



충남대학교 농업생명과학대학  
Chungnam National University College of Agriculture and Life Sciences



# 농작물 재배토양에서 미생물이 하는 일과 다수확 시비법

충남대학교 농업생명과학대학  
윤 민 호 교수



- ❖ 미국 농무성 원예연구소 연구원
- ❖ 충남대학 농업생명과학대학 교수
- ❖ 충남대학 농업과학연구소 소장
- ❖ 충청남도 농업기술원 심의위원
- ❖ 한국버섯학회 학회장
- ❖ 한국토양비료학회 회원
- ❖ 한국 과학기술 우수논문상 수상
- ❖ 한국토양비료학회 학술상 수상



**충남대학교 농업생명과학대학**  
Chungnam National University College of Agriculture and Life Sciences

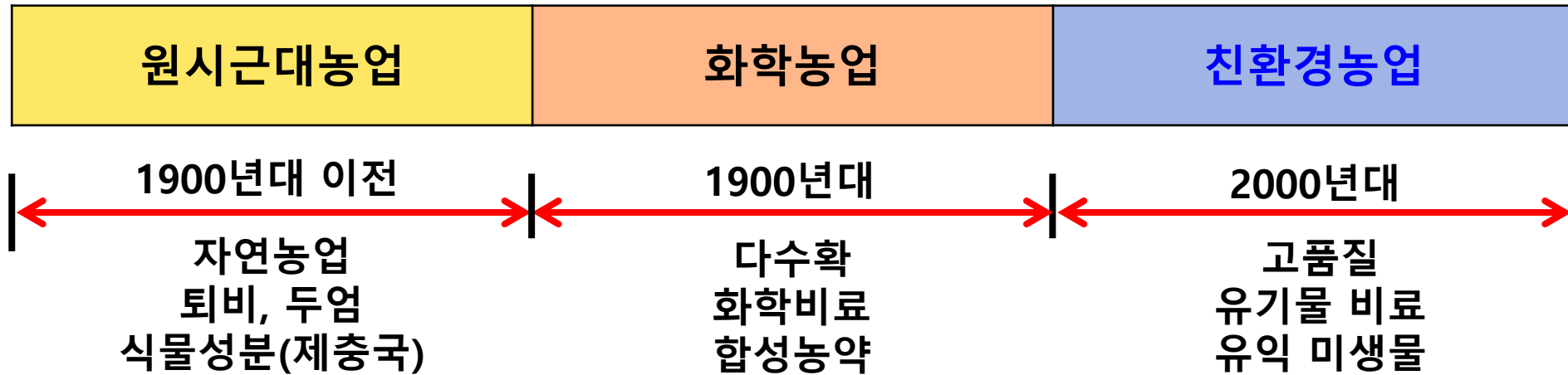
## \* 서 언

- 01 기후변화에 따른 토양환경 이야기
- 02 미생물 이야기
- 03 토양 미생물제 이야기
- 04 토양과 뿌리 이야기
- 05 맺음말 및 질의 응답



- 농사는 아무나 할 수 있는 것인가? **No !!!**
- **농사는 과학**
- **농부는 과학자**
- 다수확, 고품질 농산물 생산을 위한 **전문 기술자**
  - 토양 전문가, 재배 전문가, 시설 전문가
  - **친환경 농업시대 → 미생물 전문가**





- 1900년대 : 다수확, 화학비료 중심
    - 화학비료 : 물에 잘 녹아 미생물의 필요성 못 느낌
  - 2000년대: 고품질, 친환경농업 중심
    - 친환경농업 중심 = 유기물 중심 비료
    - 유기물 비료(고분자 물질) : **미생물 분해가 반드시 선행**
    - **미생물제의 사용과 미생물의 역할에 대한 정보가 필요**
- **미생물을 사용하면서도 효과에 대한 의문?**

## 01 기후변화에 따른 토양환경 이야기

02 미생물 이야기

03 토양 미생물제 이야기

04 토양과 뿌리 이야기

05 맺음말 및 질의 응답



# 1. 기후변화에 따른 토양환경 - 지구 온난화의 원인

❖ 지구 온난화 원인 : **CO<sub>2</sub>량 증가**로 인한 대기 온실화 효과

- 주 CO<sub>2</sub> 배출원 : 화석연료 연소, 산림벌채(흙 표면 유기물의 급격한 분해)

❖ 배출 CO<sub>2</sub> 평균 소비율 : **기후변화 > (바다 용해 + 식물 광합성)**

• 50% 기후변화에 관여 : 바다 유입량 및 식물 광합성 감소로 CO<sub>2</sub>량 증가

• 27% **바다로 유입**(탄소격리 연간 19억톤)

- 해양에 녹아든 CO<sub>2</sub>는 탄산염으로 전환(**석회석**), 식물성 프랑크톤의 광합성

- 그러나 **온난화로 심해 유입 CO<sub>2</sub> 함량이 현격히 감소**

• 23% 식물 광합성(연간 14억톤)

- 나무 및 산림벌채로 CO<sub>2</sub> 소비 감소

**결과 : 온도상승 및 강수패턴(극단적 강수와 가뭄) 변화**

# 1. 기후변화에 따른 토양환경 – 2024년 제주도 기후변화

- ❖ 제주도 **폭염일수**는 평년의 5배가 넘는 21.3일, **열대야일수**는 2배 많은 63.5일로 **역대 최고치를 경신**
- ❖ **강수량** 역시 2024년 2월은 **역대 1위**, 6월과 11월은 **역대 2위를 기록**

출처 : 기상청 기상자료개방포털

## . 2024년 제주시 열대야 현황

|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |          |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------|----|
| 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28       | 29 |
|    |    |    |    |    |    | 30 |    |    |    |    | 28.5(°C) |    |

2024년 7월

| 일        | 월        | 화        | 수        | 목        | 금        | 토        |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|          | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        |
|          |          | 33.2(°C) |          | 30(°C)   | 34(°C)   | 34.8(°C) |
| 7        | 8        | 9        | 10       | 11       | 12       | 13       |
| 34.5(°C) | 35.1(°C) | 34.1(°C) |          |          | 27.5(°C) |          |
| 14       | 15       | 16       | 17       | 18       | 19       | 20       |
| 28.1(°C) | 33.3(°C) | 35.2(°C) | 34.2(°C) | 34.2(°C) | 35.5(°C) |          |
| 21       | 22       | 23       | 24       | 25       | 26       | 27       |
| 35.1(°C) | 33(°C)   | 32.7(°C) | 33(°C)   | 34.5(°C) | 29.6(°C) | 34.6(°C) |
| 28       | 29       | 30       | 31       |          |          |          |
| 32.7(°C) | 33.3(°C) | 33.9(°C) | 32.7(°C) |          |          |          |

2024년 8월

| 일        | 월        | 화        | 수        | 목        | 금        | 토        |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|          |          | 1        | 2        | 3        |          |          |
|          |          |          | 33.5(°C) | 34.7(°C) | 33.6(°C) |          |
| 4        | 5        | 6        | 7        | 8        | 9        | 10       |
| 34.5(°C) | 33.1(°C) | 32.3(°C) | 33.2(°C) | 33.5(°C) | 32.9(°C) | 34.4(°C) |
| 11       | 12       | 13       | 14       | 15       | 16       | 17       |
| 34.9(°C) | 33.3(°C) | 32.8(°C) | 31.1(°C) | 32(°C)   | 32.1(°C) | 33(°C)   |
| 18       | 19       | 20       | 21       | 22       | 23       | 24       |
| 32.9(°C) | 35(°C)   | 32.8(°C) | 34.3(°C) | 34.3(°C) | 33(°C)   | 32.3(°C) |
| 25       | 26       | 27       | 28       | 29       | 30       | 31       |
| 32.8(°C) | 32.1(°C) | 31.9(°C) | 29.6(°C) | 33.3(°C) | 33(°C)   |          |

2024년 9월

| 일        | 월        | 화        | 수        | 목        | 금        | 토        |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1        | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | 7        |
|          | 31.5(°C) | 33(°C)   | 30.4(°C) | 31.9(°C) | 33(°C)   | 33.2(°C) |
| 8        | 9        | 10       | 11       | 12       | 13       | 14       |
| 32.1(°C) | 31.4(°C) | 30.5(°C) | 33.1(°C) | 35.1(°C) | 32.3(°C) | 32.3(°C) |
| 15       | 16       | 17       | 18       | 19       | 20       | 21       |
| 32.5(°C) | 31.6(°C) | 30.9(°C) | 35(°C)   | 33.1(°C) | 32.1(°C) |          |
| 22       | 23       | 24       | 25       | 26       | 27       | 28       |
|          |          |          |          |          |          |          |
| 29       | 30       |          |          |          |          |          |

2024년 10월

| 일  | 월  | 화  | 수  | 목  | 금  | 토  |
|----|----|----|----|----|----|----|
|    |    | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  |
| 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 |
| 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
| 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |    |    |

## . 2024년 서귀포시 열대야 현황

|                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 26             | 27             | 28             | 29             | 30             | 31             | 23             | 24             | 25             | 26             | 27             | 28             | 29             |                |
|                |                |                |                |                |                | 30             |                |                |                |                |                |                |                |
| 2024년 7월       |                |                |                |                |                | 2024년 8월       |                |                |                |                |                |                |                |
| 일              | 월              | 화              | 수              | 목              | 금              | 토              | 일              | 월              | 화              | 수              | 목              | 금              | 토              |
|                | 1              | 2              | 3              | 4              | 5              | 6<br>28.5(°C)  |                |                |                |                | 1<br>32.4(°C)  | 2<br>32.1(°C)  | 3<br>33.3(°C)  |
| 7<br>27.8(°C)  | 8<br>27.7(°C)  | 9<br>29(°C)    | 10             | 11             | 12             | 13             | 4<br>34.2(°C)  | 5<br>33.6(°C)  | 6<br>33.6(°C)  | 7<br>33.3(°C)  | 8<br>34(°C)    | 9<br>34.3(°C)  | 10<br>33.3(°C) |
| 14             | 15<br>27.1(°C) | 16<br>30(°C)   | 17<br>30.9(°C) | 18             | 19<br>27.8(°C) | 20<br>30.8(°C) | 11<br>33.6(°C) | 12<br>33(°C)   | 13<br>33.9(°C) | 14<br>32.4(°C) | 15             | 16<br>32.7(°C) | 17<br>32.8(°C) |
| 21             | 22             | 23             | 24             | 25             | 26             | 27             | 18<br>31.7(°C) | 19<br>33.5(°C) | 20<br>32.1(°C) | 21<br>33.4(°C) | 22<br>32(°C)   | 23<br>32.7(°C) | 24<br>32.9(°C) |
| 28<br>32.5(°C) | 29<br>32.7(°C) | 30<br>32.4(°C) | 31<br>32.7(°C) |                |                |                | 25<br>32.7(°C) | 26<br>32.7(°C) | 27<br>34(°C)   | 28<br>32.1(°C) | 29<br>34.6(°C) | 30<br>34.7(°C) | 31<br>32.8(°C) |
| 2024년 9월       |                |                |                |                |                | 2024년 10월      |                |                |                |                |                |                |                |
| 일              | 월              | 화              | 수              | 목              | 금              | 토              | 일              | 월              | 화              | 수              | 목              | 금              | 토              |
| 1              | 2<br>31.9(°C)  | 3              | 4<br>31.4(°C)  | 5<br>31.9(°C)  | 6<br>33.1(°C)  | 7<br>33.5(°C)  |                |                | 1              | 2              | 3              | 4              | 5              |
| 8<br>32.2(°C)  | 9<br>33.1(°C)  | 10<br>34.2(°C) | 11<br>31.5(°C) | 12<br>32.9(°C) | 13<br>32.6(°C) | 14<br>34.5(°C) | 6              | 7              | 8              | 9              | 10             | 11             | 12             |
| 15<br>34(°C)   | 16<br>31.6(°C) | 17<br>31.8(°C) | 18<br>33.1(°C) | 19<br>33(°C)   | 20<br>29.1(°C) | 21             | 13             | 14             | 15             | 16             | 17             | 18             | 19             |
| 22             | 23             | 24             | 25             | 26             | 27             | 28             | 20             | 21             | 22             | 23             | 24             | 25             | 26             |
| 29             | 30             |                |                |                |                |                | 27             | 28             | 29             | 30             | 31             |                |                |

# 1. 기후변화에 따른 토양환경 - 과수 재배한계선 변화

❖ 2024년도 사과, 복숭아, 만감류 등 열과로 심각한 피해

❖ 열과의 원인 = 기후변화로 인한 이상고온과 집중 강수

❖ 사과재배지역 경상도 → 강원도로 재배한계선 북상

- 경북 사과 농가 수는 전년 대비 : 7.0%(22.2%) 감소

- 강원 사과 농가 수는 전년 대비 : 1.2%(49.6%) 증가

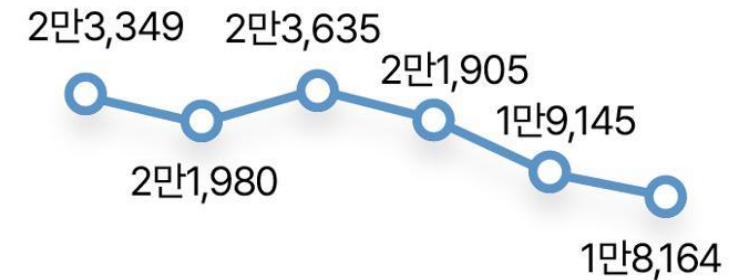
- 재배 가능지역이 줄어

2030년은 현재의 1/3수준으로 축소 예상

강원·경북 사과농가수 추이

●단위 가구 ●자료 통계청

■강원 ■경북



# 1. 기후변화에 따른 토양환경 – 이상기후에 따른 만감류 피해

❖ 2024년 제주도 레드향 열과 발생율 38.4% (제주 산간지역 < 해안가 지역)

❖ 2024(2023)년 레드향 9곳 농가(5~9월) 시설내 온도

- 최고 30.5(29.3)°C, 평균 27.5(25.9)°C, 최저 23.8(23.1)°C

- (23)년도 대비 1.2°C, 1.6°C, 0.7°C로 **평균 약 1.2°C 높았음**

(출처:제주농업기술원)

➤ 과수류는 대기온도 **1°C 상승에 생리대사 불균형** 초래

➤ **과실 생육초기인 5~6월 시설내 온도가**

**열과율과 가장 밀접한 관련**



# 1. 기후변화에 따른 토양환경 – 토양온도 상승에 따른 대응 방안

## ❖ 토양 온도 상승의 대응방안

- 유기물 공급으로 탄소저장능력 향상
- 토양의 산소 농도 증가 및 CO<sub>2</sub>농도 감소 (용존수 공급)
- 광합성균(O<sub>2</sub>생성, CO<sub>2</sub>자화)

: 배양 어렵고, 토양 활착능 낮음



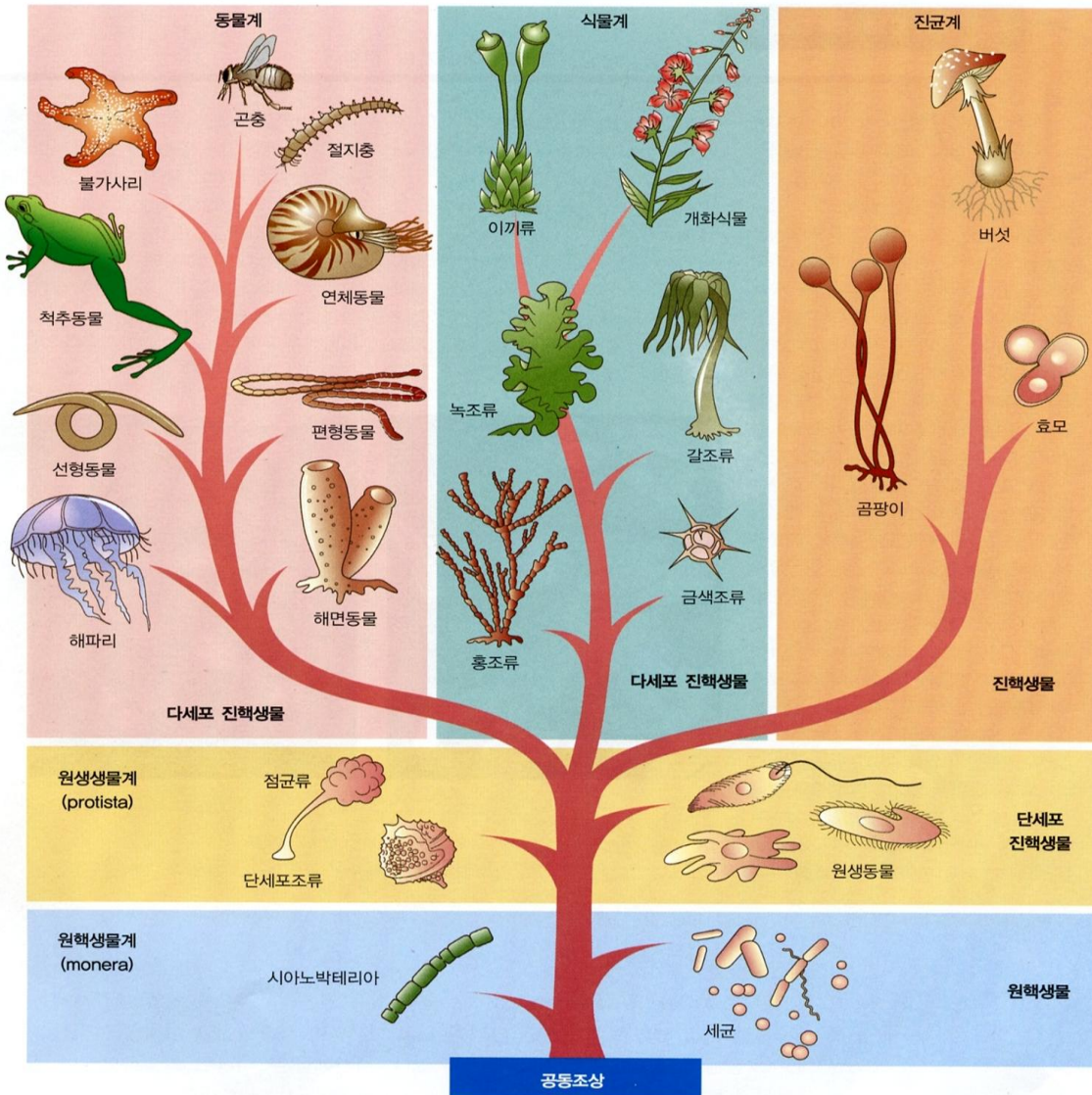
- 활착력이 강한 건강한 미생물제(고초균 등) 지속적 공급으로 유익균의 우점화 및 토착미생물의 다양성 확보

## ❖ 토양 무기영양원의 농도를 높여 O<sub>2</sub> 소모가 적은 수동수송에 의한 뿌리흡수 유도

- 01 기후변화에 따른 토양환경 이야기
- 02 미생물 이야기**
- 03 토양 미생물제 이야기
- 04 토양과 뿌리 이야기
- 05 맺음말 및 질의 응답



## 2. 미생물 이야기 - 생물의 진화 과정



**40억년 전** 황화수소 **박테리아**(원시지구, Gaia)  
- 고열, CO<sub>2</sub>, 메탄, 황화수소 등

**27억년 전** 시아노 **박테리아**(**산소 제공**)  
- 지구 산소 대기 환경  
- **광합성 생물의 출현**

**25억년 전** **해조류**(해양생물)

**5억년 전** 육상식물(**오존층 형성**)

**2억년 전** 포유류, 동물

**10만년 전** **인간**

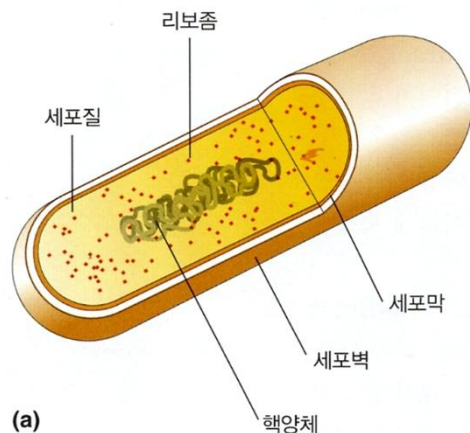
## 2. 미생물 이야기 – 토양에서 발견되는 주요 미생물의 크기, 개체수, 생물량

| 미생물  | 예                   | 크기<br>( $\mu\text{m}$ ) | 개체수<br>(no.g <sup>-1</sup> of soil) | 생물량<br>(kg wet mass ha <sup>-1</sup> of soil) |
|------|---------------------|-------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 바이러스 | TMV                 | 0.02 x 0.3              | $10^{10} \sim 10^{11}$              |                                               |
| 세균   | <i>Pseudomonas</i>  | 0.5 x 1.5               | $10^8 \sim 10^9$                    | 300 ~ 3,000                                   |
| 방선균  | <i>Streptomyces</i> | 0.5 ~ 2.0"              | $10^7 \sim 10^8$                    | 300 ~ 3,000                                   |
| 균류   | <i>Mucor</i>        | 8.0"                    | $10^5 \sim 10^6$                    | 500 ~ 5,000                                   |
| 조류   | <i>Chlorella</i>    | 5 x 13                  | $10^3 \sim 10^6$                    | 10 ~ 1,500                                    |
| 원생동물 | <i>Euglena</i>      | 15 x 50                 | $10^3 \sim 10^5$                    | 5 ~ 200                                       |
| 선충   | <i>Pratylenchus</i> | 1,000                   | $10^1 \sim 10^2$                    | 1 ~ 100                                       |
| 지렁이  | <i>Lumbricus</i>    | 100,000                 |                                     | 10 ~ 1,000                                    |

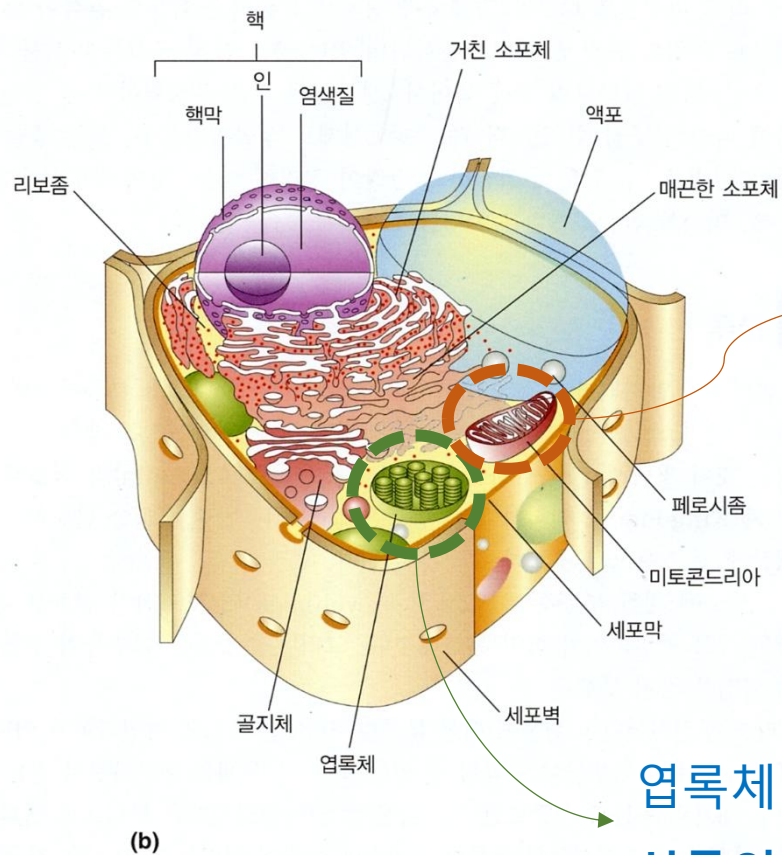
✓ 토양 1g 당  $10^8 \sim 10^9$  cell(세포) 의 토착미생물이 서식

- ❖ 생명체 = 세포의 집단체, 탄소화합물(유기물)  
예) 성인의 세포수 = 70조 ~ 100조개
- ❖ 5대 구성 원소 = 탄소, 수소, 산소, 질소, 인  
(C, H, O, N, P)
- ❖ 주요 구성성분 = 탄수화물, 지방, 단백질, 핵산, 효소

### 원핵세포(세균, 남조류)



### 진핵세포(사상균, 식물, 동물)

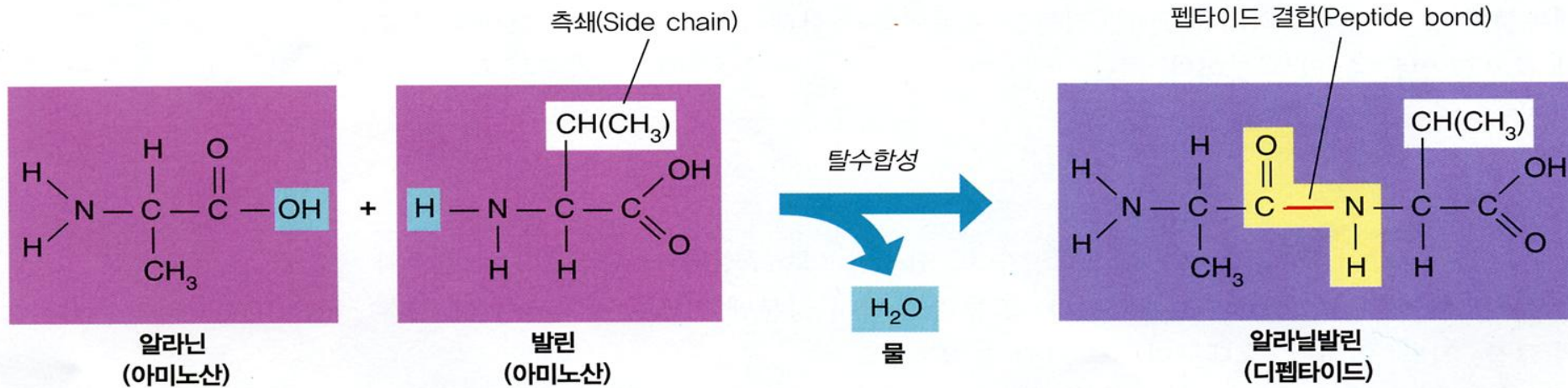


미토콘드리아 :  
산소이용 생물의  
에너지(ATP) 생성 장소

엽록체 :  
식물의 광합성 장소

## 2. 미생물 이야기 - 세포의 구성성분(단백질)

❖ 단백질 : 20종의 아미노산이 펩타이드 결합에 의해 이루어진 고분자 물질



❖ 단백질의 종류

- 케라틴 : 머리카락, 손톱, 피부, 깃털
- 콜라겐 : 뼈, 연골, 결합조직
- 엘라스틴 : 힘줄, 동맥
- 휘브로인 : 견(실크)

➤ 단백질 분해효소에 의해 20종의 아미노산으로 분해

### 1) 생물체의 모든 대사작용을 촉매(주관)하는 기능

- DNA로 부터 생 합성되는 **단백질(99%)**로 구성
- 생체 반응속도를 빠르게 해 줌
- 효소의 촉매 활성은 **온도**와 **pH** 에 큰 영향을 받음

### 2) 자물쇠와 열쇠처럼 본인의 짝(기질) 하고만 반응을 함

- 단백질 분해효소 ↔ 단백질
- 전분 분해효소 ↔ 전분

➤ 인간의 몸속에는 2,200여 종의 효소가 존재

➤ 이 중 하나라도 촉매기능을 못하면 병증을 느낌

## 2. 미생물 이야기 - 미생물 이름 부치는 법(Nomenclature)

❖ 미생물은 동물이나 식물과 마찬가지로 속(genus)과 종(species)으로 나누는 식물학자 칼 폰 린네(Carl von Linne)의 2명법을 따름

❖ 반드시 속과 종명을 가지고 있어야 함

예) - 고초균 : *Bacillus subtilis* (바실러스 써브틸리스)

- 효모균 : *Saccharomyces cereviase* (사카로마이세스 세레비제)

- 누룩균 : *Aspergillus oryzae* (아스퍼질러스 오리제)

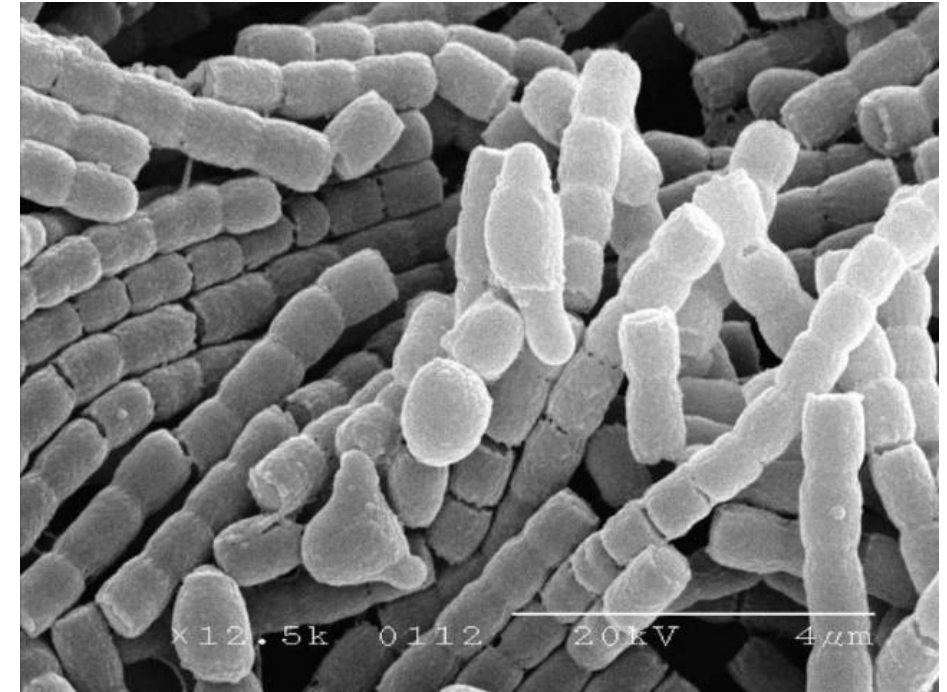
### ❖ 방선균(Actinomycetes)

- 유기물 분해 고온균(퇴비 발효균)
- 난분해성 섬유소, 리그닌 분해
- 항생물질 생성으로 병해충 발생 억제  
: 스트렙토마이신
- 방향성(토양 흙냄새) 생성

### ❖ 대표적인 항생물질 생산균 :

- *Streptomyces* 속 : 스트렙토마이신, 젠타마이신 등

### ❖ 식물에 기생하는 방선균 : *Frankia* 속



### ❖ 고초균 (*Bacillus subtilis*)

- 자연 및 인간 친화적인 호기성 세균
- 유기물(단백질, 섬유소) 분해능 높음
- 환경변화에 대한 적응성이 우수
- 항생물질 생성

### ❖ 종류

- *Bacillus subtilis* (청국장균)
- *Bacillus subtilis* var. *natto*(나토균)
  - . 혈전용해효소(나토키나제) 생성
  - . 폴리감마글루탐산 생성



### ❖ 광합성균(시아노박테리아)이 세균과 다른점

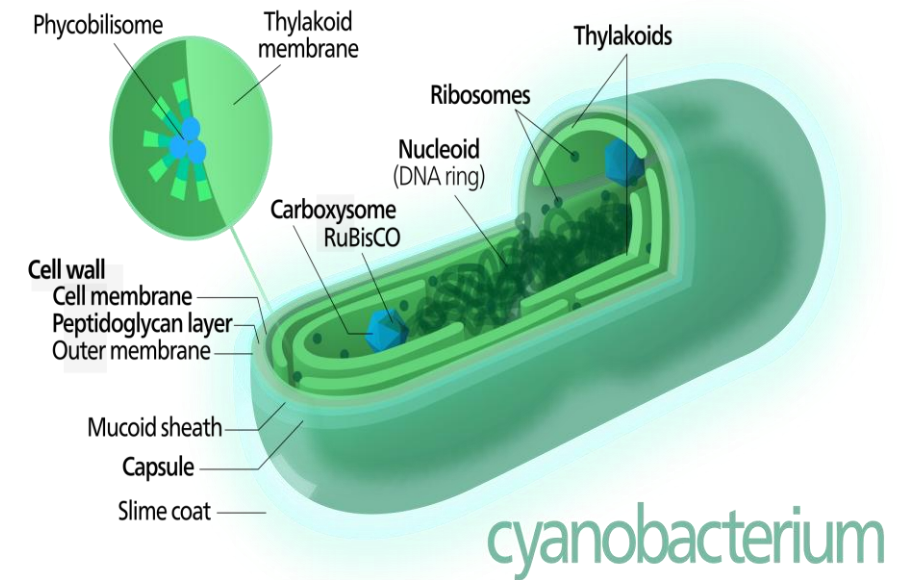
- 탄소원 :  $\text{CO}_2$ , 에너지원 : 빛, 황화수소( $\text{H}_2\text{S}$ )를 이용, 산소를 생성
- 세균 : 탄소원 및 에너지원 = 유기물, 산소를 이용
- 대부분 혐기조건에서 광합성반응

### ❖ 기능

- 빛 흡수 : 저온기와 일조 부족 시 효과
- 토양내  $\text{CO}_2$  함량 낮추고, 산소제공
- 유해한 탄소, 질소, 황화합물을 제거

### ❖ 종류

- 흡수하는 빛에 따라 자색세균 과 녹색세균



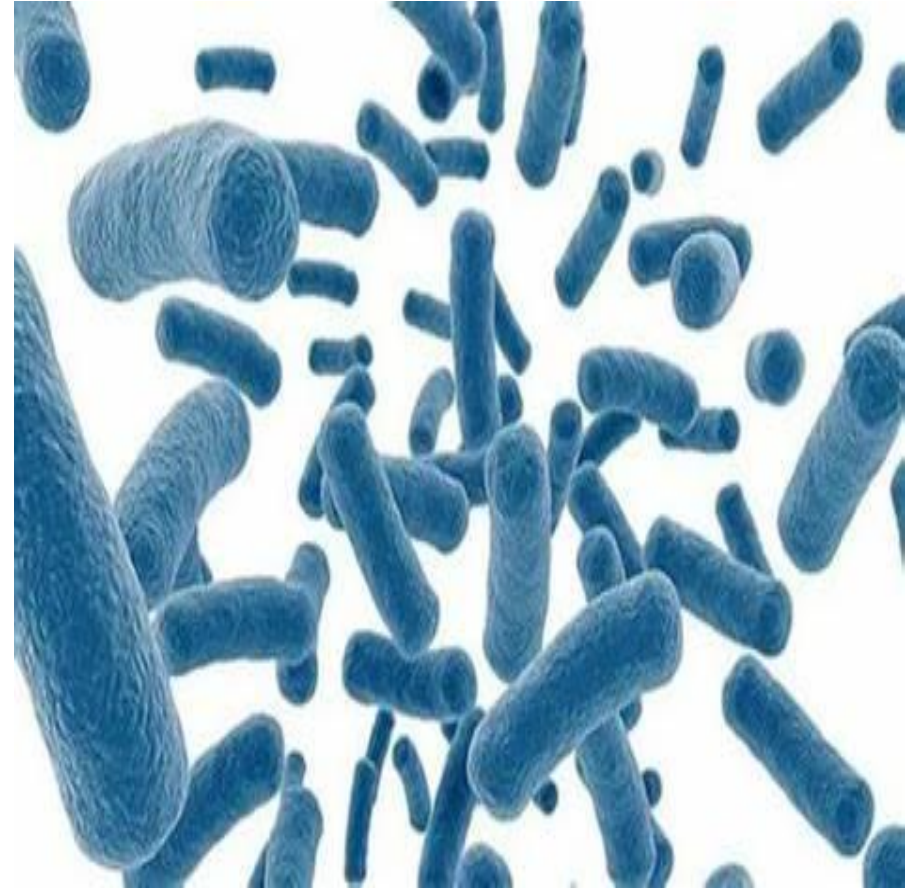
➤ 산소 대재앙(Oxygen catastrophe) : 원시 혐기성 생명체의 멸종 또는 생존방식의 변화를 야기

### ❖ 젖산 생성 통성혐기성균

- 토양 및 비료활성화
- 유기산 생성(pH 4이하)으로 미량요소 가용화
- 액비와 혼용하여 추비로 사용시 효과적
- *Probiotics*(건강하게 해주는 살아있는 미생물)

### ❖ 종류

- 락토바실러스(*Lactobacillus*) 속
- 스트렙토코커스 (*Streptococcus*) 속



### ❖ 질산화성균 : 암모니아 → 아질산 → 질산태( $\text{NO}_3$ )로 산화

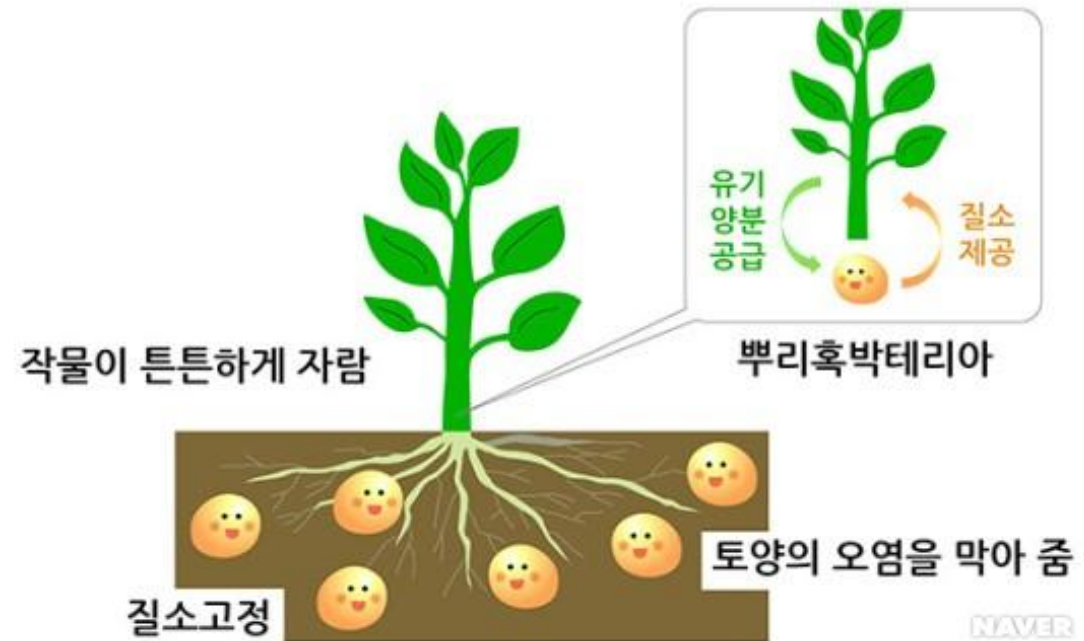
- 니트로모나스(*Nitromonas*) 속 : 암모니아( $\text{NH}_4$ ) → 아질산( $\text{NO}_2$ )
- 니트로박터(*Nitrobacter*) 속 : 아질산( $\text{NO}_2$ ) → 질산( $\text{NO}_3$ )

### ❖ 질산환원균 또는 탈질균 : 질산 → 암모니아 또는 질소가스 환원

- 치오바실러스(*Thiobacillus*) 속 : 질산( $\text{NO}_3$ ) → 아질산( $\text{NO}_2$ ) → 암모니아( $\text{NH}_4$ )
- 슈도모나스(*Pseudomonas*) 속 : 질산( $\text{NO}_3$ ) → 아질산( $\text{NO}_2$ ) → 질소가스( $\text{N}_2$ )

### ❖ 질소 고정균(콩과식물의 뿌리혹박테리아)에 의한 대기중의 질소고정

- 질소가스( $N_2$ ) → 암모니아( $NH_3$ ) →  $NH_4^+$



## 2. 미생물 이야기 – 농업이용 미생물(효모)

❖ 술 발효 사상균(출아법에 의해 증식)

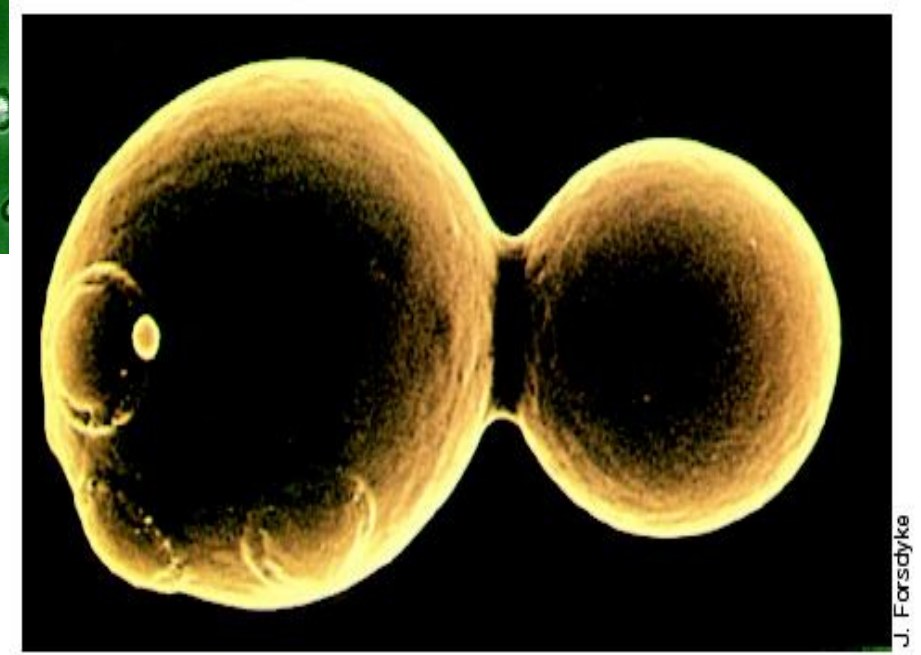
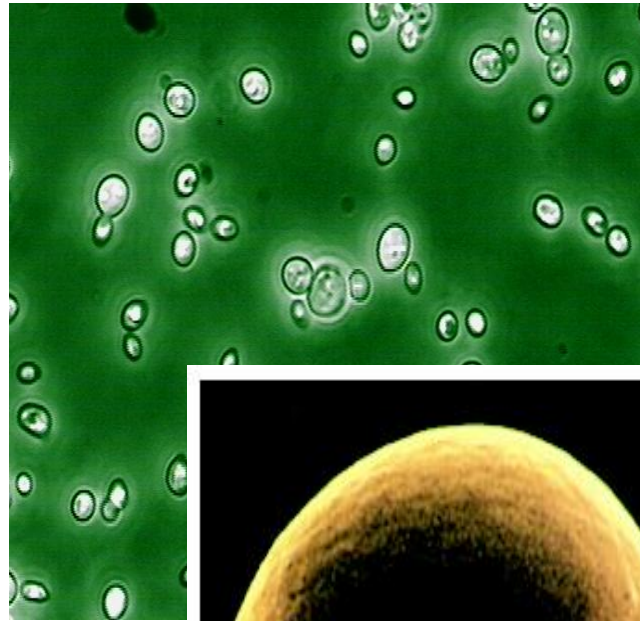
❖ 통성 혐기성균

- 무 산소 : 당 → 에타놀(술) 생산

- 유 산소 : 당 → 유기산, 아미노산 생산

❖ 유기산에 의해 집적물질의 무기화

❖ 토착 미생물에 영양분공급



## 2. 미생물 이야기 - 농업이용 미생물(곰팡이)

### ❖ 포자생식을 통해 세포의 다발체 군사형성

- (육안으로 보임): 구약성서 레위기에 기록

### ❖ 유기물 분해균(전체 유기물의 50% 이상)

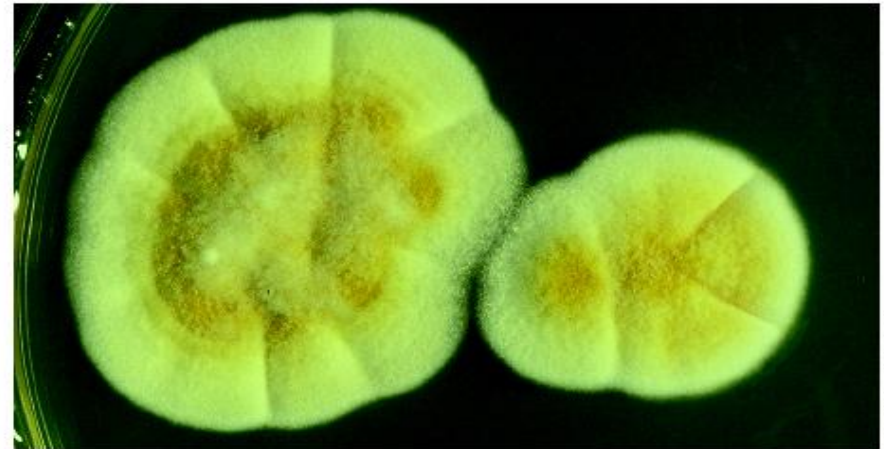
### ❖ 항생물질 생성(페니실린)

### ❖ 토양 데알구조 안정성 형성

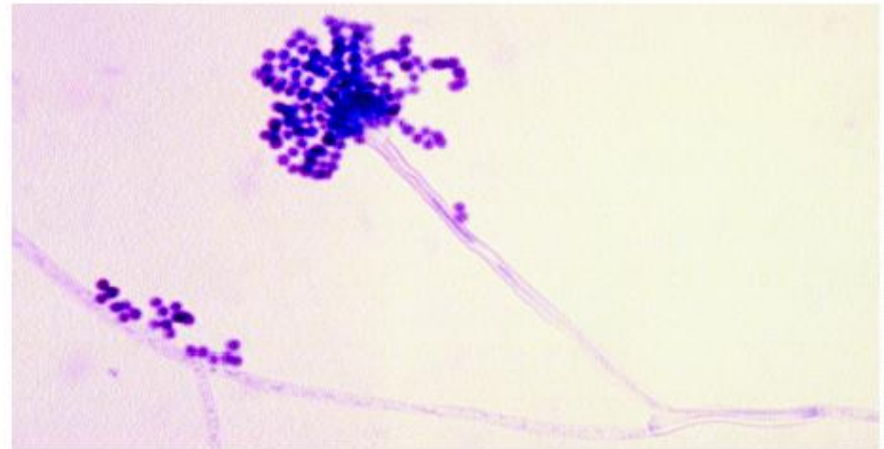
### ❖ 종류

- 아스퍼질러스(*Aspergillus*) 속

- 트라이코데르마(*Tricoderma*) 속



(a)



(b)

*Aspergillus* 곰팡이의 형태 및 포자

Cheryl L. Brodie

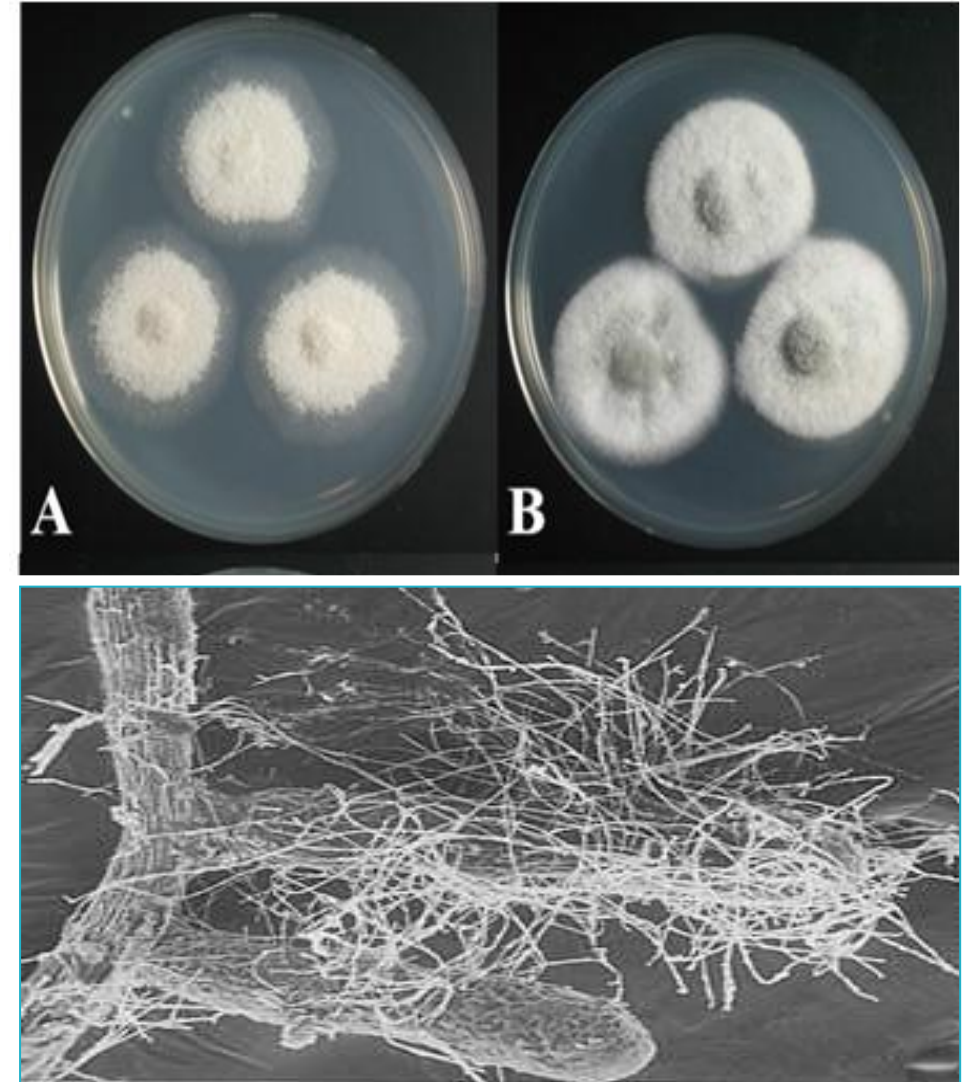
CDC Public Health Image Library, PHIL

## 2. 미생물 이야기 - 균근(菌根)에 의한 인(P)의 이용

- ❖ 식물체의 뿌리속에 공생하는 곰팡이
- ❖ 균사를 뺀어 무기P를 흡수하여 뿌리에 공급
- ❖ 인산분해효소를 분비하여 유기P를 무기화
- ❖ 과수류와 대부분의 식물체(70~80%)에 존재

예) 외생균근 : 송이버섯, 표고버섯

내생균근 : 난 뿌리혹(수지상체)



### ❖ 인산 가용화균(세균, 사상균, 조류)

- 인산분해효소를 분비하여 유기인을 가용화
- 유기산을 분비하여 토양수의 pH를 낮추어  
인산칼슘 등을 가용화
- **인산 흡수 적정 pH = 5.5 - 6.5**



❖ **엽상 미상** : 잎의 표면에 서식하는 미생물(세균, 효모, 사상균)

- 식물생장 촉진
  - 잎 분비물질(당, 유기산) 분해하여 잎 활력 유지
  - 항균물질 분비로 병충해 방제
  - 다른 미생물(식물) 상호간 타감작용
- 미생물 희석 배양액에 포도당(설탕)을 혼합하여 엽면시비하면 엽상미생물 활성화에 효과적

- 01 기후변화에 따른 토양환경 이야기
- 02 미생물 이야기
- 03 토양 미생물제 이야기**
- 04 토양과 뿌리 이야기
- 05 맺음말 및 질의 응답



#### ❖ 토양 미생물제 의 종류

- 1) 액상 배양 미생물제 : 미생물 세포와 대사산물(효소, 유기산 등) 함유
- 2) 분상 미생물제 : 부형제와 미생물 배양액을 혼합
- 3) 입상 미생물제 : 담체에 미생물 배양액을 흡착 또는 코팅
- 4) 펠렛 미생물제 : 유기물과 미생물 배양액 혼합 후 고온으로 펠렛화(제품화 어려움)

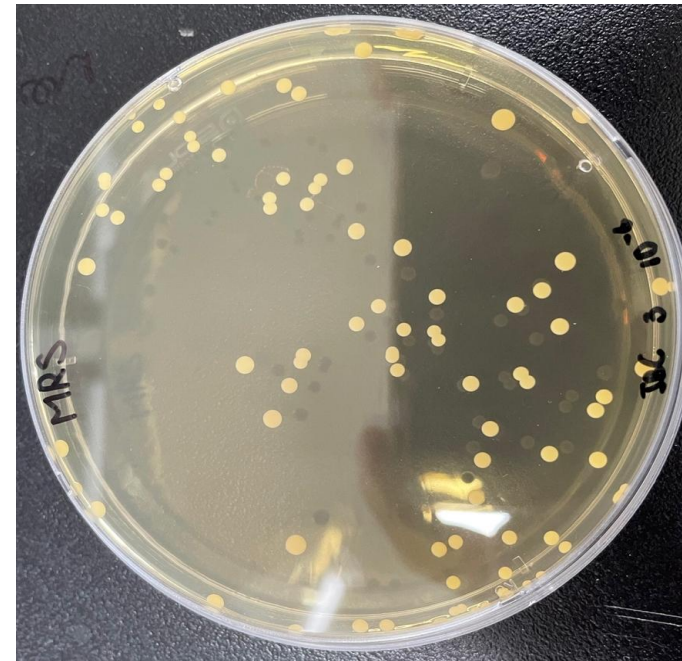
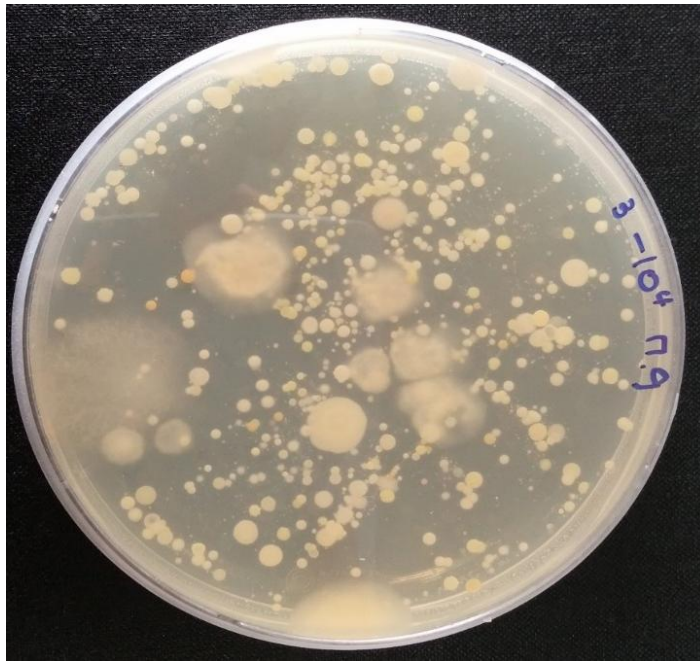
➤ 생균수 안정성 : 펠렛 > 입상 > 분상 > 액상

➤ 생균수 함유율(g 또는 mL 당) : 액상 > 입상 > 펠렛 > 분상

### 3. 토양 미생물제 이야기 - 미생물제의 생균수 단위

❖ 미생물제의 단위 : Colony Forming Unit(CFU)/mL(g)

❖ Colony(집락) = 고체배지상에서 육안으로 확인 가능한 크기의 미생물 세포집단(80 - 120cell/colony)



### 3. 토양 미생물제 이야기 – 미생물제와 효소제의 차이점

#### 미생물제(효과 늦음)

생명력을 가진 세포

미생물에 의해서만 생산 가능

자기증식 능력이 있음

다양한 기질에 작용

다양한 효소를 생산 및 함유

다양한 대사산물 생산

#### 효소제(효과 빠름)

생명체의 대사산물(단백질)

동물, 식물, 미생물이 생산 가능

자기증식 불가능

특정 기질(본인의 짝)에만 작용

특정 효소만 함유

특정 기질과의 반응물질만 생산

### 3. 토양 미생물제 이야기 – 토양미생물제 효과에 대한 의문 ?

❖ 미생물제 공급으로 토양 1g당 함유되는 미생물 수는 얼마일까?

<토양 깊이 10cm, 300평의 총 무게 계산식>

- 토양 면적 300평 = 약  $1,000\text{m}^2$
- 토양 깊이 10cm(0.1m), 300평의 총 토양의 부피 =  $1,000\text{m}^2 \times 0.1\text{m} = 100\text{m}^3$
- 토양  $1\text{m}^3$ (10cm 깊이) 부피 당 무게는 약 1,000kg 이므로
- 토양  $100\text{m}^3$ (10cm 깊이 300평)의 무게 = 100,000kg(100,000,000g)

❖ 만약 미생물제( $10^{10}$ ( $1 \times 10^{10}$ ) CFU/mL) 1L를 300평 토양에 공급하면

- 총 1조 ( $1 \times 10^{12}$ ) CFU/100,000,000g =  $1 \times 10^4$  CFU/g =  $1 \times 10^6$  cell/g(1 CFU/g=100 cell 이므로)

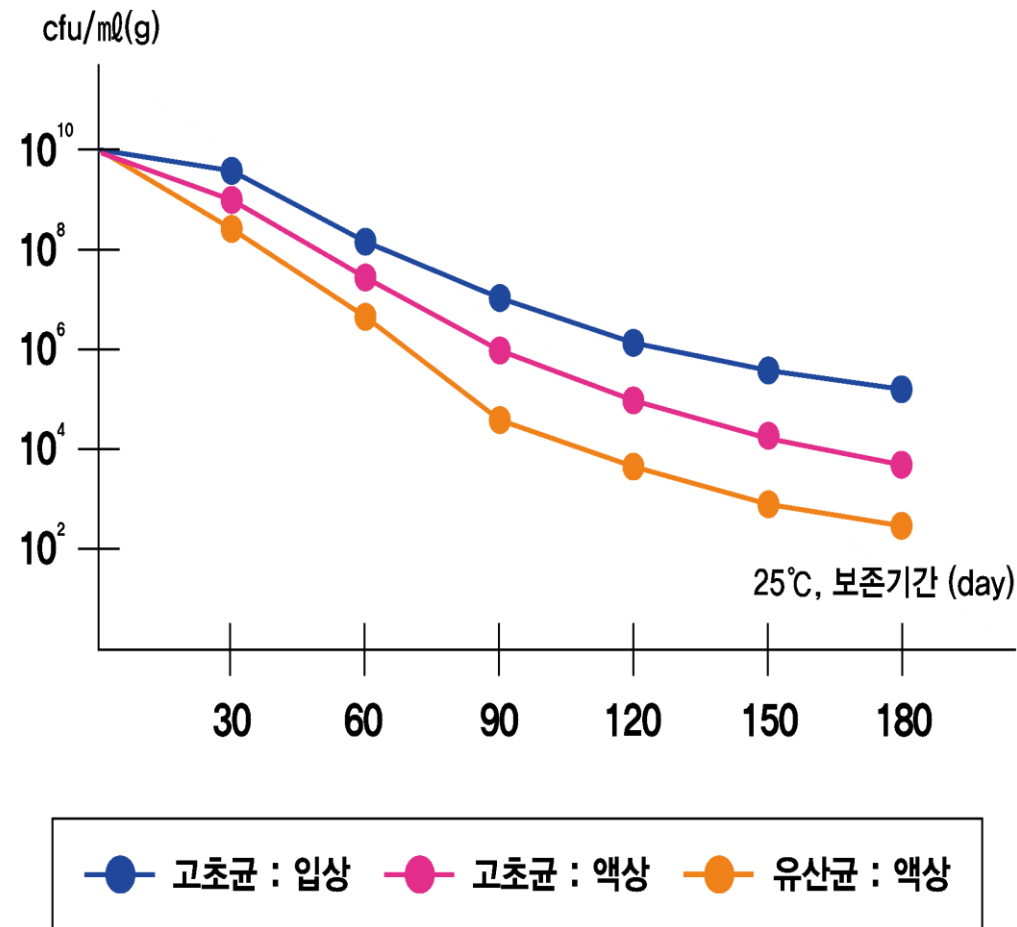
### 3. 토양 미생물제 이야기 – 토양미생물제 효과에 대한 의문 ?

- ❖ 토양 깊이 10cm, 300평에 미생물제 10억( $1 \times 10^9$ ) CFU/mL 수준의 미생물제 1L를 공급 시
  - 토양 1g에 제공되는 총 미생물 수는 약  $1.0 \times 10^4$  CFU/g 수준
- ❖ 토착 미생물(세균, 사상균 등) 수 = 평균  $1 \times 10^6 - 1 \times 10^7$  CFU/토양g(1억-10억 마리, cell/g)
- ❖ 결론
  - 10억( $1 \times 10^9$ ) CFU/mL(g) 수준의 미생물제 최소 10L 이상을 공급해야 토착 미생물 수와 비슷
  - 대부분 미생물제 보증미생물 수는  $1 \times 10^{6 \sim 7}$  CFU/ml(g) 수준임(숨겨진 비밀 ?)
  - 토착미생물과 경쟁에서 활착 할 수 있는 젊고, 강한 활력균(고초균) 들이
  - 충분한 먹이(유기물)가 있는 토양 내에서 증식을 통해 공급된 미생물 수를 늘여야 함
- 경쟁 가능한 세포 수로 증식하는 기간 까지 미생물 효과가 서서히 나타남

#### ❖ 생균수 안정성 :

- 고초균(입상) > 고초균(액상) > 유산균(액상)

➤ 미생물제는 배양일로 부터 **빠른 시간에**  
**사용**이 필요 : 생균수 및 생육효과 증진



### 3. 토양 미생물제 이야기 – 미생물제는 고초균(*Bacillus subtilis*)

❖ 국내 미생물제 보증미생물로 90% 이상 고초균을 사용하는 이유?

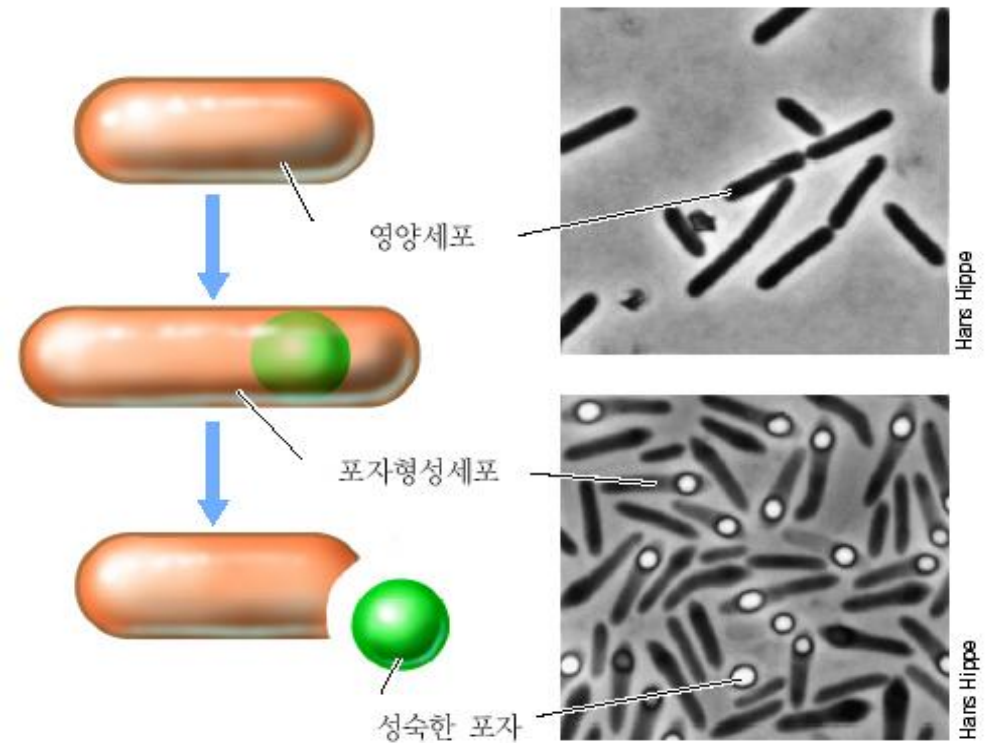
❖ 고초균(*Bacillus subtilis*)은 **불사조** !

- 내생포자(endospore) → 영양세포(vegetative cell)

\* 내생포자의 특징

- 환경변화에 대한 저항성이 강함
- 열에 강해 오랫동안 생명성 유지

❖ 영양세포가 파괴되어도 환경조건이 양호해지면  
내생포자가 다시 정상적인 영양세포로 되 살아나  
토착미생물과 경쟁에 유리



#### ❖ 자가배양 미생물제 사용 시 고려사항

- 접종균(고초균, 유산균, 효모 등)의 순도 및 생균수
- 제균 또는 멸균 가능 배양시설
- 배양조건(적정 배지(영양원), 온도, 공기, pH) 충족
- 접종균(유익균)이 우점하는 배양액 회수시점 선택

➤ **접종균 생균수 1억cell/mL 수준의 배양액**

➤ **오염균(잡균, 병원성균)이 배제된 배양액**

#### 미생물 배양시 생육곡선



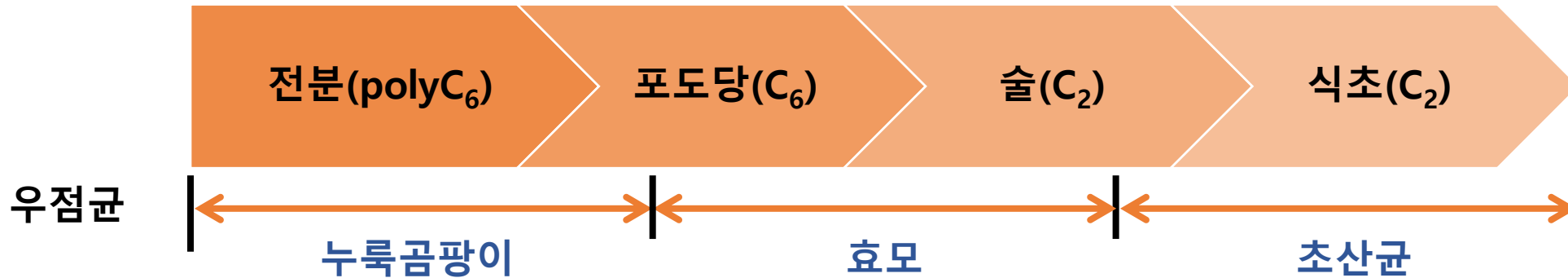
### ❖ 천이현상 : 미생물이 서식환경의 영양원에 따라 우점하는 미생물이 바뀌는 현상

- . 동물, 식물, 미생물의 영양원은 고분자 유기물(전분, 지방, 단백질 등)
- . 초식동물 : 식물(풀과 잎)만 먹음
- . 육식동물 : 고기만 먹음
- . 미생물(편식쟁이) : 선호하는 영양원만을 주로 이용

→ 서식환경의 영양원에 따라 우점하는 미생물이 바뀜

### ❖ 천이현상은 토양환경(영양원, 온도, pH, 산소량, 이산화탄소 농도 등)에 따라 미생물 상 변화의 중요 지표

### ❖ 천이현상의 예 (술과 식초 발효)



- 서식환경에 따라 미생물종과 생태계의 속성이 변함
- 토양에 독소물질의 지속적 유입 → **독소(농약)이용균 우점** → 토양 생태계 교란  
→ 식물뿌리의 영양흡수 불균형
- 양질의 유기물과 건강한 유익균(미생물제)의 지속적인 공급이 필요

### 3. 토양 미생물제 이야기 – 작물은 어떤 비료를 먹나 ?

#### ❖ 비료의 형태

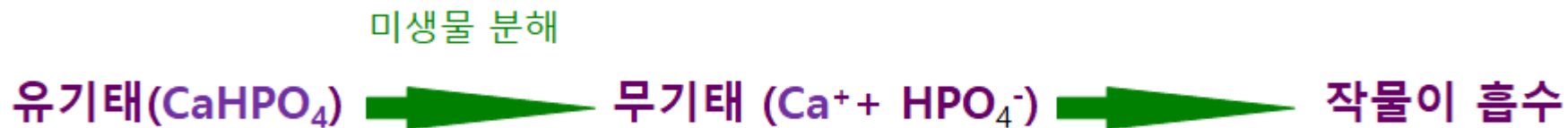
- **유기태** : 작물이 먹을 수 없는 염 형태 (대부분의 비료)

예) 요소, 인산가리, 질산칼슘, 각종 **유기물** 등

- **무기태** : 작물이 먹을 수 있는 이온화 형태(미생물 분해)

예) 질산이온( $\text{NO}_3^-$ ), 암모니아이온( $\text{NH}_4^+$ ), 가리( $\text{K}^+$ ), 인산( $\text{PO}_4^-$ ), 칼슘( $\text{Ca}_2^+$ ),

아미노산 등 **무기화된 유기물**



- 01 기후변화에 따른 토양환경 이야기
- 02 미생물 이야기
- 03 토양 미생물제 이야기
- 04 토양과 뿌리 이야기**
- 05 맺음말 및 질의 응답



## 4. 토양과 뿌리 이야기 - 식물, 흙 및 미생물의 기능



### ❖ 성경에서 하느님이 말씀하신 미생물(곰팡이, 레위기 13,47) 이야기?

- 땅의 흙으로 사람뿐 만 아니라 온갖 짐승과 새를 빚으셨다(창세기 2,19)
- 흙에서 나왔으니 흙으로 돌아간다(창세기 3,19)
  - 생명체는 원소로 되어있는 양분물질을 흡수하여 생명체를 구성
  - 사 후 **미생물**에 의해 흙에서 소멸되어 본래의 원소로 되돌아 감

➤ 토양은 생명의 젖줄이고 생명체의 안식처

➤ 생명의 젖줄(영양물질)을 만드는 과정에 **놀라운 미생물**이 관여

- 모든 유기물을 분해하여 토양과 식물에 공급

## 4. 토양과 뿌리 이야기 – 토양(생명의 젖줄)

### ❖ 흙의 비율

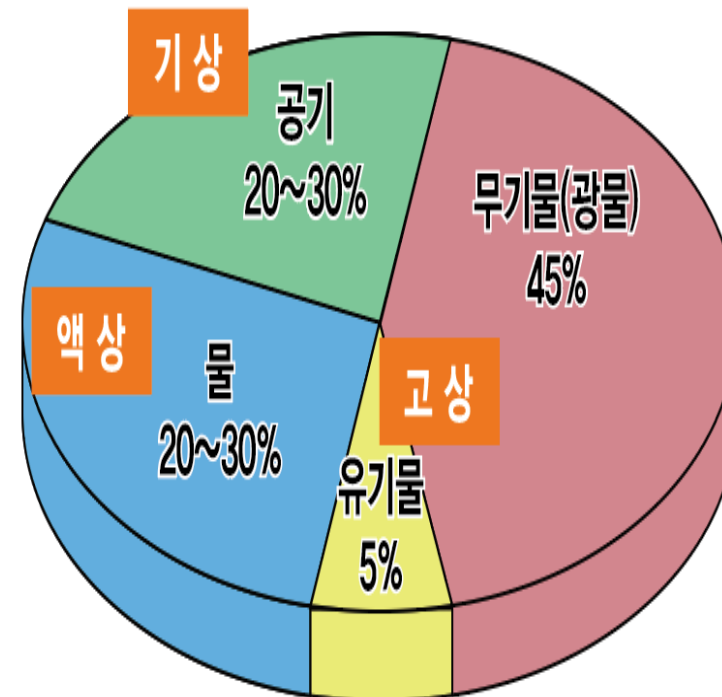
- 고상(무기물 40 ~ 45% + 유기물 5 ~ 10%)
- 액상(물 20 ~ 30%)
- 기상(공기 20 ~ 30%)

### ❖ 흙의 주요성분(전체성분의 96% 차지)

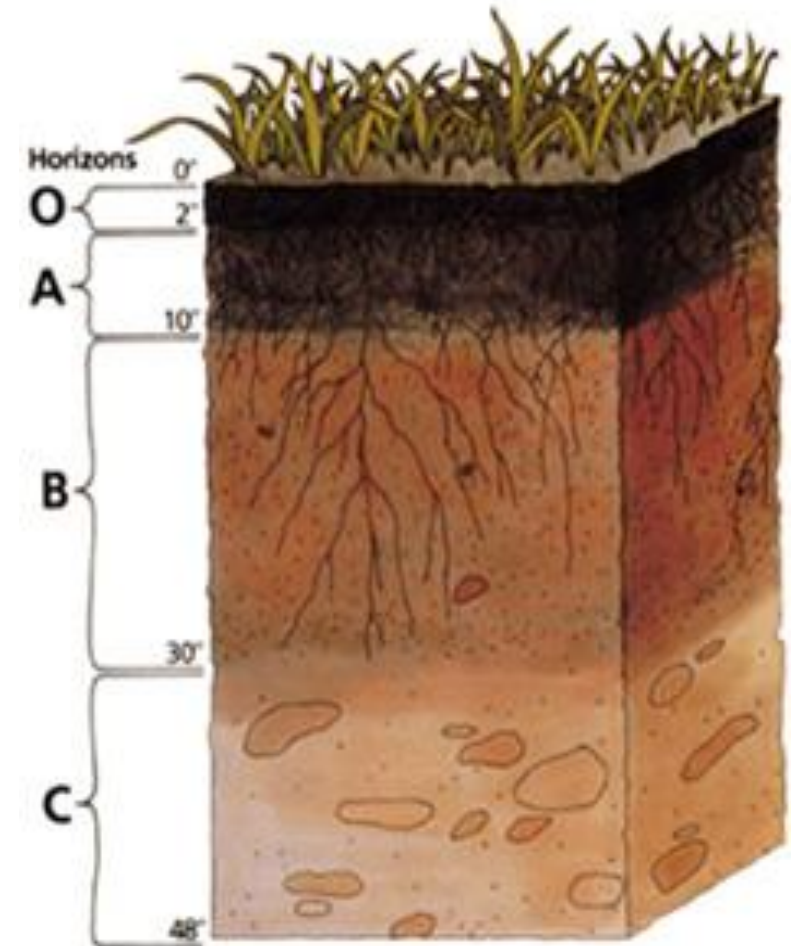
- 규소(Si) > 철(Fe) > 반토( $Al_2O_3$ ) > Ca > Mg > Na > K

### ❖ 흙의 성(性)

- 여성(음이온) : 95% 이상
- 남성(양이온) : 1 ~ 5%



- ❖ O층 : 유기물에 의해 덮여진 표면층(2 ~ 3cm)
- ❖ A층 : 다양한 성분(부숙 유기물)이 축적된 토양  
(다양한 미생물 서식, 10 ~ 12cm)
- ❖ B층 : 무기질과 양분이 축적된 집적층(경반층)
- ❖ C층 : 토양의 가장 아래 모암이 풍화된 비경직 토양층
- ❖ 과수류는 깊은 뿌리 내림을 위해 경반층 관리가 중요



❖ 토양온도는 작물의 생장속도, 미생물 활동, 유기물분해속도 등에 영향

- 뿌리발달 적정 온도 : 15~20°C

- 10°C 이하 : 뿌리 생장 저하, 인산흡수 불량

- 30°C 이상 : 뿌리생장 억제, 미생물 활동 과도, 유기물 분해 가속화

- 토양 미생물 활동 적정온도 : 25~30°C도

- 10°C 이하 : 미생물활동 감소, 유기물 분해 느려짐

- 40°C 이상 : 유익균 활동 억제, 병원균 증가

➤ 토양 온도는 이상기후에 따른 작물생육 변화(열과, 생장억제 등) 에 중요한 요인

### ❖ 양분의 가용화 및 미생물 대사작용에 직접적인 영향

- 시설재배지 질산과다 축적 토양 : 토양 pH가 5 까지 낮아져 → 질산화작용이 저해  
→ 아산화질소 방출로 → 가스장애 발생
- 토양 산성화 : 호산성균의 우점화, 호산성 병해충 발생

### ❖ 산성토양의 중성화를 통해 토양 생태계 환경을 개선

- 근권 미생물 활성화 → 뿌리 발달 및 흡수력 증대
- 집적(불용) 유기태 비료의 가용화

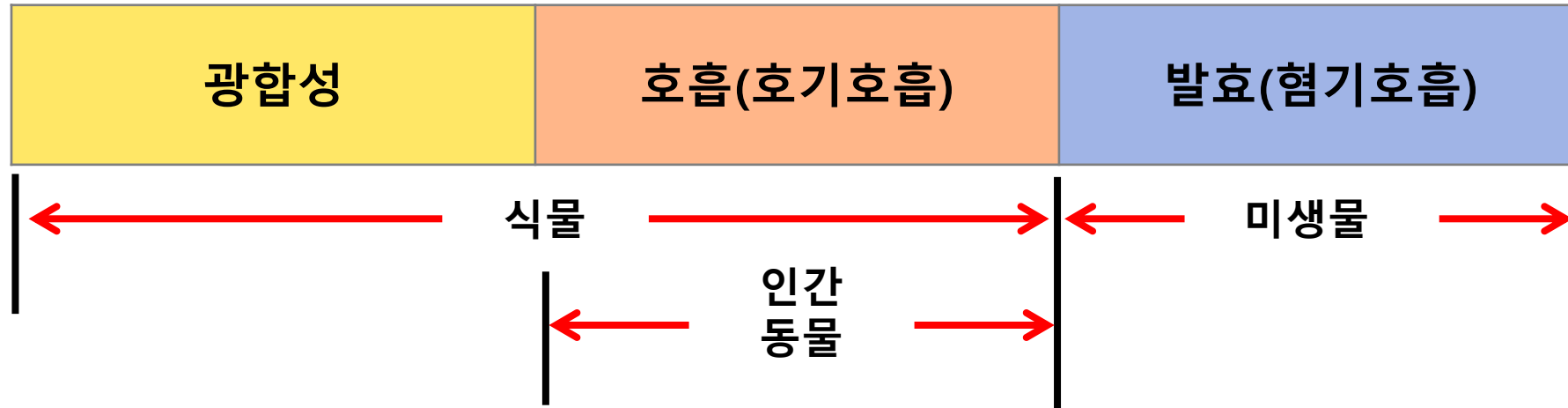
## 4. 토양과 뿌리 이야기 - 토양 공기(산소)

- ❖ 산소가 많으면 고온과 저온에서 뿌리 저항력 증대(온도변화에 대한 완충작용)
- ❖ 토양미생물 활동은 토양공기 중의 산소농도와 밀접한 관계
  - 토양중의 평균 산소 농도(15%) < 대기(21%)
  - $\text{CO}_2$  농도(0.3%) > 대기(0.03%)
  - 토양  $\text{CO}_2$  농도 증가 → 산소량 감소 → 탄산 생성 → 토양산성화 →  
수분과 무기염류(N, P, K, Ca, Mg)흡수 저해



## 4. 토양과 뿌리 이야기 – 왜 토양에 유기물을 많이 주어야만 하는가?

- ❖ **유기물 = 작물의 보약**
- ❖ **미생물의 먹이로 이용** → 미생물의 증식 및 활동
- ❖ **유기물 및 비료 분해 촉진** → 각종 영양분 공급
- ❖ **CEC 높여 보비력 증대** → 비료의 용탈 방지
- ❖ **토양 중에 흡착 고정된 불용성인산** → 가용화
- ❖ **떼알구조 형성** → 투수성과 통기성 증대
- ❖ **지온상승** → 냉해 방지
- ❖ **토양의 완충능 증대** → 중금속 등 유해물질의 해독을 경감



- 광합성 :  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ (포도당),  $\text{O}_2$  생성
- 호흡 :  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ (포도당)  $\rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{ATP}$ (에너지)
- 발효 :  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ (포도당)  $\rightarrow$  중간 대사물질(술, 젖산, 초산 등)

### ❖ 뿌리의 5가지 역할

- 1) **입** 역할 : 양분과 수분을 빨아들임
- 2) **코** 역할 : 산소흡입
- 3) **다리** 역할 : 뿌리가 없으면 식물이 서지 못함
- 4) **배설**기관 : 노폐물 배설
- 5) **창고** 역할 : 양분저장

➤ 흡수기능, 호흡기능, 지지기능



### ❖ 근권 미생물 : 토양 영양원 대부분을 뿌리에 제공

뿌리권 주변에서 서로 필요한 영양분을

제공하며 공생하는 미생물

- 질소 고정균, 인 용해균, 균근, 사상균 등

. 양분흡수

. 식물생장 촉진

. 병원균 감염 억제

. 유기물 분해



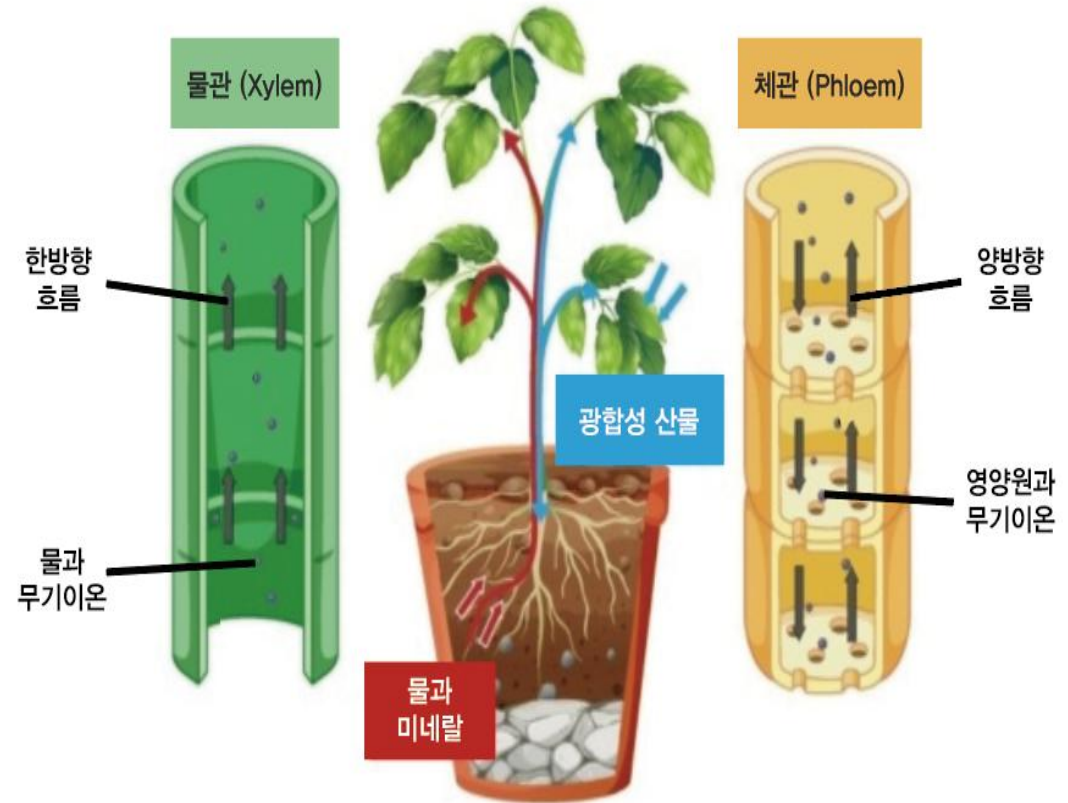
### ❖ 물관부

뿌리에서 흡수된 물과 무기이온을 →  
줄기와 잎으로 이동시키는 한방향 통로

### ❖ 체관부

광합성 유기양분, 뿌리 무기이온을 →  
식물 전체로 이동시키는 양방향 통로

☞ 칼슘은 물관을 통해서만 이동



뿌리가 어떻게 토양에 있는 영양성분을 흡수하나?

### ❖ 능동 수송 : 식물의 에너지 소비

무기이온 농도가 낮은 곳(땅) → 높은 곳(뿌리)으로 이동시켜 흡수,  
에너지(ATP) 사용

- 식물 생장에 필수적인 무기이온 흡수하는 중요한 역할

### ❖ 수동 수송 : 뿌리호흡 감소로 토양산소 보존

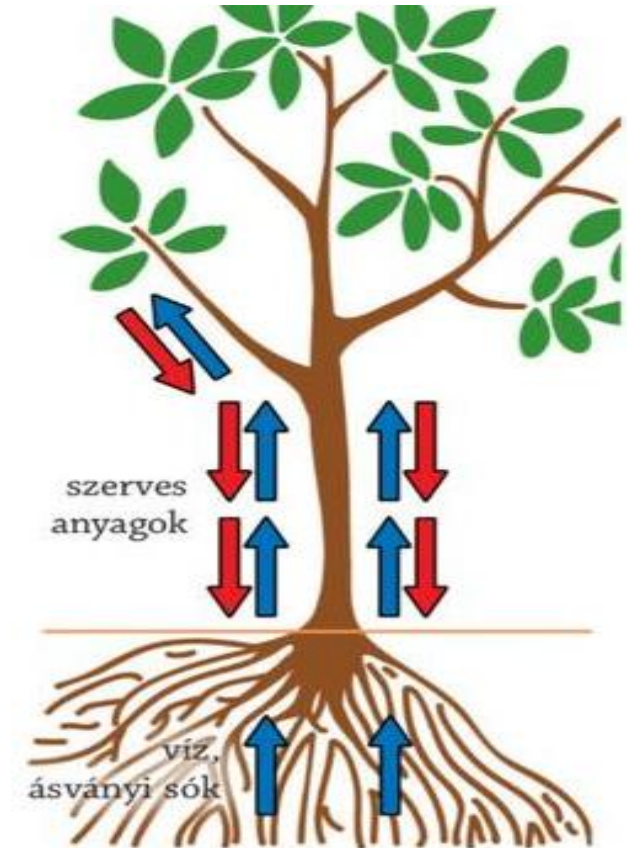
무기이온이 고농도 → 저농도로 이동, 에너지 불필요

- 토양의 무기이온 농도가 높을수록 뿌리의 흡수 속도가 빨라짐

### ❖ 결론

- 토양 무기이온농도가 낮으면 능동수송

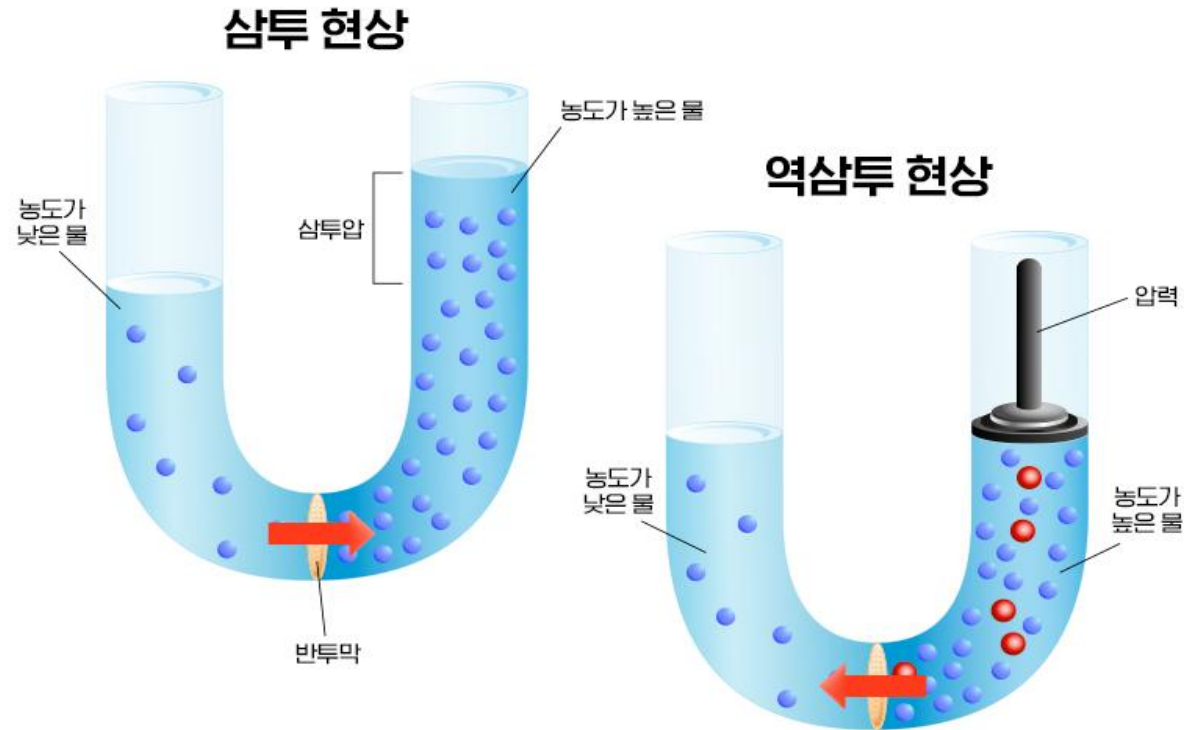
- 토양 무기이온농도가 높으면 수동수송



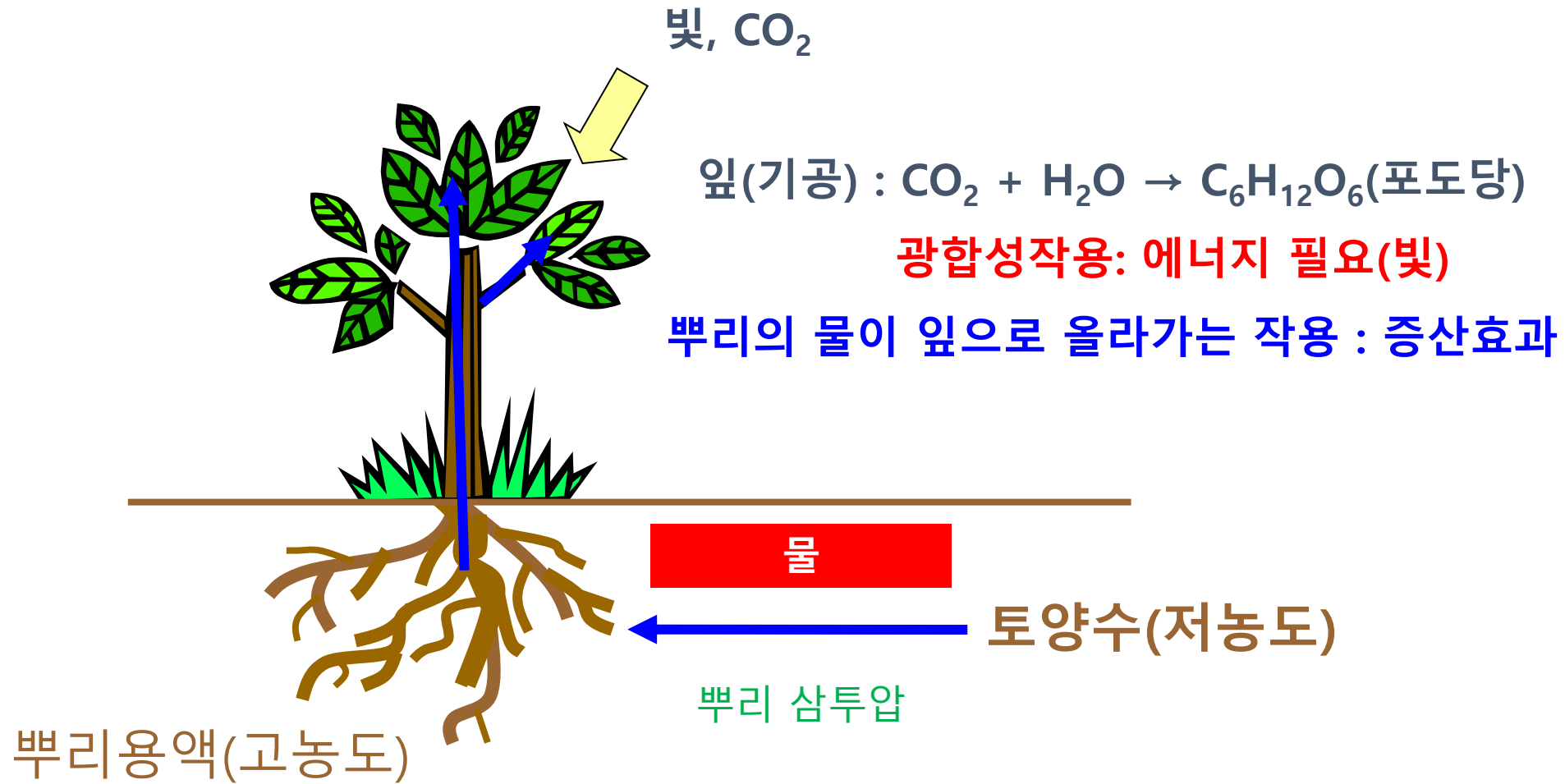
### ❖ 삼투현상 :

선택적 투과막을 통해 물질의 농도가 낮은 곳 → 높은 곳으로 물이 이동하는 현상

### ❖ 뿌리세포는 농도가 낮은(토양) → 높은(뿌리용액)으로 물을 흡수



## 4. 토양과 뿌리 이야기 – 광합성과 삼투현상



### ❖ 식물의 호흡: 광합성 산물을 분해하여 에너지(ATP)를 얻는 산소호흡 과정

- 에너지를 이용해 세포분열, 영양원 및 무기이온을 흡수
- 식물의 호흡량 : 가지와 수간(60%), 잎(32%), **뿌리(8%)**
- 호흡은 하루 종일 일어남(광합성은 낮에만)
- 밤 : 호흡( $O_2$ ) > 광합성( $CO_2$ )  
  낮 : 광합성( $CO_2$ ) > 호흡( $O_2$ )  
  아침, 저녁 : 광합성( $CO_2$ ) = 호흡( $O_2$ )
- 뿌리 호흡 → 인산과 칼슘의 흡수를 증진 → 뿌리가 좋아짐

### ❖ **뿌리호흡이 많아지면 토양 산소량 감소**

- 01 미생물 이야기
- 02 토양 미생물제 이야기
- 03 토양과 뿌리 이야기
- 04 기후변화에 따른 토양환경 이야기
- 05 맺음말 및 질의 응답**



### ❖ 친환경농업 = 유기물 중심 농업 = 미생물 활용 농사

- 토양관리 : 부숙유기물 공급, 유익균 위주의 다양성 확보, 떼알구조 형성
- 뿌리 : 근권 미생물 활성화, 무기태 영양원 공급, 최적 지온유지
- 토양온도 : 산소 공급, 멀칭, 피복작물
- 토양산소 : 용존수 공급, 광합성균 공급
- 산성토양 : 부숙유기물, 무기태량 증가, 석회 시비
- 미생물제 사용은 선택이 아니라 필수
- 생균수 g(mL)당 1억 이상( $1 \times 10^8$  CFU)의 미생물을 공급
- 토착미생물에 경쟁력 있는 활착력과 생명력이 강한 미생물제(고초균 등)의 지속적 공급



유한회사

가이아바이오

GaiaBio Limited Company

