으며, 내막에 의해 막사이공간과 바탕질로 구분된다. 내막은 안쪽으로 접혀 들어가 주름진 구조인 크리스타를 형성하며, 내막 안쪽이 바탕질이다. 미토콘드리아의 내막에는 전자를 전달하는 데 필요한 효소, ATP 합성효소 등이 있고, 바탕질에는 유기물 분해에 필요한 여러 가지 효소, DNA, 라이보솜 등이 있다.

미토콘드리아의 구조와 기능은 중학교 『과학』의 '생물의 구성과 다양성' 단원과 연계된다.

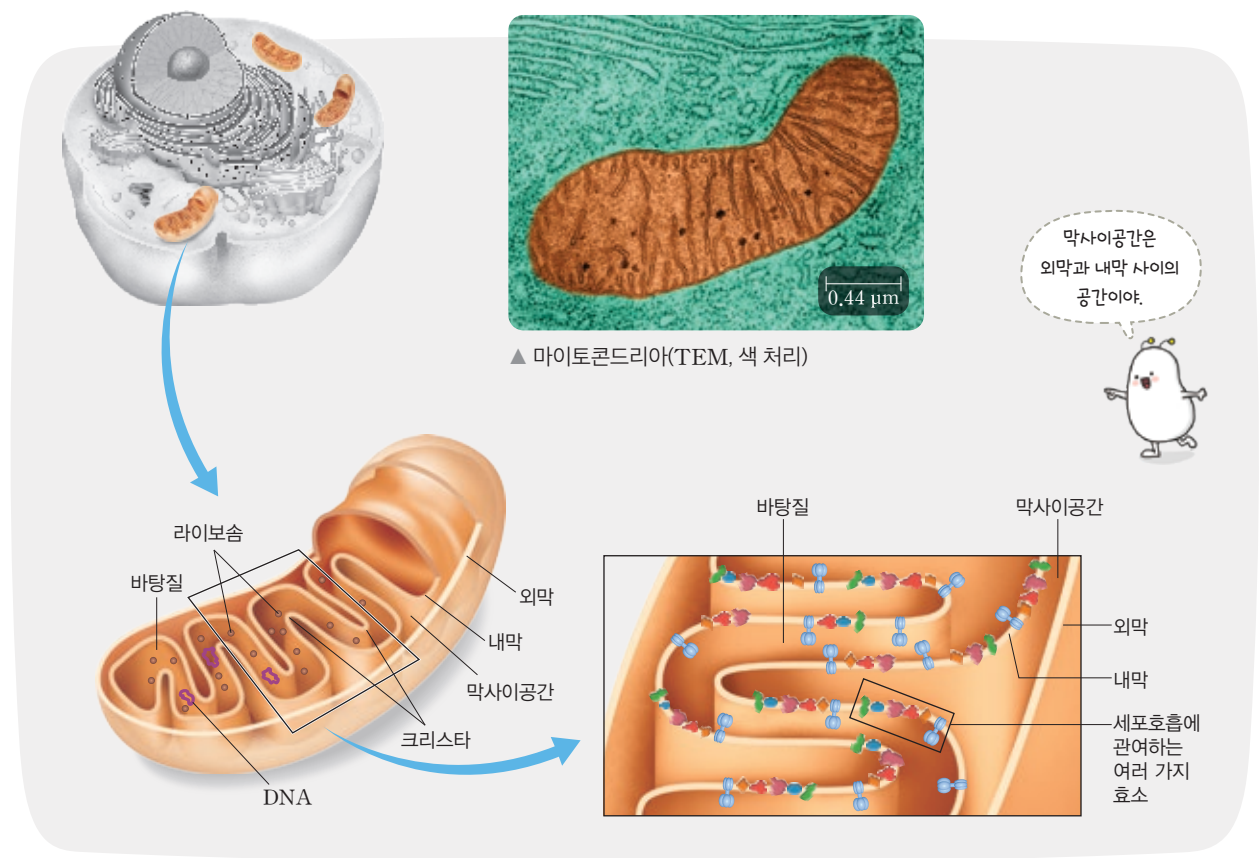


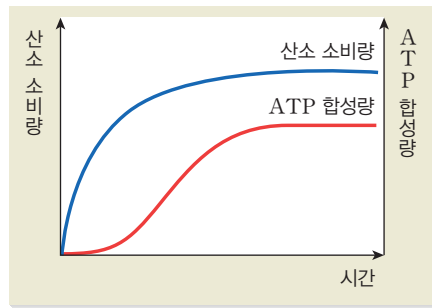
그림 Ⅲ-1 미토콘드리아의 구조

마이토콘드리아는 세포호흡이 활발하게 일어나는 세포에 많이 들어 있다. 다음 해 보기에서 마이토콘드리아의 기능을 알아보자.

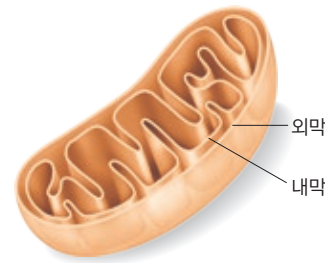
해보기

마이토콘드리아의 기능 추론하기

그림 (가)는 세포호흡에 필요한 유기물, ADP, 무기인산(P_i), 마이토콘드리아가 들어 있는 용액에 산소를 첨가했을 때 시간에 따른 산소 소비량과 ATP 합성량을, (나)는 마이토콘드리아의 구조를 나타낸 것이다.



(가)



(나)

1. (가)를 참고하여 생명체 내에서의 마이토콘드리아의 기능을 추론해 보자.
2. (나)에서 마이토콘드리아 내막의 주름진 구조가 마이토콘드리아의 기능에 어떤 도움이 되는지 설명해 보자.

마이토콘드리아에서는 유기물에 저장된 화학 에너지의 일부가 ATP의 화학 에너지로 전환되며, 이때 산소가 소비된다. 마이토콘드리아의 바탕질과 내막에는 에너지전환에 관여하는 효소가 있으며, 내막의 주름진 구조는 표면적을 넓혀 에너지전환이 효율적으로 일어나게 한다.

스스로 확인하기

- 1 마이토콘드리아 내막은 안쪽으로 접혀 들어가 주름진 구조인 ()을/를 형성한다.
- 2 마이토콘드리아에서는 유기물의 화학 에너지가 ()의 화학 에너지로 전환된다.
- 3 | 과학 역량 기르기 | 우리 몸의 근육세포에는 지방세포에 비해 마이토콘드리아가 많이 들어 있다. 그 까닭을 마이토콘드리아의 기능과 관련지어 설명해 보자.

단원을 마치기 전에

학습 목표를 달성했는지 85 쪽 학습 목표에 ✓ 표 하여 스스로 점검해 보자.

02 세포호흡 과정

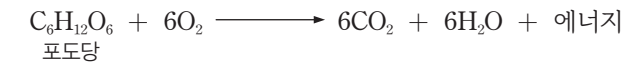
학습 목표

- 세포호흡 과정의 단계별 특징을 설명할 수 있다.
- 세포호흡 과정에서의 인산화반응을 기질수준인산화와 산화적 인산화로 구분하여 설명할 수 있다.



세포호흡의 전체 과정

세포호흡은 포도당 같은 유기물을 분해하여 생명활동에 필요한 에너지를 얻는 과정이다.



세포호흡에서는 포도당이 산화되어 이산화 탄소가 되고, 산소가 환원되어 물이 된다. 이 과정에서 방출된 에너지의 일부는 ATP의 화학 에너지로 전환되어 저장 되고, 나머지는 열로 방출된다.

세포호흡 과정은 그림 Ⅲ-2와 같이 해당, 피루브산의 산화 및 TCA 회로, 산화적 인산화로 구분한다. 세포호흡 과정의 각 단계에서는 산화환원반응이 일어나고 ATP가 생성된다. 세포호흡은 효소에 의해 조절되는 일련의 화학 반응으로 온도, pH 등의 영향을 받는다.

세포호흡 과정은 중학교 『과학』의 '식물과 에너지', '동물과 에너지', 『통합과학1』의 '시스템과 상호작용', 『생명과학』의 '생명 시스템의 구성' 단원과 연계된다.

생명과학 화학

산화환원반응

화학 반응에서 물질이 전자(e^-) 또는 수소를 방출하는 과정은 산화반응, 물질이 전자(e^-) 또는 수소를 얻는 과정은 환원반응이다. 산화반응과 환원반응은 동시에 일어난다.

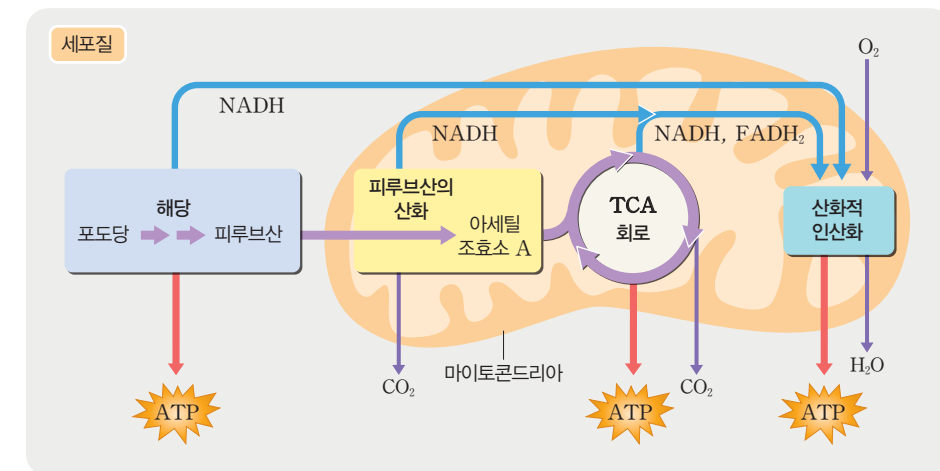


그림 Ⅲ-2 세포호흡의 전체 과정 세포호흡 과정은 세포질에서 일어나는 해당, 마이토콘드리아 바탕질에서 일어나는 피루브산의 산화 및 TCA 회로, 마이토콘드리아 내막에서 일어나는 산화적 인산화로 구분한다.

해당, 해당 과정을 검색하여 해당이 어떤 과정을 뜻하는지 찾아보자.

해당

해당은 그림 Ⅲ-3과 같이 세포질에서 포도당 1분자가 여러 단계의 화학 반응을 거쳐 피루브산 2분자로 분해되는 과정이며, 포도당으로부터 에너지를 얻는 모든 원핵세포와 진핵세포에서 일어난다.

해당에서는 먼저 포도당 1분자가 과당 2인산 1분자로 활성화되며, 이때 ATP 2분자가 소모된다. 과당 2인산 1분자는 피루브산 2분자로 분해되는데, 이 과정에서 탈수소효소의 작용으로 H^+ 과 고에너지 전자가 방출되며, 방출된 H^+ 과 고에너지 전자를 탈수소효소의 조효소인 NAD^+ 가 받아 $NADH$ 로 환원된다. 또 이 과정에서 ATP 4분자가 생성되므로 포도당 1분자가 해당을 거치면 ATP 2분자가 순생성된다.

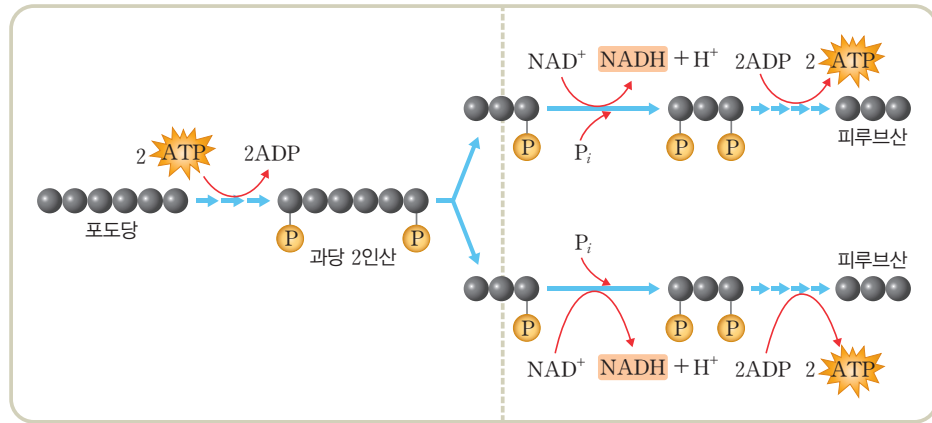


그림 Ⅲ-3 해당 해당은 ATP가 소모되는 단계와 ATP가 생성되는 단계로 구분할 수 있다.

인산화반응

물질에 인산기가 결합하는 과정을 인산화반응이라고 한다. ATP가 합성되는 과정은 인산화반응의 예이다.

해당에서 과당 2인산이 피루브산으로 분해될 때 기질수준인산화로 ATP가 합성된다. 기질수준인산화는 그림 Ⅲ-4와 같이 기질에 결합해 있던 인산기가 효소의 작용으로 ADP로 전달되어 ATP가 합성되는 과정이다.

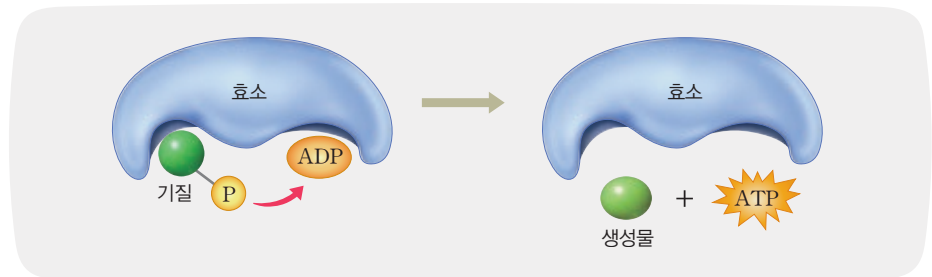


그림 Ⅲ-4 기질수준인산화

해당에서는 산소가 사용되지 않으므로 해당은 산소가 없어도 일어난다. 또 포도당 1분자를 이루던 모든 탄소가 피루브산 2분자를 이루는 탄소로 전환되기 때문에 해당에서는 이산화 탄소가 방출되지 않는다.

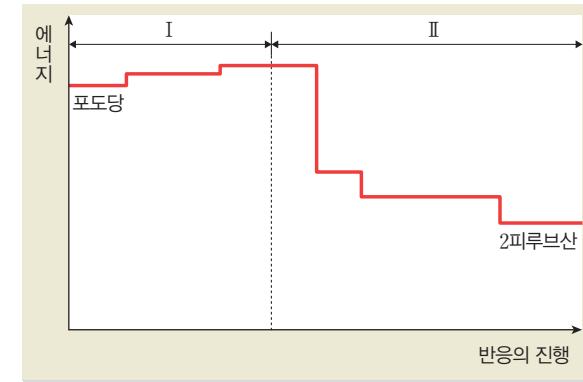
해당에서는 포도당의 분해로 방출된 화학 에너지의 일부가 $NADH$ 와 ATP 에 저장된다. 다음 해 보기에서 해당에서 일어나는 에너지 변화를 알아보자.

해보기

탐구 능력 | 문제 해결 능력

해당에서의 에너지 변화 알아보기

그림은 포도당 1분자가 피루브산 2분자로 분해되는 과정에서 일어나는 에너지 변화를 나타낸 것이다.



- I과 II중 ATP를 소모하는 구간을 쓰고, 그렇게 판단한 까닭을 설명해 보자.
- I과 II중 탈수소효소가 작용하여 $NADH$ 가 생성되는 구간을 써 보자.

포도당 1분자가 해당을 거치면 피루브산 2분자, ATP 2분자, $NADH$ 2분자가 생성된다. 해당을 거친 뒤에도 포도당에 저장되어 있던 화학 에너지 중 많은 양이 피루브산에 남아 있다.

자료실 탈수소효소의 조효소

탈수소효소는 기질에서 H^+ 과 전자(e^-)를 떼어 내 기질을 산화하는 반응을 촉매하는 효소이며, 탈수소효소의 조효소에는 NAD^+ , FAD , $NADP^+$ 등이 있다. NAD^+ 는 세포질과 미토콘드리아의 바탕질에서, FAD 는 미토콘드리아의 바탕질에서, $NADP^+$ 는 엽록체의 스트로마에서 전자를 운반하는 역할을 한다. NAD^+ , FAD , $NADP^+$ 는 기질에서 떨어져 나온 H^+ 과 전자(e^-)를 받아 각각 $NADH$, $FADH_2$, $NADPH$ 로 환원된다.

- $NAD^+ + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow NADH + H^+$
- $FAD + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow FADH_2$
- $NADP^+ + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow NADPH + H^+$

탈수소효소의 조효소는 전자(e^-)를 운반하는 역할을 해.



TCA 회로(tricarboxylic acid cycle)의 특징

TCA 회로는 초기 생성 물질인 시트르산이 3 개의 카복실기(-COOH)를 가지기 때문에 붙여진 이름으로, 크레브스회로라고도 한다.

피루브산의 산화 및 TCA 회로

해당에서 생성된 피루브산은 산소가 있을 때 **그림 Ⅲ-5**와 같이 미토콘드리아 바탕질로 들어가 탈수소효소 복합체의 작용에 의해 아세틸조효소 A로 산화된다. 이 과정에서 탈탄산 반응이 일어나 이산화 탄소가 방출되고, 조효소 A가 첨가된다. 또 탈수소 반응이 일어나 H^+ 과 고에너지 전자가 방출되며, 방출된 H^+ 과 고에너지 전자를 NAD^+ 가 받아 $NADH$ 로 환원된다.

아세틸조효소 A는 옥살아세트산과 결합하여 시트르산이 되고, 시트르산은 여러 화학 반응을 거쳐 다시 옥살아세트산으로 되는 과정이 반복되는데, 이를 **TCA 회로**라고 한다.

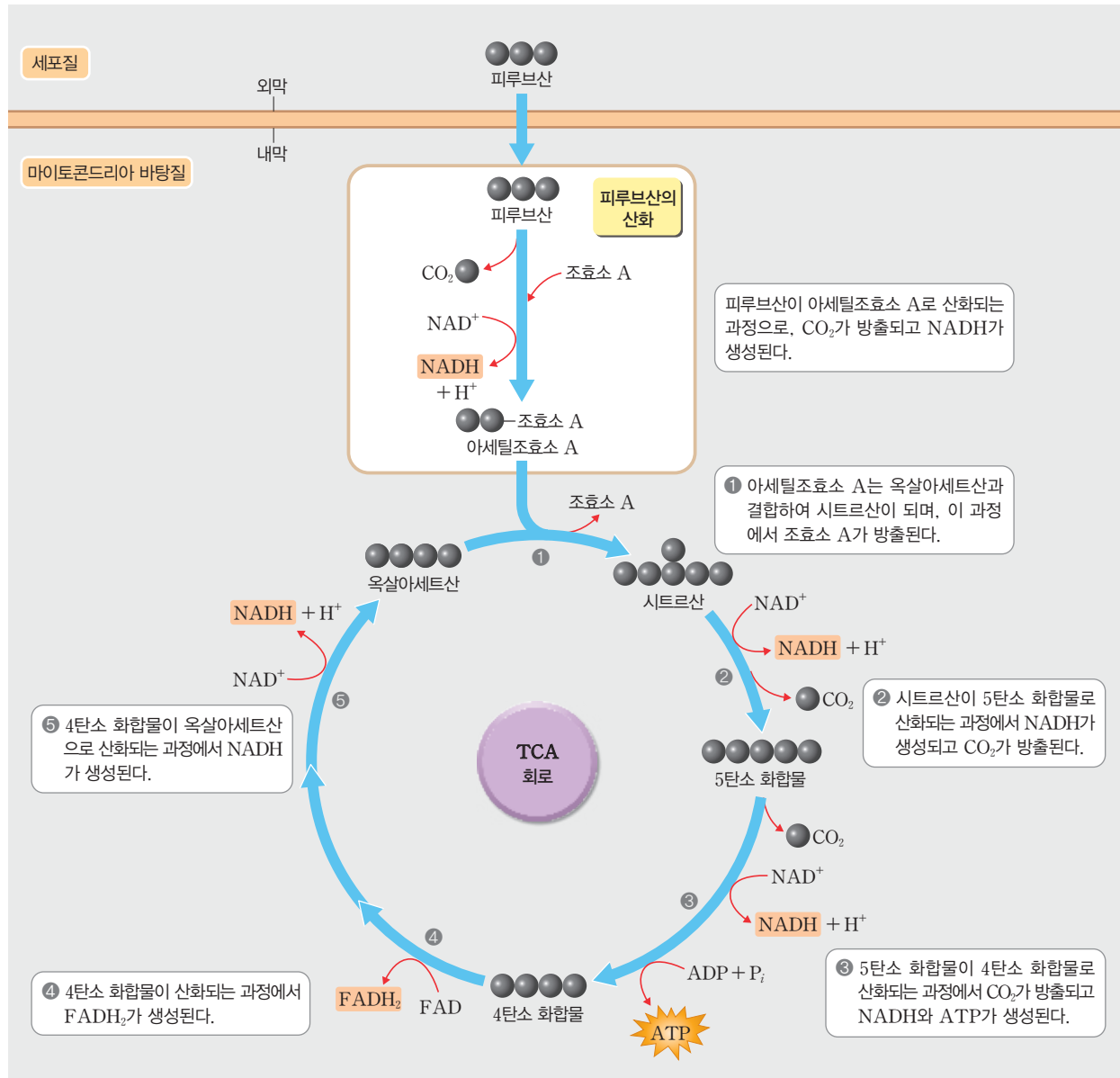
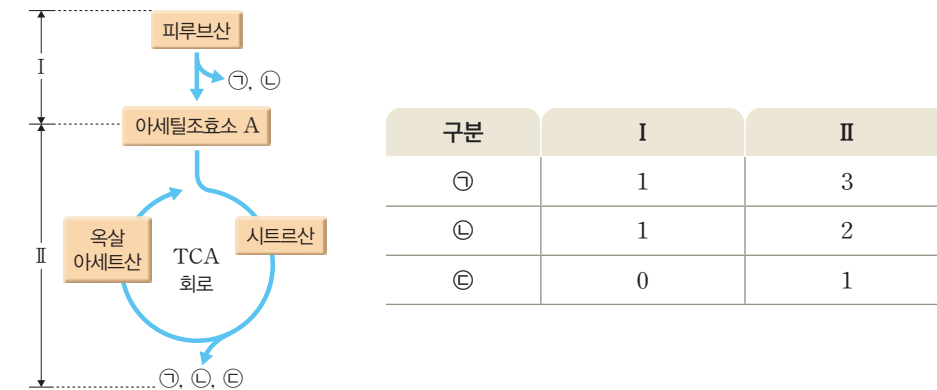


그림 Ⅲ-5 피루브산의 산화 및 TCA 회로

해보기

피루브산의 산화 및 TCA 회로의 반응 정리하기

그림은 세포에서 피루브산 1 분자가 산화되는 과정을, 표는 그림의 과정 I과 II에서 생성되는 ㉠~㉣의 분자 수를 각각 나타낸 것이다. ㉠~㉣은 이산화 탄소, $FADH_2$, $NADH$ 를 순서 없이 나타낸 것이다.



- ㉠~㉣이 무엇인지 각각 써 보자.
- I과 II 중 기질수준인산화가 일어나는 과정을 써 보자.
- TCA 회로에서 시트르산이 옥살아세트산으로 되는 과정에서 1 분자당 탄소 수는 어떻게 변하는지 설명해 보자.

미토콘드리아 바탕질에서 피루브산이 아세틸조효소 A로 산화되는 과정과 TCA 회로가 진행된 결과 피루브산 1 분자의 분해로 이산화 탄소 3 분자, ATP 1 분자, $NADH$ 4 분자, $FADH_2$ 1 분자가 생성된다.

크레브스
(Krebs, H. A., 1900~1981)
영국의 과학자. TCA 회로를 밝힌 공로로 1953 년에 노벨상을 받았다.

산화적 인산화

세포호흡 과정의 마지막 단계인 **산화적 인산화**는 그림 Ⅲ-6과 같이 NADH와 FADH_2 에 저장된 에너지를 이용하여 ATP를 합성하는 과정이며, 미토콘드리아 내막에 있는 전자전달계와 ATP 합성효소에 의해 일어난다.

해당, 피루브산의 산화 및 TCA 회로에서 생성된 NADH와 FADH_2 는 전자전달계에 고에너지 전자를 전달하고, 각각 NAD^+ 와 FAD로 산화된다. 전자는 전자전달계를 거치면서 에너지를 단계적으로 방출하고, 최종적으로 산소에 전달된다. 전자를 받은 산소는 H^+ 과 결합하여 물을 생성한다.

일부 전자전달효소 복합체는 전자전달계에서 전자가 전달될 때 방출된 에너지를 이용하여 미토콘드리아 바탕질에 있는 H^+ 을 막사이공간으로 능동수송한다. H^+ 의 능동수송으로 막사이공간의 H^+ 농도가 바탕질보다 높아져 미토콘드리아 내막을 경계로 H^+ 의 농도 기울기가 형성된다. 그 결과 H^+ 이 농도가 높은 쪽에서 농도가 낮은 쪽으로 확산하는 **화학삼투**가 일어난다. 화학삼투에 의해 H^+ 이 ATP 합성효소를 통과할 때 ATP가 합성된다.

전자전달계의 특징

전자전달계는 전자전달효소 복합체와 전자를 운반하는 전자운반체로 이루어져 있으며, 일련의 연속적인 산화환원반응이 일어나면서 에너지가 방출된다.

오개념 바로잡기

미토콘드리아 내막을 통한 H^+ 의 이동은 모두 능동수송일까?

전자전달계에서는 H^+ 이 능동수송에 의해 이동한다. 그러나 H^+ 이 ATP 합성효소를 통해 이동하는 것은 H^+ 의 농도 기울기에 의한 촉진확산이다.

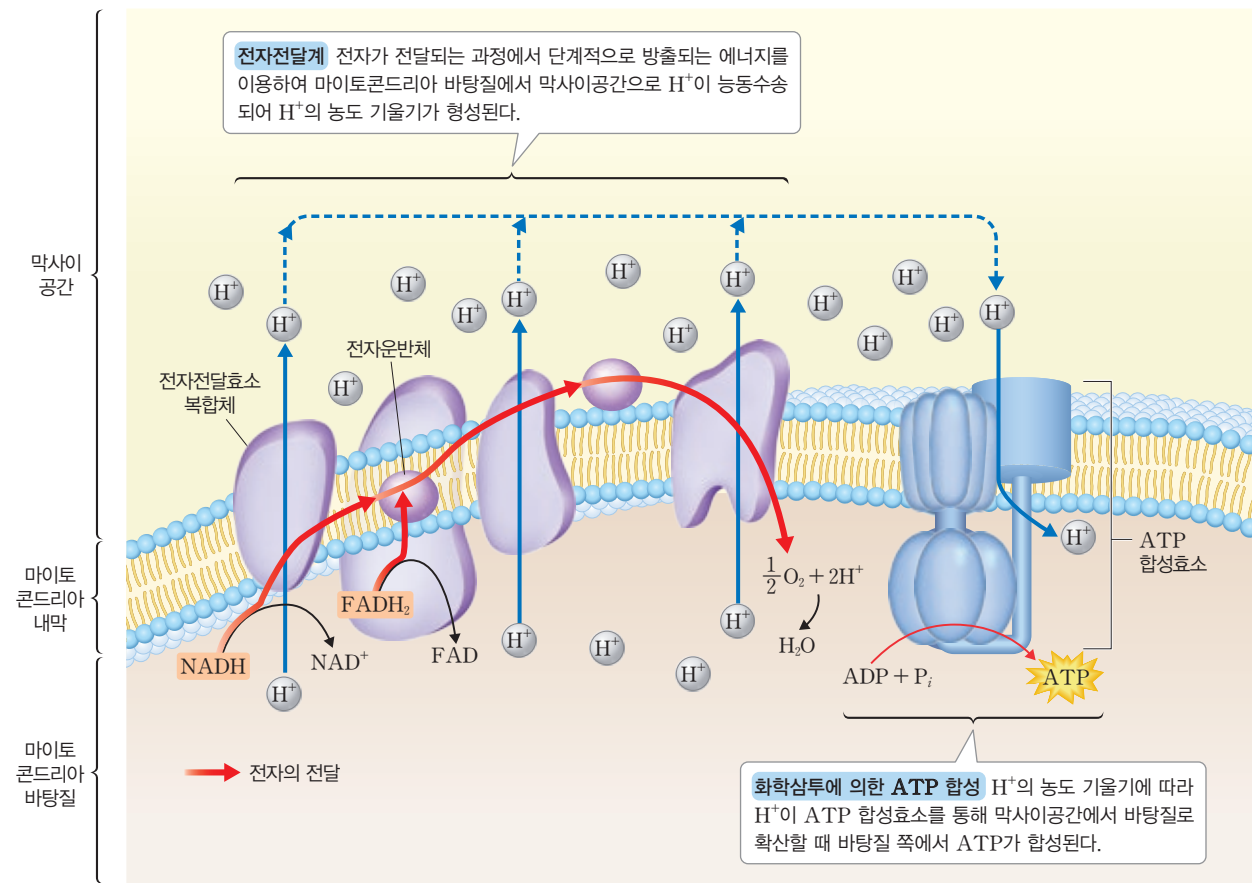


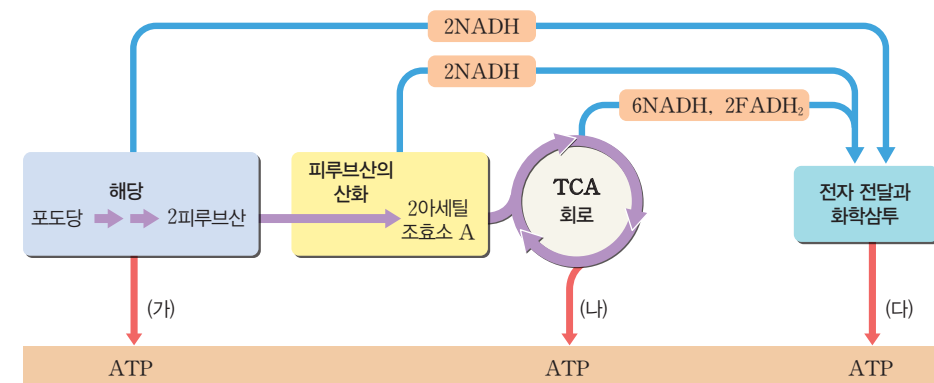
그림 Ⅲ-6 **산화적 인산화** 산화적 인산화는 미토콘드리아 내막에 있는 전자전달계와 화학삼투가 연결되어 일어나는 ATP 합성 과정이다.

해보기

탐구 능력 | 문제 해결 능력

세포호흡 과정에서의 인산화반응 비교하기

그림은 세포호흡으로 포도당 1분자가 분해될 때 ATP가 생성되는 과정을 나타낸 것이다. (가)~(다)는 각각 기질수준인산화와 산화적 인산화 중 하나이며, 산화적 인산화에서 NADH 1분자가 산화되면 약 2.5 분자의 ATP가, FADH_2 1분자가 산화되면 약 1.5 분자의 ATP가 생성된다.



- (가)~(다)는 각각 어느 인산화반응에 해당하는지 써 보자.
- (가)와 (나)에서 각각 생성되는 ATP의 분자 수를 써 보자.
- (다)에서 생성되는 ATP의 분자 수를 계산하여 써 보자.
- 산화적 인산화가 기질수준인산화와 같은 점과 다른 점을 각각 설명해 보자.

포도당 1분자가 분해되는 과정에서 기질수준인산화로 4 분자의 ATP가 생성된다. 그리고 포도당 1분자가 해당과 피루브산의 산화 및 TCA 회로를 거치면 NADH 10 분자와 FADH_2 2 분자가 생성되므로 산화적 인산화로 최대 28 분자의 ATP가 생성된다. 따라서 포도당 1분자가 세포호흡에 이용되면 최대 32 분자의 ATP가 생성된다.

참고사고 식물에서 추출한 살충제인 로테논은 미토콘드리아의 전자전달계를 통한 전자의 전달을 방해한다. 로테논을 살충제로 사용할 수 있는 까닭을 설명해 보자.



다음 탐구에서 세포호흡 과정의 단계별 특징을 정리해 보자.

탐구

● 결론 도출, 협력적 소통

세포호흡 과정의 단계별 특징 정리하기

목표 세포호흡 과정의 단계별 특징을 정리하여 발표할 수 있다.

과정 및 결과

1. 모둠별로 세포호흡 과정의 단계별 특징을 정리해 보자.

세포호흡 과정의 단계	일어나는 장소	특징
해당		- 포도당 1 분자가 피루브산 2 분자로 분해된다.
피루브산의 산화 및 TCA 회로		- 피루브산으로부터 이산화 탄소가 방출되는 탈탄산 반응이 일어난다.
산화적 인산화		- 전자전달계와 ATP 합성효소가 관여한다.

2. 1에서 정리한 내용으로 발표 자료를 만들 때 어떤 매체를 활용할지 정해 보자.

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

3. 세포호흡 과정의 단계별 특징을 정리한 자료를 만들어 발표해 보자.

정리

- 세포호흡 과정의 세 단계를 비교해 보고, 공통점을 설명해 보자.



Q 탐구 능력 | 문제 해결 능력

탐구 유의 사항
발표할 때에는 내용을 이해하기 쉽게 설명한다.



스스로 평가하기

| 지식·이해 | 세포호흡 과정의 단계별 특징을 설명했는가? ☆☆☆

| 과정·기능 | 발표 자료를 만들 때 협력적으로 소통했는가? ☆☆☆

| 가치·태도 | 세포호흡 과정의 단계별 특징을 정리할 때 과학적으로 사고했는가? ☆☆☆

호흡기질에 따른 세포호흡 경로

탄수화물, 단백질, 지방과 같이 세포호흡에 이용되는 유기물을 호흡기질이라고 하며, 주로 탄수화물이 호흡기질로 이용된다. 탄수화물 중 다당류, 이당류는 포도당 같은 단당류로 분해되어 세포호흡의 경로로 들어가 산화된다.

단백질은 아미노산으로 분해되어 세포호흡에 이용된다. 아미노산이 호흡기질로 이용될 때에는 탈아미노작용으로 아미노기(—NH₂)가 제거된 뒤 피루브산, 아세틸 조효소 A, TCA 회로의 중간 산물 등으로 전환되어 세포호흡의 경로로 들어가 산화된다.

지방은 글리세롤과 지방산으로 분해되어 세포호흡에 이용된다. 글리세롤은 해당의 중간 산물로 전환된 뒤 해당과 TCA 회로를 거쳐 산화되며, 지방산은 아세틸 조효소 A로 전환된 뒤 TCA 회로를 거쳐 산화된다.

아미노산에서 제거된 아미노기(—NH₂)는 암모니아로 전환된 뒤 간에서 독성이 약한 요소로 합성되기도 해.

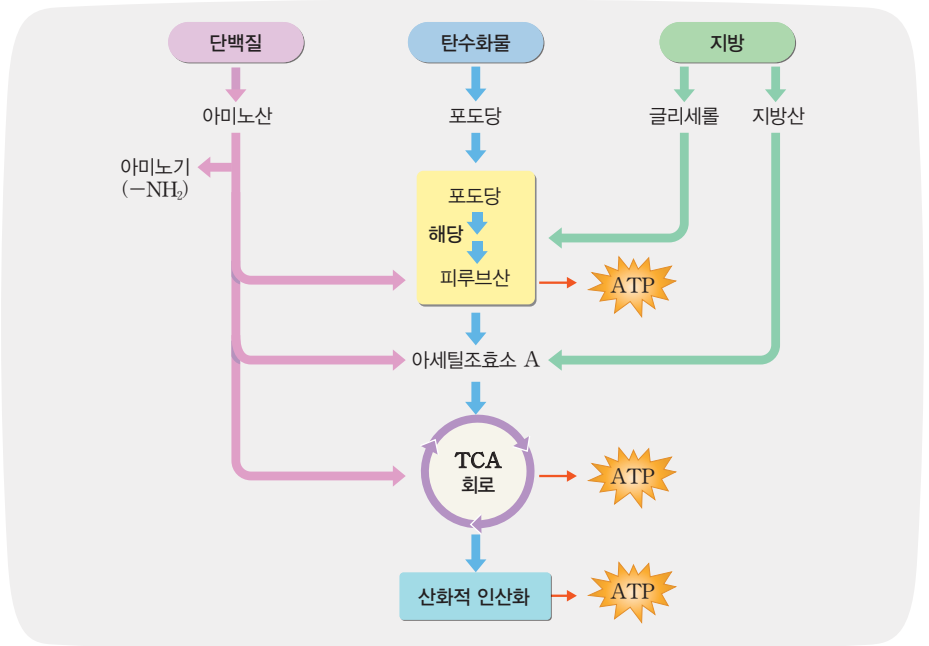


그림 Ⅲ-7 호흡기질이 세포호흡에 이용되는 경로

스스로 확인하기

- 1 피루브산 1 분자가 피루브산의 산화 및 TCA 회로를 거쳐 분해되면 NADH () 분자, FADH₂ () 분자, 이산화 탄소 () 분자가 생성된다.
- 2 세포호흡 과정의 세 단계 중 NADH와 FADH₂에 저장된 에너지를 이용하여 ATP를 합성하는 과정을 무엇이라고 하는지 써 보자.
- 3 | 과학 역량 기르기 | 미토콘드리아의 전자전달계에 전달된 고에너지 전자가 산소와 결합하기까지 여러 단계의 산화환원반응을 거친다. 이에 따른 이점은 무엇인지 설명해 보자.

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

03 발효

| 학습 목표 |

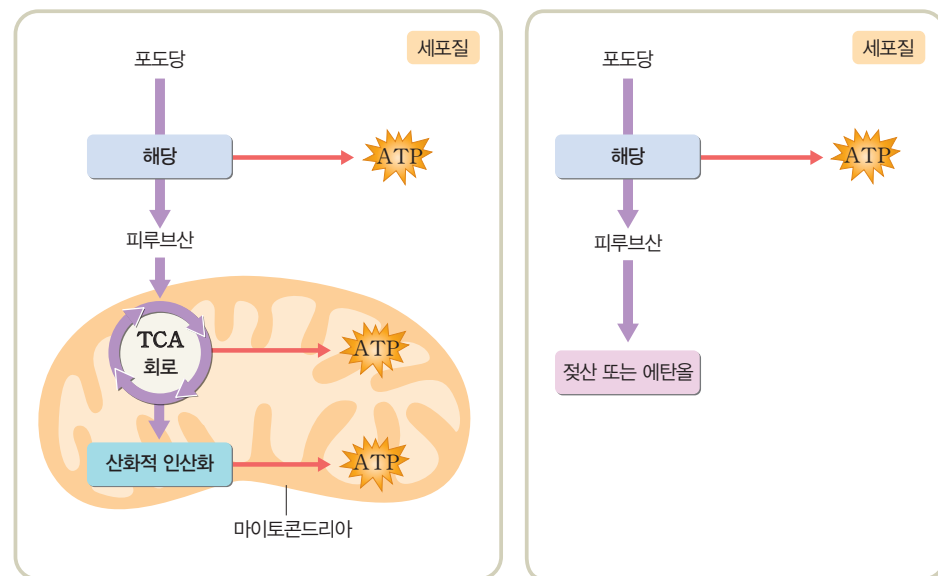
- 산소호흡과 발효의 공통점과 차이점을 설명할 수 있다.
- 실생활에서 발효를 이용한 사례를 설명할 수 있다.



산소호흡과 발효

세포호흡에서 대부분의 ATP는 산화적 인산화로 생성되므로 ATP가 충분히 생성되려면 산소가 필요하다. 이처럼 산소를 이용하는 세포호흡을 **산소호흡**이라고 한다. 산소호흡에서는 포도당이 완전히 산화되어 이산화 탄소와 물로 분해된다.

해당에서 생성된 피루브산이 산소가 없을 때 세포질에서 젖산, 에탄올 등의 물질로 전환되는 과정을 **발효**라고 한다. 발효에서는 포도당이 완전히 산화되지 않고 해당에서만 ATP가 생성되기 때문에 산소호흡에 비해 적은 양의 ATP가 생성된다.



▲ 산소호흡

▲ 발효

그림 III-8 산소호흡과 발효 산소호흡에서는 해당에서 생성된 피루브산이 마이토콘드리아로 들어가 산화되며, 발효에서는 피루브산이 세포질에서 젖산이나 에탄올로 환원된다.

❓ 산소호흡 과정과 발효 과정의 공통점과 차이점은 각각 무엇일까?

발효의 종류

생명체에서 해당이 계속 일어나 ATP를 지속해서 생성하려면 해당에서 생성된 NADH가 산화되어 NAD^+ 가 재생성되어야 한다. 산소가 없는 환경에서 NADH의 산화는 발효를 통해 일어난다. 발효는 NAD^+ 가 재생성되는 과정에서 만들어지는 물질의 종류에 따라 젖산발효, 알코올발효 등으로 구분한다.

젖산발효 | *젖산균은 산소가 없을 때 젖산발효를 통해 생명활동에 필요한 ATP를 생성한다. 젖산발효에서는 해당에서 생성된 피루브산이 NADH로부터 전자를 받아 젖산으로 환원되며, 이 과정에서 NADH가 산화되어 생성된 NAD^+ 는 해당에 다시 사용된다. 젖산발효가 일어날 때에는 해당에서의 기질수준인산화로 포도당 1 분자로부터 ATP 2 분자가 생성된다.

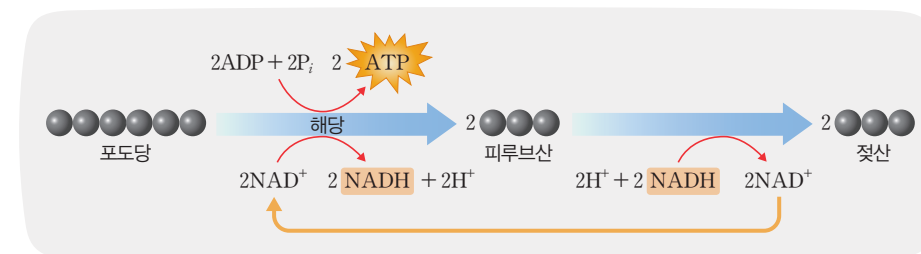


그림 III-9 젖산발효 젖산발효에서 NADH가 NAD^+ 로 산화되는 반응의 전자수용체는 해당에서 생성된 피루브산이다.

젖산발효는 사람의 근육세포에서도 일어난다. 과도한 운동으로 근육세포에 산소 공급이 부족해지면 젖산발효를 통해 운동에 필요한 ATP가 생성된다.

알코올발효 | *효모는 산소가 없을 때 알코올발효를 통해 ATP를 생성한다. 알코올발효에서는 해당에서 생성된 피루브산이 아세트알데하이드로 전환되면서 이산화 탄소를 방출하고, 아세트알데하이드는 NADH로부터 전자를 받아 에탄올로 환원된다. 이 과정에서 NADH가 산화되어 생성된 NAD^+ 는 해당에 다시 사용된다. 알코올발효가 일어날 때에는 해당에서의 기질수준인산화로 포도당 1 분자로부터 ATP 2 분자가 생성된다.

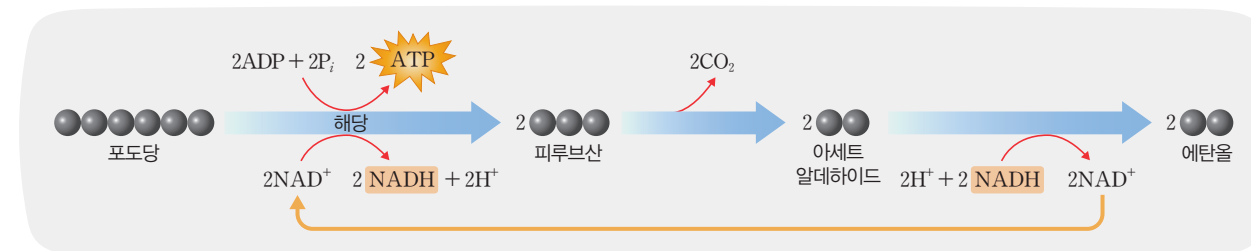


그림 III-10 알코올발효 알코올발효에서 NADH가 NAD^+ 로 산화되는 반응의 전자수용체는 아세트알데하이드이다.

* 젖산균

젖산발효를 하는 단세포 원핵생물



▲ 젖산균(SEM, 색 처리)

근육세포에 축적된 젖산의 전환

근육세포에서 젖산발효가 일어난 결과 축적된 젖산은 혈액에 의해 간으로 운반되어 피루브산으로 전환된 뒤, 산소호흡에 이용되거나 포도당으로 합성된다.

* 효모

알코올발효를 하는 단세포 진핵생물



▲ 효모(SEM, 색 처리)

다음 탐구에서 알코올발효 실험을 설계하여 수행해 보자.

탐구

● 탐구 설계, 결론 도출

발효 실험 설계하여 수행하기

목표 효모의 알코올발효에 대한 실험을 설계하여 수행할 수 있다.

가설

효모에서 알코올발효가 일어나면 이산화 탄소가 생성되는데, 호흡기질의 종류에 따라 생성되는 이산화 탄소의 양이 다를 것이다.

탐구 설계

다음은 발효 실험에 필요한 준비물과 발효관을 이용한 실험 방법을 나타낸 것이다.

- 준비물
- 발효관
 - 발효 실험에 필요한 준비물
 - 실험복
 - 실험용 장갑
 - 보안경

- 안전
- 유리 기구가 깨지지 않게 주의한다.
 - 사용하고 남은 실험 재료는 선생님의 지도에 따라 분리하여 처리한다.
 - 실험할 때에는 실험복, 실험용 장갑, 보안경을 반드시 착용한다.

- 탐구 유의 사항
- 효모액은 증류수에 건조 효모를 넣고 잘 섞어 만든다.
 - 발효관 입구를 솜으로 막은 뒤에는 발효관을 흔들지 않는다.
 - 발효가 잘 일어나게 하기 위해 40 °C의 항온기를 이용할 수 있다.

1. 모둠별로 가설을 검증하기 위한 변인을 설정해 보자.

독립변인		종속변인
조작변인	통제변인	

탐구 능력 | 문제 해결 능력

실험 영상



2. 1에서 설정한 변인에 따라 각 발효관에 넣을 용액의 양을 써 보자.

(단위: mL)

용액 \ 발효관	A	B	C
효모액		15	
증류수			
5 % 포도당 용액	0	20	
5 % 녹말 용액	0		20

탐구 수행 및 결과

1. 설계한 대로 3 개의 발효관에 용액을 각각 넣고, 발효관에서 일어나는 변화를 관찰해 보자.



2. 실험 결과를 정리하여 써 보자.



정리

1. 실험 과정에서 발효가 일어나게 하기 위해 산소를 어떻게 차단했는지 써 보자.



2. 실험 결과가 가설을 지지하는지 판단해 보고, 그렇게 판단한 까닭을 설명해 보자.



3. **사고력** 발효관의 맹관부에 모인 기체가 이산화 탄소임을 확인하는 방법을 조사해 보자.



스스로 평가하기



- 지식·이해** | 호흡기질의 종류에 따라 생성되는 이산화 탄소의 양이 다르다는 것을 설명했는가? ☆☆☆
- 과정·기능** | 알코올발효 실험을 적절하게 설계하여 수행했는가? ☆☆☆
- 가치·태도** | 실험 결과를 있는 그대로 기록했는가? ☆☆☆

실생활에서의 발효 이용

미생물을 이용한 발효는 실생활에서 다양하게 이용되고 있다. 다음 탐구에서 발효를 이용한 사례를 알아보자.

탐구

조사, 결론 도출

- 준비물
- ☒ 스마트 기기
- ☒ 발효의 이용과 관련된 책

탐구 능력 | 문제 해결 능력

실생활에서 발효를 이용한 사례 조사하기

목표 실생활에서 발효를 이용한 사례를 조사하기 위한 계획을 세우고, 발효 이용 사례를 조사하여 발표할 수 있다.

1 고안하기

다음은 실생활에서 발효가 이용되는 분야이다.



1. 모둠별로 분야를 하나씩 골라 보자.
2. 고른 분야에서 발효를 이용한 사례를 조사할 때 어떤 내용을 조사할지 정해 보자.
3. 조사한 내용을 정리하여 어떤 형식으로 발표 자료를 만들지 정해 보자.

❗ 디지털 기기를 활용하여 영상 같은 시각화 설명 자료를 만들거나 공유 플랫폼을 활용할 수 있다.
4. 모듬원의 역할을 나누어 보자.



2 수행하기

1. 계획한 대로 발효를 이용한 사례를 조사해 보자.
2. 조사한 내용을 정리하여 발표 자료를 만들어 보자.

3 소통하기

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

평가 내용	우수	보통	미흡
지식·이해 실생활에서 발효를 이용한 사례를 설명했는가?			
과정·기능 발효를 이용한 사례를 조사하기 위한 계획을 세우고, 계획한 대로 조사하여 발표 자료를 만들었는가?			
가치·태도 발효를 이용한 사례를 조사하는 과정에서 과학 이론의 유용성을 인식했는가?			

김치와 치즈는 젖산발효를, 빵과 포도주는 알코올발효를 이용한 식품이다. 발효는 식품뿐만 아니라 화장품, 바이오에너지, 의약품 등을 만들 때에도 이용되며, 앞으로도 다양한 분야에서 이용될 것으로 기대하고 있다. 이를 위해 다양한 발효 미생물의 발견 및 새로운 발효 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.



▲ 김치



▲ 의약품



▶ 빵

그림 III-11 발효를 이용한 사례

스스로 확인하기

- 1 산소호흡과 발효 중 포도당 1 분자당 생성되는 ATP의 양이 더 많은 것을 써 보자.
- 2 빵을 만들 때에는 어떤 발효를 이용는지 써 보자.
- 3 | 과학 역량 기르기 | 치즈를 만드는 데 이용되는 발효와 빵을 만드는 데 이용되는 발효의 공통점과 차이점을 각각 설명해 보자.

탐구 유의 사항

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

단원을 마치기 전에

학습 목표를 달성했는지 96 쪽 학습 목표에 ☒ 표하여 스스로 점검해 보자.

발효의 비밀을 밝힌 부흐너

독일의 과학자인 부흐너(Buchner, E., 1860~1917)는 대학에 다닐 때 잠시 통조림 공장에서 일한 적이 있었다. 그는 이곳에서 통조림을 보존하는 방법을 알게 되었고, 이때의 경험이 발효 연구에 큰 도움이 되었다.

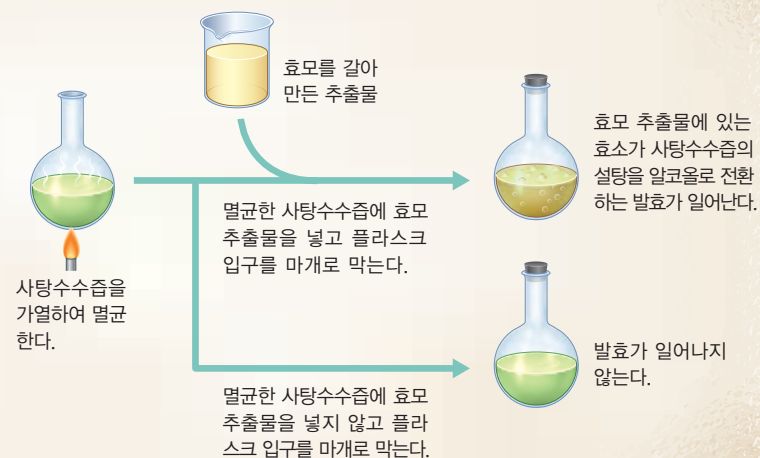
이후 부흐너는 효모의 발효에 대한 실험을 하던 중 우연히 설탕을 알코올로 전환하는 물질을 발견하고, 이를 근거로 「효모 없이 일어나는 알코올발효에 관하여」라는 논문을 발표했다. 그 당시 대부분의 과학자는 살아 있는 효모 안에서만 발효가 일어난다고 생각했다. 그런데 부흐너는 효모 밖에서도 효모가 가진 특정 단백질(효소)에 의해 발효가 일어난다는 사실을 효모 추출물을 이용한 실험으로 알아낸 것이다.

부흐너의 연구를 발판으로 삼아 발효에 관여하는 효소와 발효가 일어나는 화학 반응에 대한 연구가 활발히 진행되면서 생화학이라는 새로운 학문 분야가 시작 되었고, 부흐너는 이와 같은 공로를 인정받아 1907년에 노벨상을 받았다.

부흐너의 발효 실험



▲ 부흐너



생각 필치기

부흐너의 효모 추출물을 이용한 발효 연구가 우리 생활에 어떤 영향을 미쳤는지 설명해 보자.



탐구 능력

중단원 마무리

1. 세포호흡

01 미토콘드리아의 구조와 기능

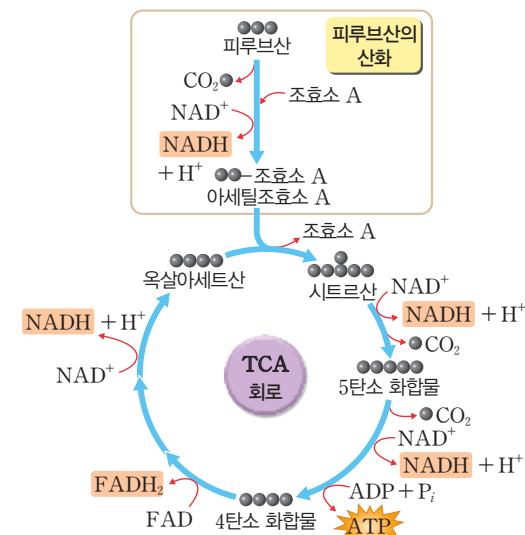
85 쪽~86 쪽

1. 미토콘드리아의 구조: 내막에 의해 막사이공간과 바탕질로 구분되며, 내막의 주름진 구조를 크리스타라고 한다.
2. 미토콘드리아의 기능: 세포호흡이 일어나 유기물의 화학 에너지 일부를 ATP의 화학 에너지로 전환한다.

02 세포호흡 과정

87 쪽~95 쪽

1. 해당: 세포질에서 포도당 1 분자가 ① 2 분자로 분해되는 과정으로, ATP 2 분자와 NADH 2 분자가 생성된다.
2. 피루브산의 산화 및 TCA 회로: 산소가 있을 때 피루브산이 ② (으)로 들어가 산화되는 과정이다.



▲ 피루브산의 산화 및 TCA 회로

- 피루브산 1 분자가 피루브산의 산화 및 TCA 회로를 거쳐 분해되면 이산화 탄소 3 분자, ATP ③ 분자, NADH 4 분자, FADH₂ 1 분자가 생성된다.
- 3. 산화적 인산화: ④ 에서 전자전달계와 화학삼투가 연결되어 일어나는 ATP 합성 과정이다.
- 전자전달계: NADH와 FADH₂가 산화되면서 방출한 고에너지 전자가 전달되는 과정에서 에너지가 단계적으로 방출된다. 이 에너지가 이용되어 미토콘드리아 내막을 경계로 H⁺의 농도 기울기가 형성되며, 최종적으로 전자는 ⑤ 에 전달된다.
- 화학삼투에 의한 ATP 합성: H⁺의 농도 기울기에 의해 H⁺이 ⑥ 을/를 통해 막사이공간에서 바탕질로 확산할 때 ATP가 합성된다.

03 발효

96 쪽~101 쪽

1. 산소호흡과 발효: 발효에서는 포도당이 완전히 산화되지 않고 ⑦ 에서만 ATP가 생성되므로 산소호흡에 비해 적은 양의 ATP가 생성된다.

2. 발효의 종류

- ⑧ : 피루브산이 젖산으로 환원되며, 포도당 1 분자로부터 ATP 2 분자가 생성된다.
- 알코올발효: 피루브산이 아세트알데하이드를 거쳐 에탄올로 환원된다. 이 과정에서 이산화 탄소가 방출되고, 포도당 1 분자로부터 ATP 2 분자가 생성된다.

스스로 평가하기

이 단원에서 학습한 내용을 확인하고 스스로 평가해 보시다.

지식·이해	마이토콘드리아의 구조와 기능을 이해하고, 세포호흡 과정의 단계별 특징을 설명했는가?	기질수준인산화와 산화적 인산화를 구분하여 설명했는가?	산소호흡과 발효의 공통점과 차이점을 설명했는가?
과정·기능	생명체 내에서의 미토콘드리아의 기능을 추론했는가?	발효 실험을 설계하여 수행하고, 발효 이용 사례에 대한 조사 계획을 세워 조사했는가?	
가치·태도	세포호흡 과정의 단계별 특징을 정리할 때 과학적으로 사고했는가?	발효를 이용한 사례를 조사하는 과정에서 과학 이론의 유용성을 인식했는가?	

우수 보통 미흡

☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐
☐	☐	☐

평가 결과가 아쉽다면 '1. 세포호흡'을 다시 한번 학습해 보시다.