

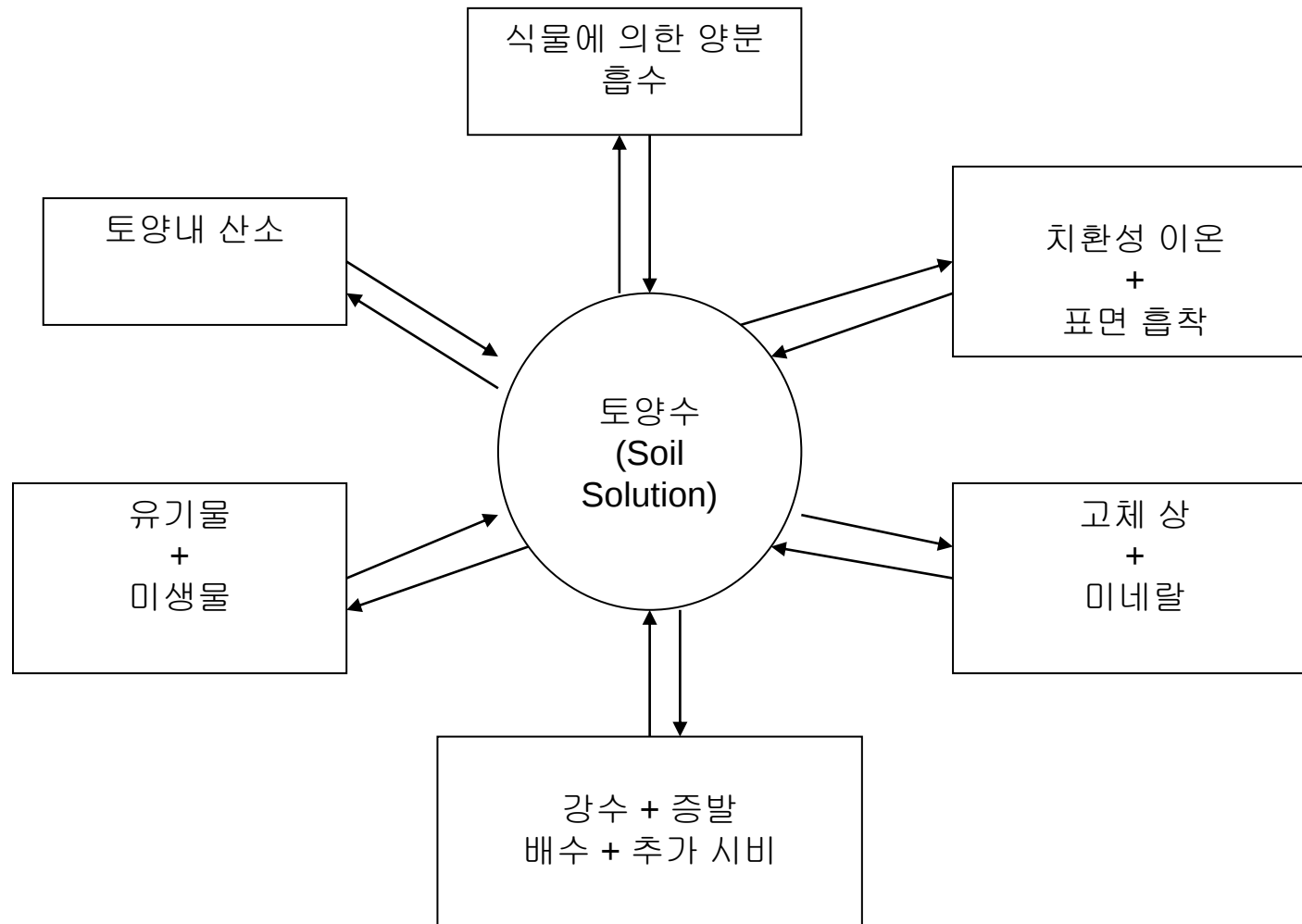
Soil Fertilizer

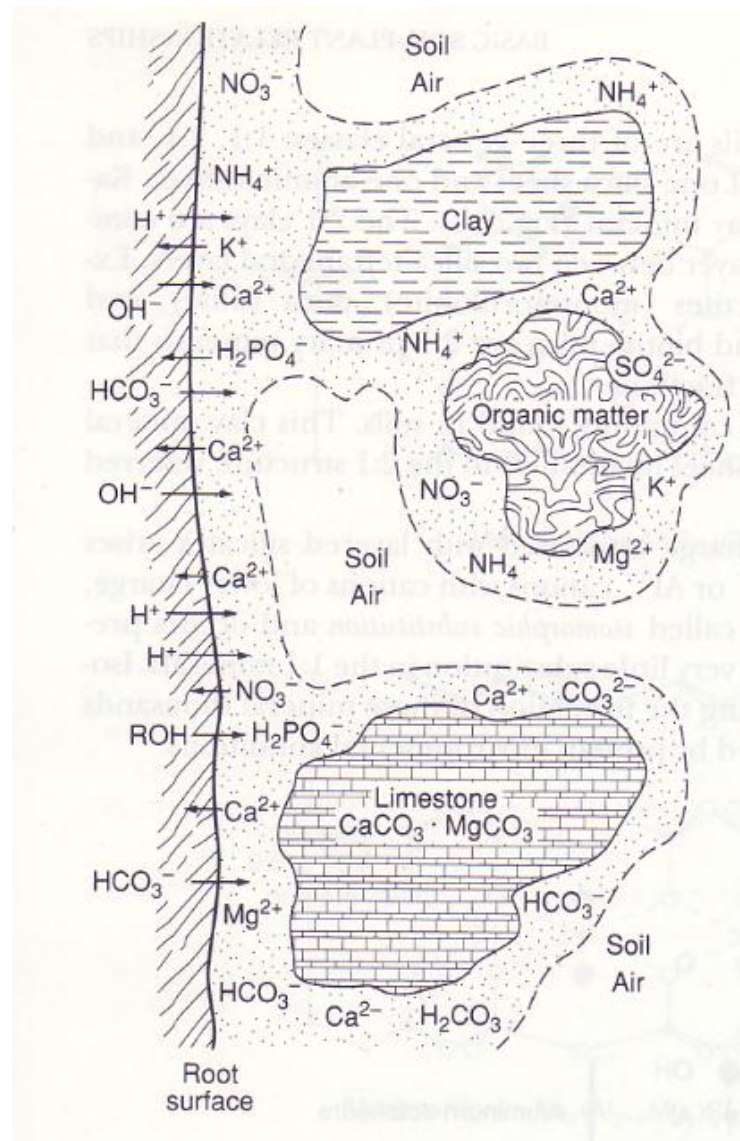
토양 시비

Sowmya (Shoumo) Mitra. Ph.D.
Head Technical Services L&G, APAC, Syngenta Asia Pacific Pte Ltd.

syngenta

Basic Soil Plant Relationship





Ion Exchange in Soils

양이온 and 음이온

용액에서, 염은 다음과 같은 형태로 분리 됩니다.
(예: $\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+$ and Cl^-)

- 양이온



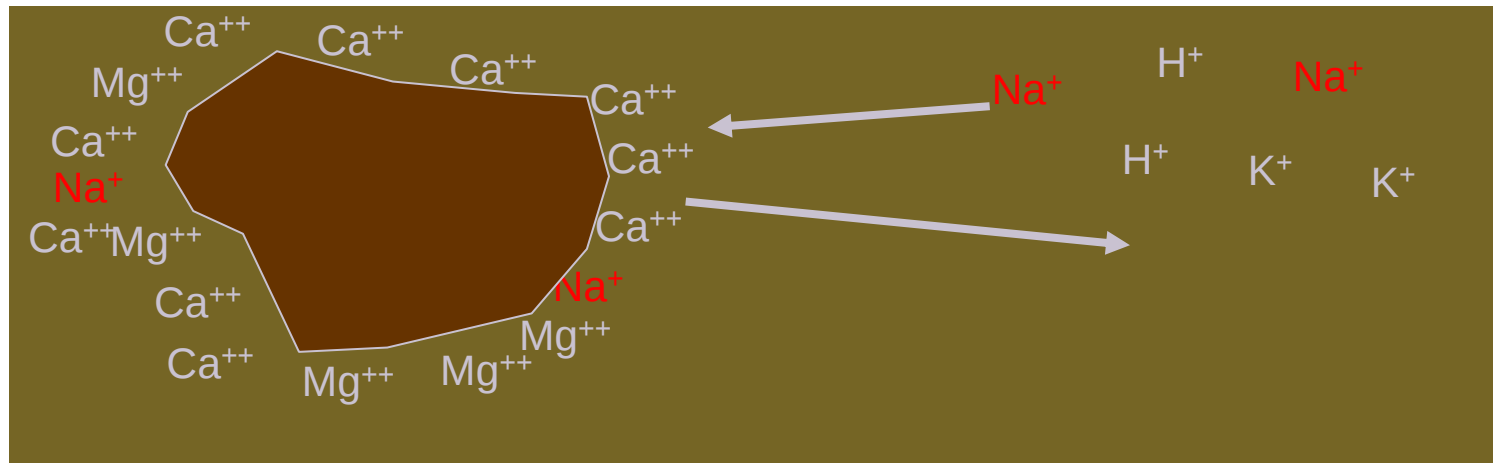
- 음이온



양이온 치환용량(CEC)

CEC 는 토양에 양이온을 붙일 수 있는 능력을 말한다.

즉, 토양의 치환 복합영역과 토양수 사이에 양이온을 치환할 수 있는 최대 능력이라 할 수 있다.



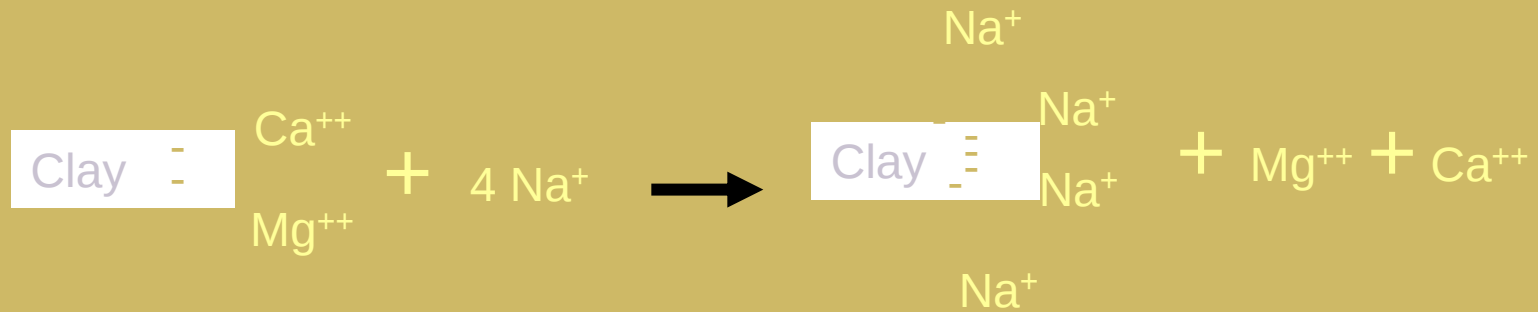
토양 반응

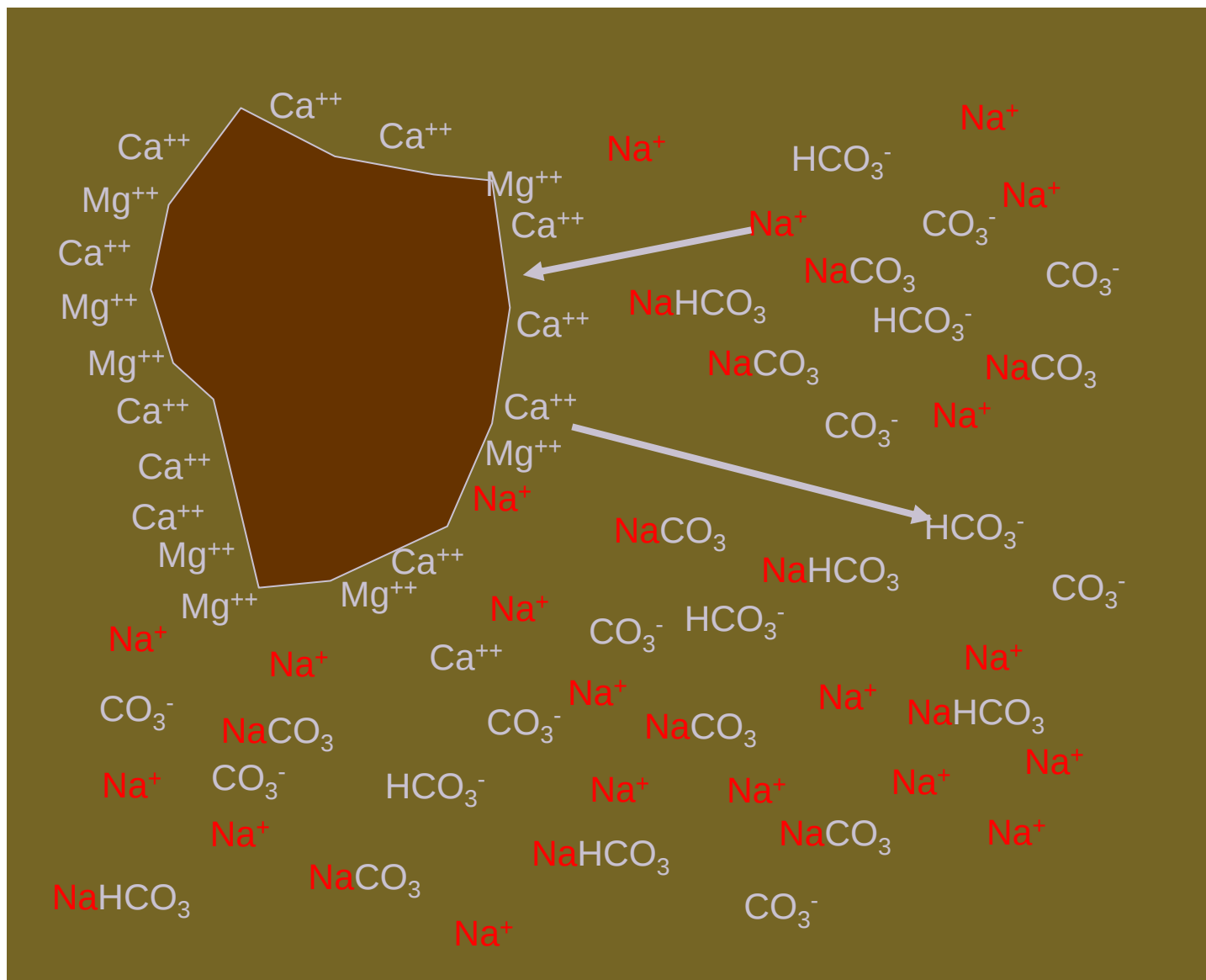
양이온 대체 능력 순서

$\text{Al}(\text{알루미늄}) > \text{Ca}(\text{칼슘}) > \text{Mg}(\text{마그네슘}) > \text{K}(\text{칼륨})$
 $> \text{Na}(\text{나트륨})$

양이온

- Na^+ 와 같은 양이온은 Ca^{++} / Mg^{++} 를 토양에서 교체할 수 있다. (Na^+ 의 양이 과다할 경우)





토양 pH

토양 pH가 미치는 영향

- 영양분 가용성
- Al^{3+} and Mn^{2+} 으로 인한 유독성
- 미생물 밀도
- 토양 pH를 조절하기 위해 필요한 석회나 황의 량
- 잔디의 활력과 지속력

Buffers

- Buffers 또는 Buffer system은 소량의 산이나 염기가 추가되었을 때 토양내 pH의 변화를 최소화 시켜준다. Buffer는 한마디로 pH의 변화를 저항한다는 의미다.

산성 비료를 사용해 생기는 산성토양

- NH_4^+ 는 질화 작용 시 H^+ 를 생성한다
- TSP(triple superphosphate) 와 MAP(monoammonium phosphate)로 부터 인산이 생성된다.
- DAP(Diammonium phosphate)는 토양의 pH를 당초에 높이지만 바로 NH_4^+ 의 질화 작용을 통하여 원래의 pH로 돌아 온다.
- 황과 염소는 토양의 pH를 낮추어 준다.
- Ca, Mg, K, and Na는 양이온을 생성하는 염기로 pH를 조금 올리거나 변화를 주지 않는다.
- 기본적인 양이온의 운반체인 NO_3^- 는 NH_4^+ 의 질소질 보다 적은 량의 산을 생산한다.
- 작물이 양이온을 흡수하면 암모늄태 비료, 식물 및 동물 배설물 또는 유기물 등의 질화 작용으로 토양산도가 증가하게 된다.

염기 포화 and 과다한 염기

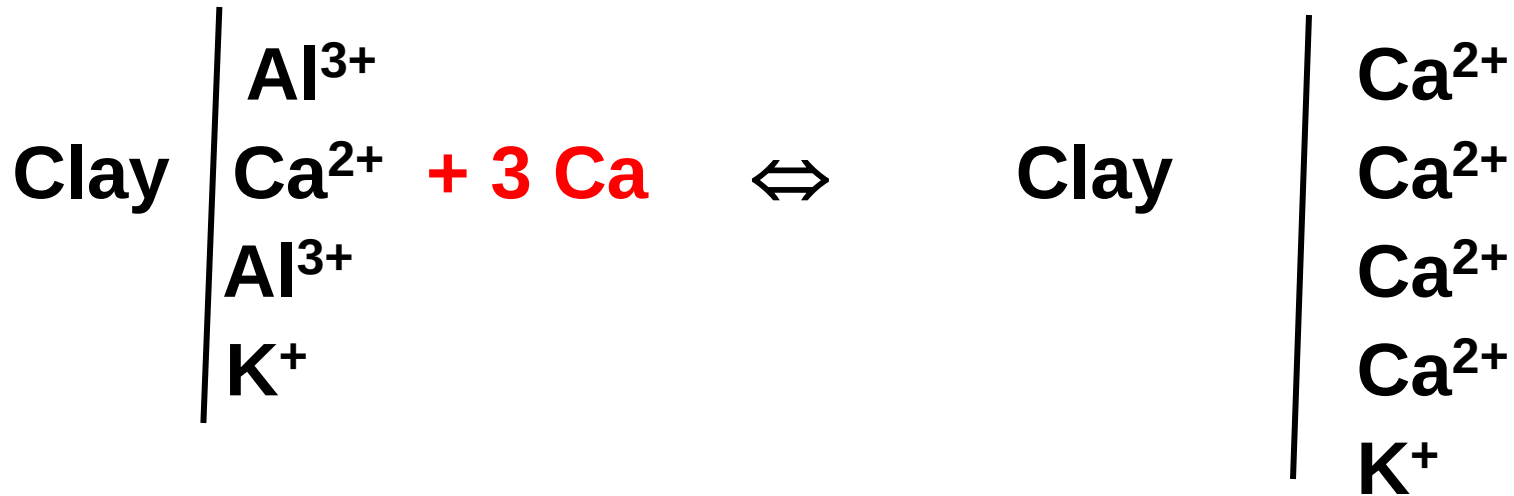
- Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , and Na^{+} 는 염기를 만드는 양이온으로 토양의 pH를 조금 높여 준다.
- Excess Bases(EB, 과다한 염기의 양)은 흡수한 총 양이온(Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} and Na^{+}) –흡수한 총 음이온(Cl^{-} , SO_4^{2-} , NO_3^{-} , and $\text{H}_2\text{PO}_4^{-}$)으로 계산된다.

석회의 필요성

석회 요구에 미치는 요인

- 토양 pH
- Buffering capacity (BC)
- 양이온 치환성(CEC)
- 토양 질감
- 유기물
- 염기 포화(BS)

석화 원료(Liming material)



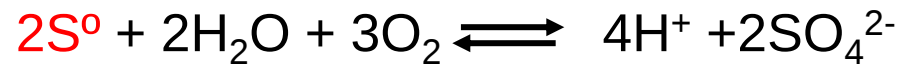
다양한 석화 원료의 탄산칼슘 등가 (Calcium carbonate equivalent, CCE)

Material	Molecular weight (g/mole)	Equivalent weight (mg/meq)	CCE (%)
CaO	56	28	179
Ca(OH) ₂	72	36	136
CaMg(CO ₃) ₂	184	46	109
CaCO ₃	100	50	100
CaSiO ₃	116	58	86

토양을 산성으로 만드는 요소

- **Elemental Sulfur (황) [S^0]**

다음과 같은 과정으로 H^+ 가 생산 됩니다.



- **Sulfuric Acid [H_2SO_4]**

- **Ammonium Polysulfide [NH_4S_x]**

염분성, 나트륨성 and 염분 나트륨성

- **염분성 토양**

전기 전도도(EC) > 4 dS/m

pH < 8.5

치환성 나트륨 비율 (ESP) < 15%

[Old unit for EC mmhos/cm]

- **나트륨성 토양**

전기 전도도(EC) < 4 dS/m

pH > 8.5

치환성 나트륨 비율(ESP) > 15%

- **염분 나트륨성 토양**

전기 전도도(EC) > 4 dS/m

pH < 8.5

치환성 나트륨 비율(ESP) > 15%

Salinity

염분은 어떻게 측정 되는가?

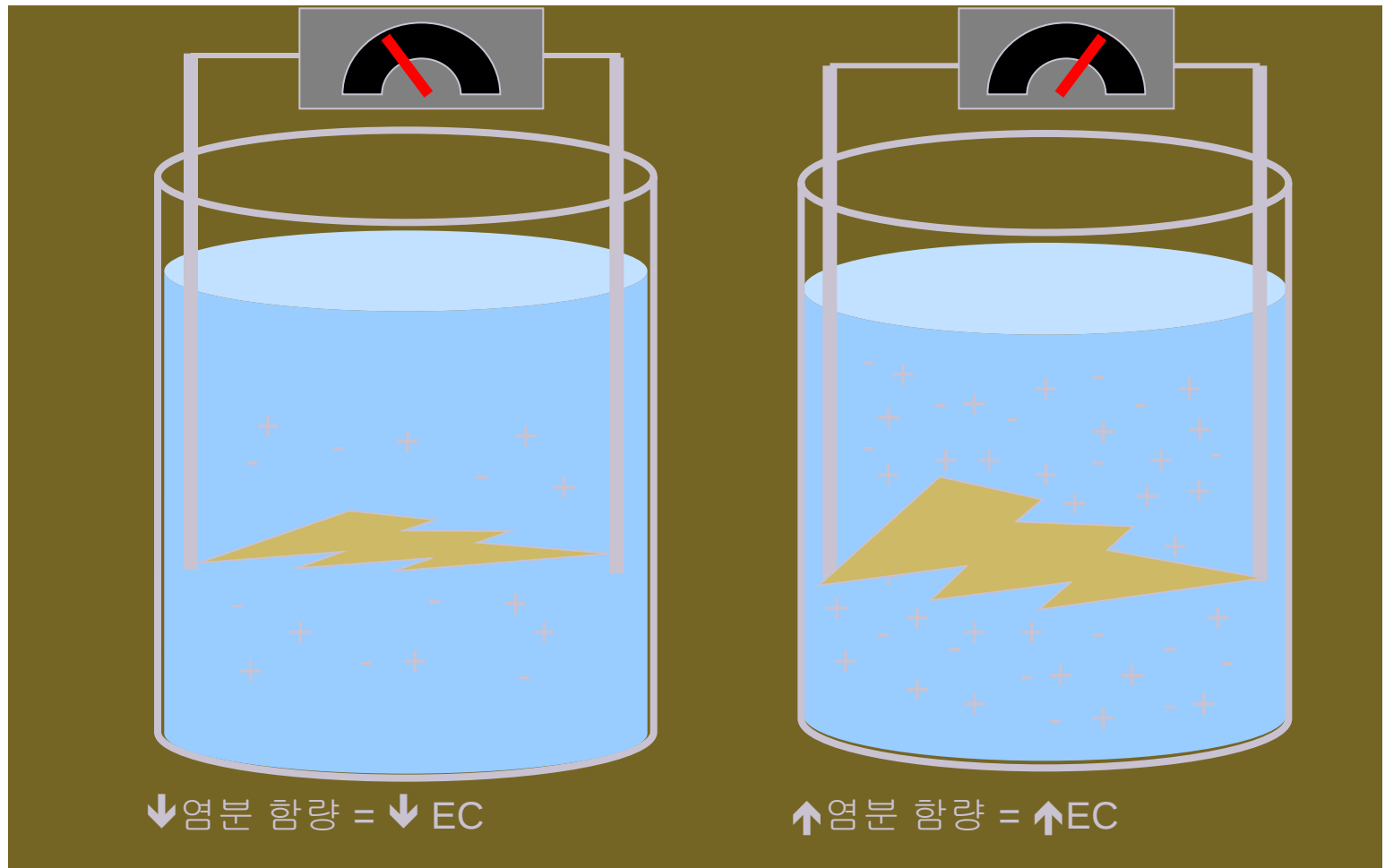
전기 전도성(EC)

- 관개용수의 염분량은 전기 전도성을 사용하여 측정할 수 있다.
- EC의 단위는 decisiemens/meter (dS/m)로 측정되어 있다.

Total dissolved salts (TDS)총 염분량

$$\text{TDS (ppm)} = 640 \times \text{EC}$$

전기 전도성



SAR(나트륨 흡착비)

- 나트륨 흡착비 Sodium Adsorption Ratio (SAR) =

$$\frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}}$$

[단위: meq/L]

치환성 나트륨비

- **Exchangeable Sodium Ratio (ESR) =**
$$\frac{\text{Na}^+}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}$$

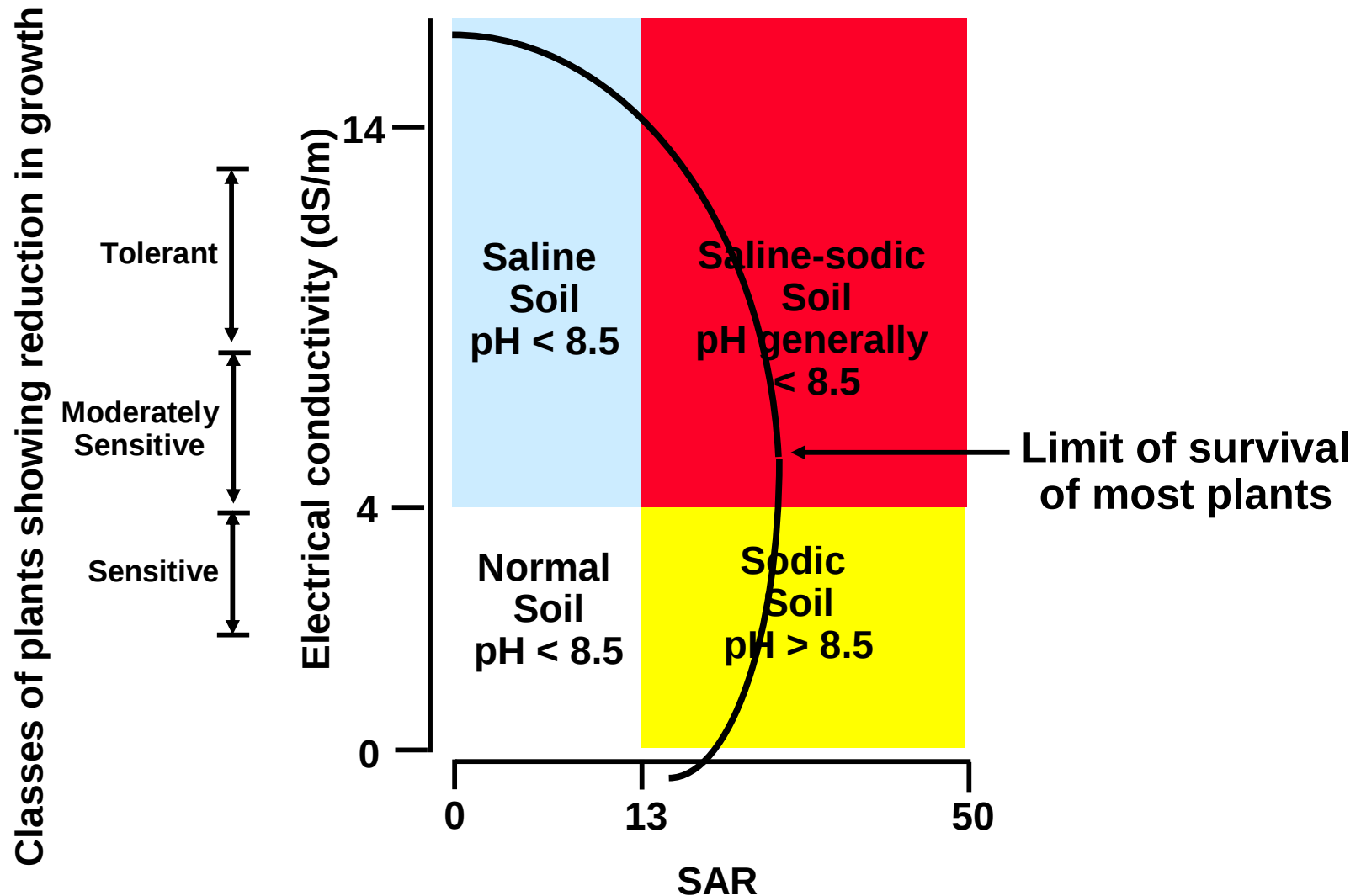
[단위: meq/100g]

치환성 나트륨 백분율

- **Exchangeable Sodium Percentage (ESP)**
$$= \frac{\text{Na}^+}{\text{Cation Exchange Capacity (CEC)}} \times 100$$

[단위: meq/100g]

Response of plants to pH, SAR and EC



Brady and Weil 1996

Figure 2.11 Classification of soils based on salt and sodium content.

필수적인 식물 영양소

- 식물 영양소는 17개의 필수적인 요소가 있다.
- Ni(니켈) 은 최근 추가된 식물 필수 영양소이다.(1989)
- C, H, O – 공기와 물에서 부터 공급됨
- 14의 다른 요소는 식물의 뿌리로 부터 흡수된다.

필수 요소

- 식물의 생장을 위해 꼭 필요한 요소
 - 탄소, 수소, 산소
 - 1차 주요 요소
 - N, P, K (질소,인산,가리)
 - 2차 주요 요소
 - Ca, S, Mg(칼슘,황,마그네슘)
 - 미량요소
 - Fe, Mn, Zn, B, Cu, Mo, Cl, Ni
 - 아이언, 망간, 아연, 붕소, 구리, 몰리브덴, 염소, 니켈

필수적인 영양분의 원칙

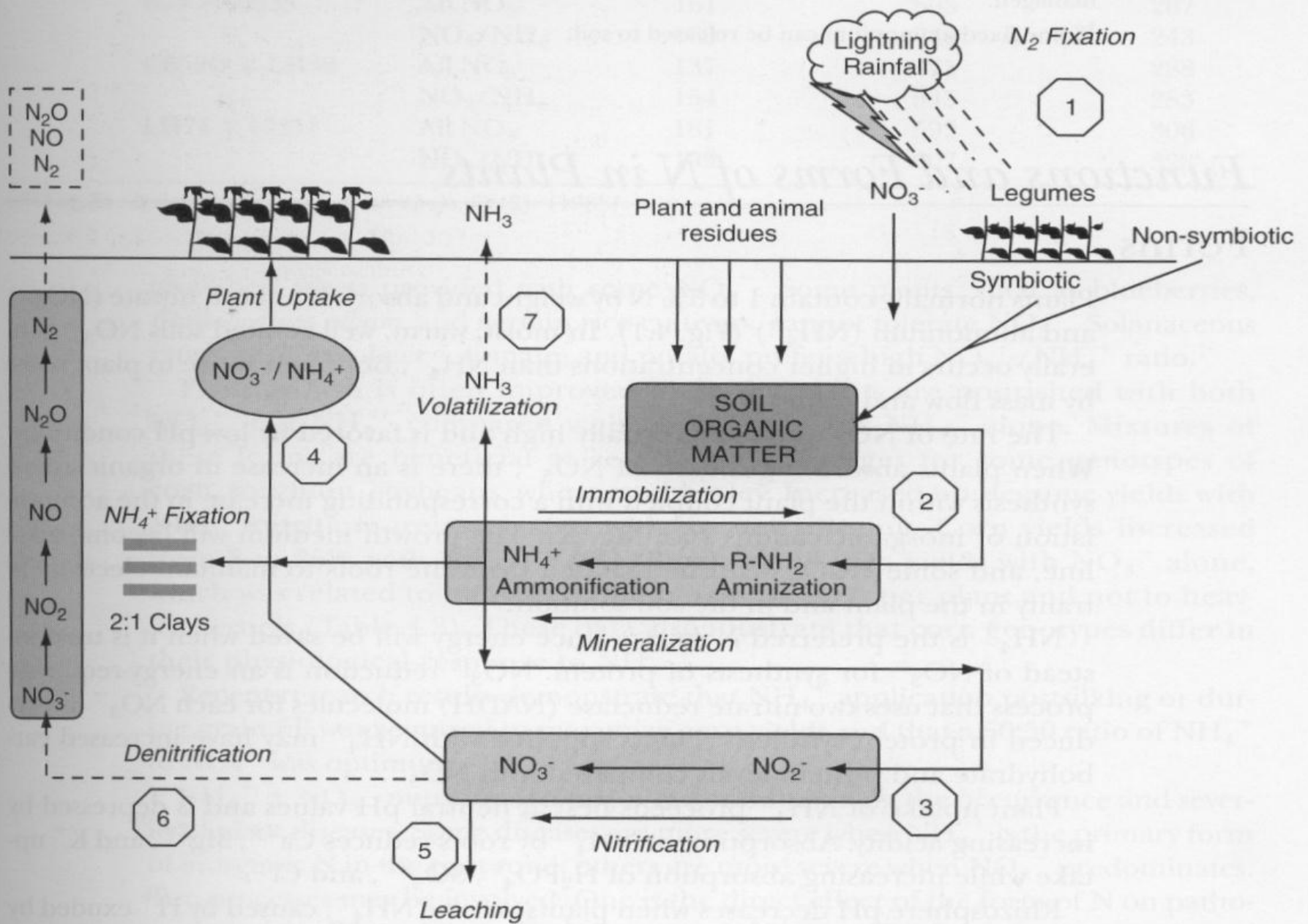
- 3가지의 필수적인 원칙
 - 식물의 생활 주기를 완성하기 위해 필요하다
 - 다른 요소로 대체할 수 없다
 - 식물의 영양과 직접 관련되어 있다

영양분 흡수의 방해

- 적합하지 않은 방법으로 시비함/계산 실수
- 과도한 용탈(강수량)
- 관개용수 수질
- 식물의 형태
- 영양분의 길항작용
- 뿌리 손상



질 소



질소의 입력

- 질소고정
 - 생물적
 - 공업적
 - 전기적
 - 연소
- 동물의 배설물
- 작물 잔해

질소 산출

- 식물의 흡수
- 탈질작용
- 용탈
- 암모늄 고정

질소순환

- 부동화 immobilization
- 무기화 작용 mineralization
- 질소 작용 denitrification

질소의 형태

- 생물이 흡수할 수 있는 형태의 질소는 NO_3^- 과 NH_4^+ 이 있다.
- 2개의 형태는 확산과 대량 흐름으로 움직임
- NO_3^- 는 식물이 기본적으로 흡수하는 형태의 질소를 말한다.
- NO_3^- 은 식물이 가장 많이 흡수하는 형태이며 낮은 pH에서 잘 흡수된다.
- 식물이 다량의 NO_3^- 를 흡수할 경우 식물체내에 Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ 과 결합할 유기 음이온의 생합성이 증가하게 된다.

질소의 형태

- NH_4^+ 는 pH가 7일 때 가장 잘 흡수가 되며, 산도가 증가되면 흡수가 감소됨.
- NH_4^+ 흡수시 Ca^{+2} , Mg^{+2} and K^+ 의 흡수률은 감소됨
- H_2PO_4^- , SO_4^{2-} , Cl^- 의 흡수량은 늘어난다

질소의 형태

- NH_4^+ 흡수의 한계는 제한되어 있다. 과도한 NH_4^+ 의 흡수는 생물의 생장에 장애를 주며, K^+ 의 흡수를 억제시킨다.
- 반대로 생물은 과도한 NO_3^- 를 흡수할 수 있다.

기능

- NO_3^- 는 질산 환원 효소를 통하여 NH_4^+ 의 형태로 축소 되어 아미노산으로 흡수된다. 이러한 아미노산은 단백질과 DNA로 통합된다.
- N은 엽록소에 핵심적인 부분으로 광합성 작용에 영양이 있다. 또한 생물의 성장과 진한 녹색을 유지시키는데 도움을 준다.
- 질소의 공급은 탄수화물의(CHO)에 영양을 미친다.
- 질소가 낮을 경우 CHO는 생물의 세포에 저장하게 되며 세포를 두껍게 만든다. 질소가 높을 경우 CHO는 생물에 세포에 저장되지 않으며 원형질(protoplasm)을 생산한다. 원형질은 매우 수화된 상태로 식물은 더욱 다육질로 된다.

외견상 나타나는 결핍현상

- 생육 및 생장 지연
- 황화 현상
- 잎의 정단 및 잎 둘레의 괴저 증상
- 황화현상은 우선 잎에서 증상이 나타난다.
- 질소가 부족한 경우 질소는 오래된 잎에서 신엽으로 이동을 하게 된다.
- 황화 현상은 잎의 끝 부분에서 나타나게 되며 증상은 서서히 밑으로 이어지게 되며, 심하면 잔디가 고사하게 된다.

질소의 유형

- 무기 질소: NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , N_2O , NO , N_2
- 유기 질소: Amino acids, amino sugar like hexosamines, purine, pyrimidine derivatives

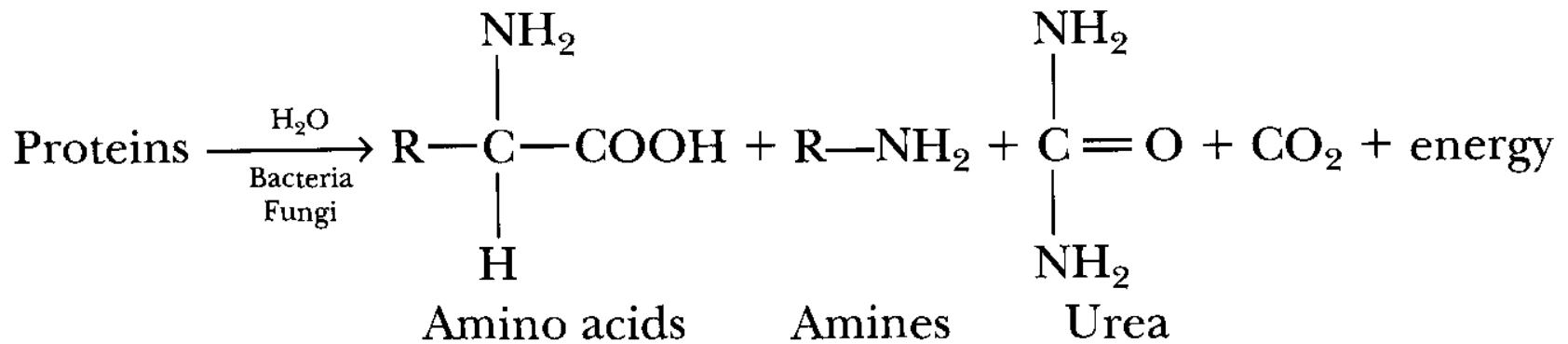
질소 무기화:

- 질소 무기화는 유기질 N을 NH_4^+ 로 변경하는 것을 말한다.
- 질소 무기화는 2개의 반응이 필요하다.

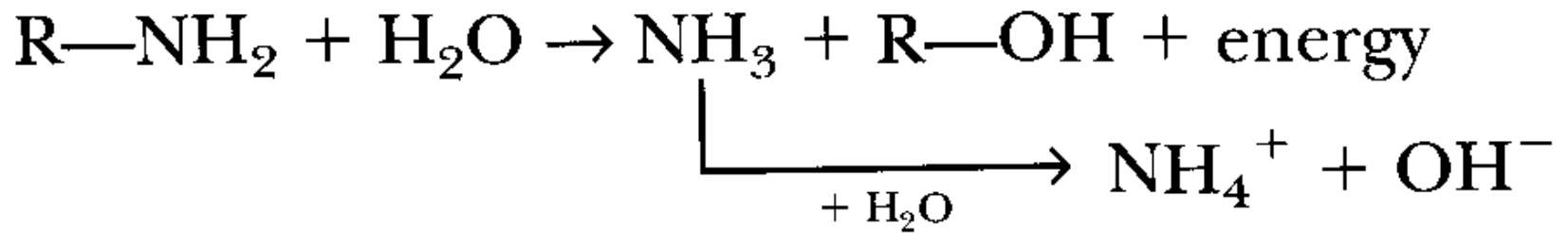
아민화 작용 AMINIZATION

암모니아화 작용 AMMONIFICATION

아민화 작용: 종속 영양 세균, & 균류



암모니아화



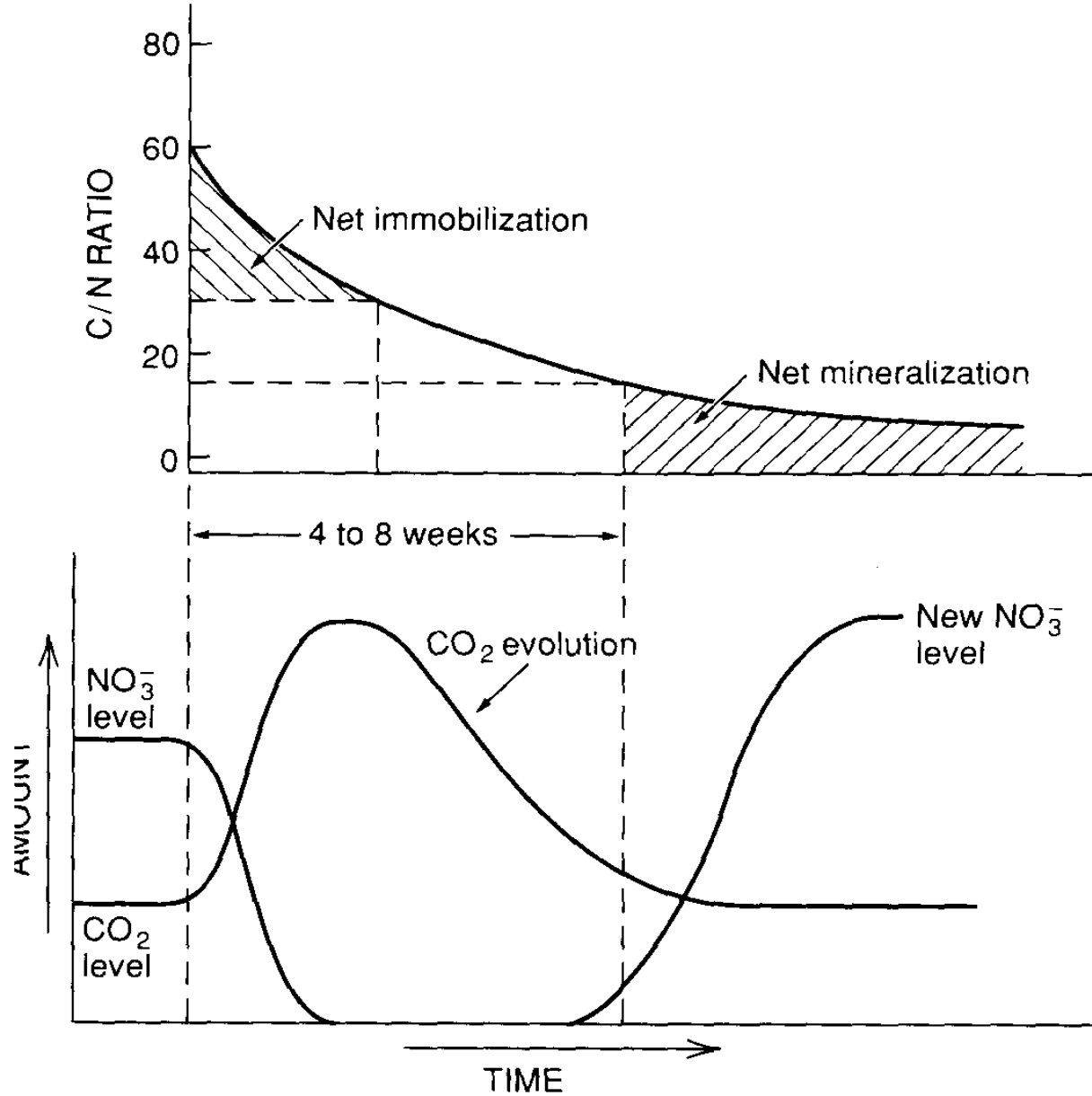
질소의 부동화(IMMOBILIZATION)

무기질 질소(NH_4^+ or NO_3^-)을 유기질 질소로 변화시키는 것이다.

변화된 유기질 질소의 양이 탄소의 양보다 적을 경우 미생물은 NH_4^+ 와 NO_3^- 를 부동화 시킨다. 부패된 유기질 성분은 C에 비해 적은 양의 N의 성분을 지니고 있다. 미생물은 C:N 비율, 8:1에서 질소를 사용하게 된다. 미생물은 C:N비율이 8:1이 되어 질소를 부동화 시킬 수 있다.

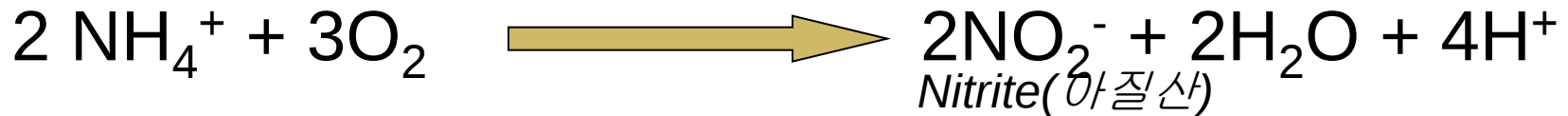
C:N 비율

- %C 와 %N 의 비율은 작물 잔해에 포함되어 있는 요소에서 측정된다.
 - 부식토에 함유되어 있는 N은 대략 5 – 5.5%
 - 부식토에 함유되어 있는 C는 대략 50 – 58%
- ➔ C:N 의 비율의 범위는 9 – 12다.



Changes in levels on N during decomposition of low-N crop residues.

질화작용 (nitrification)



니트로소모나스(Nitrosomonas)

독립영양 세균



니트로박터(Nitrobacter)

Autotrophic bacteria, heterotrophs



NO₂⁻ 는 통기가 잘되는 토양에 축적되지 않는다.

질산의 용탈

- 사용량, 시간, 질소의 소스
- 농작물의 사이즈
- 토양의 상태
- 강우량

암모늄 고정(AMMONIUM FIXATION)

- Vermiculite과 같이 2:1, Illite은 NH_4^+ 를 토양 내 고정 시킨다.
- K^+ 를 제외하고 Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , H^+ 으로 교체될 수 있다.

NH₃의 휘발

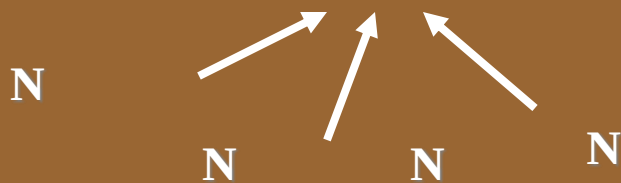
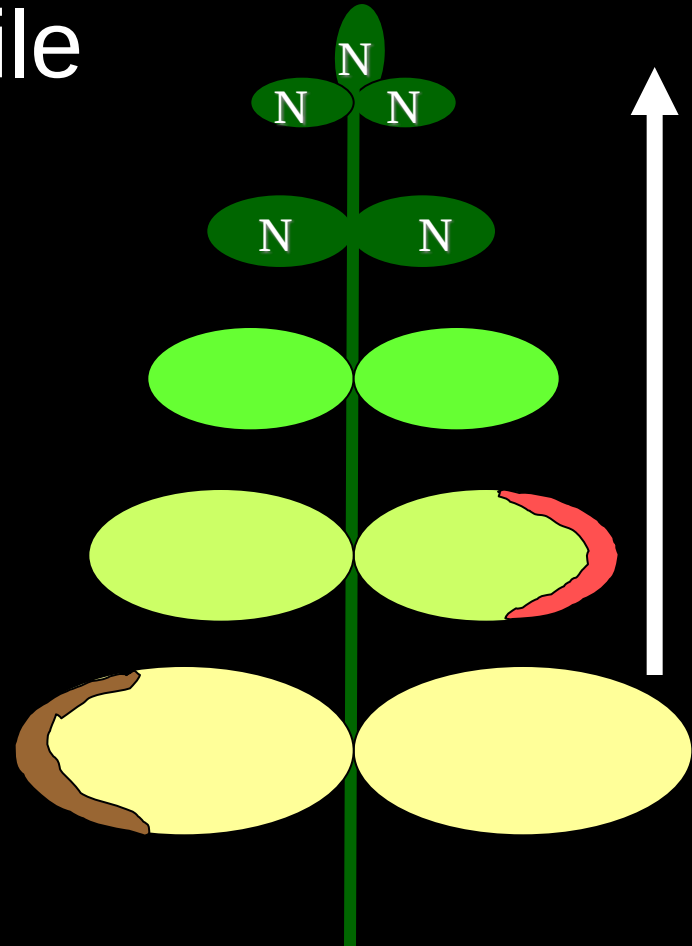
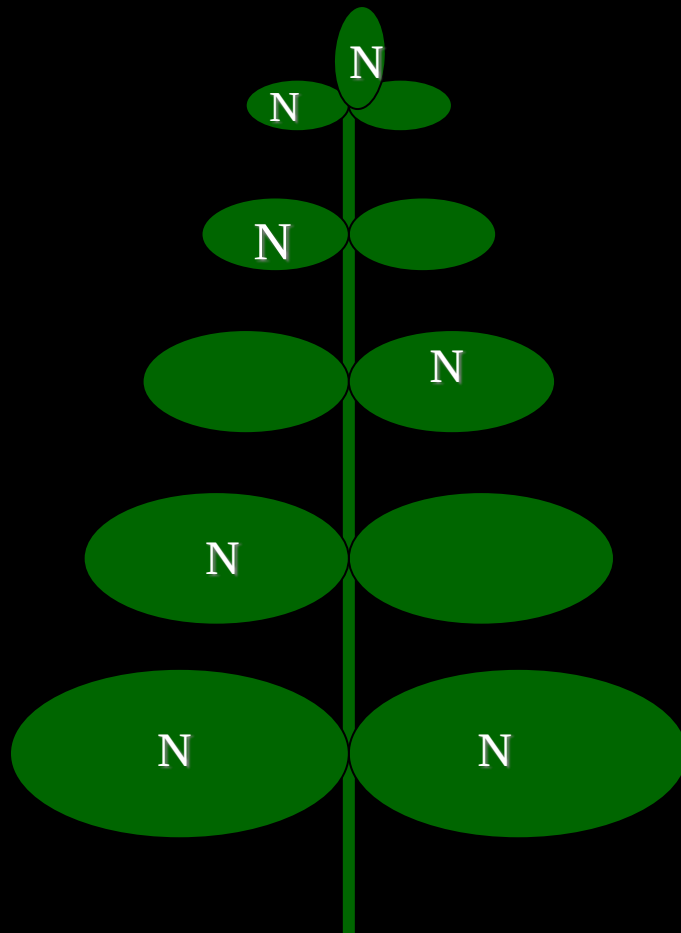
- $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}^+$
- 높은 토양 pH에서 NH_3^+ 의 증발의 조건이 향상된다.
- 산성 이나 중성 토양에 NH_4^+ 비료를 살포했을 때 NH_3 로 휘발되지 않는다.
- $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$ 시 pH는 내려간다.

NH₃의 휘발

- $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NH}_4^+ + \text{HCO}_3^-$
Urea
- H^+ 이 소비가 되면서 pH는 높아진다.
- 그러므로 $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}^+$ 는 NH_3 의 생산을 호의 한다.
- 석회질 토양에서는의 NH_4^+ 비료는 NH_3 의 손실할 가능성이 높아진다.

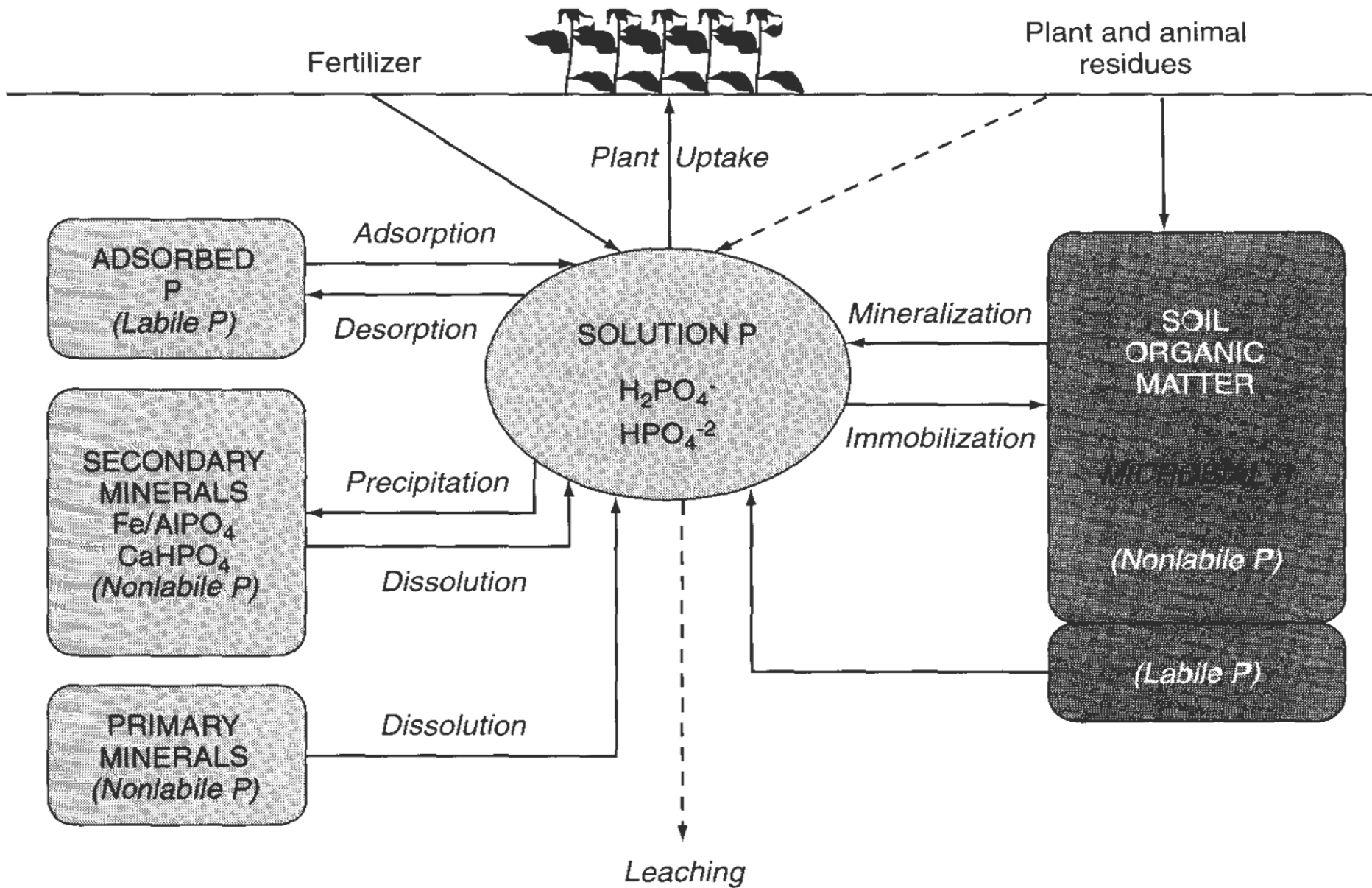
Nitrogen Translocation

Mobile



Phosphorus

인 산



- **P Cycle**

- 토양 ⇄ 불안정한 P ⇄ 안정적인 P

- **Forms**

- 식물이 흡수할 수 있는 인산은 H_2PO_4^- 와 HPO_4^{2-}
- 낮은 pH의 토양에 H_2PO_4^- 의 흡수가 많다.
- 높은 pH의 토양에 HPO_4^{2-} 의 흡수가 많다.

기능

- 대부분의 인산 기능은 **ATP** 합성효소에 필요하다.



- 인산화는 **ATP**의 에너지를 에너지가 필요한 물질로 이동하는 절차이다.
- 인산은 핵산, 조효소, 뉴클레오티드, 인지질, 인단백질의 구성에 필요하다.
- 인산은 식물의 최초 생장 시 가장 필요하다.
- 인산은 뿌리의 생장을 촉진 시킨다.
- 충분한 인산은 뿌리 병을 예방할 수 있다.

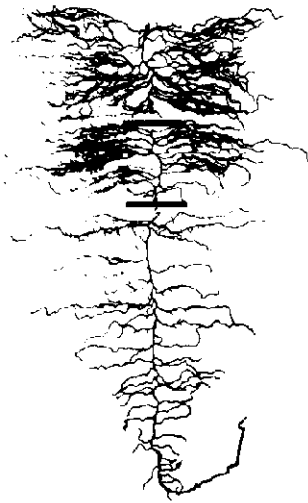
결핍 증상

- 인산은 식물 내 이동이 가능함으로 부족할 시 인산은 오래된 엽에서 생초엽으로 이동하게 된다.
- 인산이 부족하면 잎의 끝부분이 보라색으로 변하는 것을 볼 수 있다.

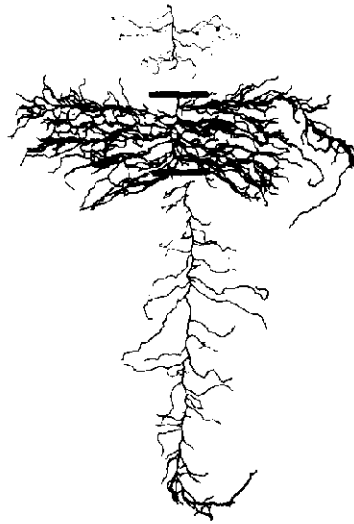
인산의 유형

- H_2PO_4^-
- HPO_4^{2-} 오르토인산염(Orthophosphate)
- pH 7.2시 H_2PO_4^- 과 HPO_4^{2-} 는 거의 같다
- pH 7.2이하 시 H_2PO_4^- 이 주요 유형이다
- pH 7.2이상 시 HPO_4^{2-} 이 주요 유형이다
- 식물은 H_2PO_4^- 의 유형의 인산을 보다 더 신속하게 흡수 할 수 있다.
- 높은 량의 인산은 뿌리가 자라는 팁 부분에 저장되어 있다.

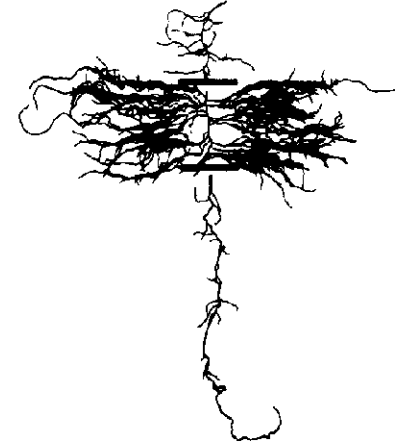
Control (HHH)



Phosphate (LHL)



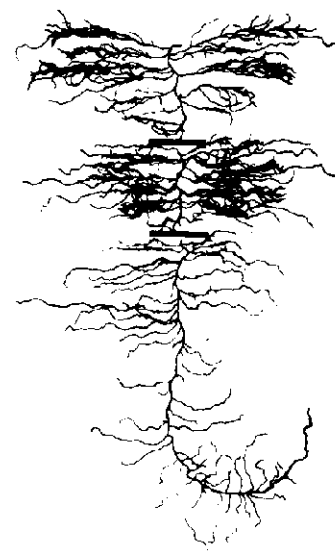
Nitrate (LHL)



Ammonium (LHL)



Potassium (LHL)

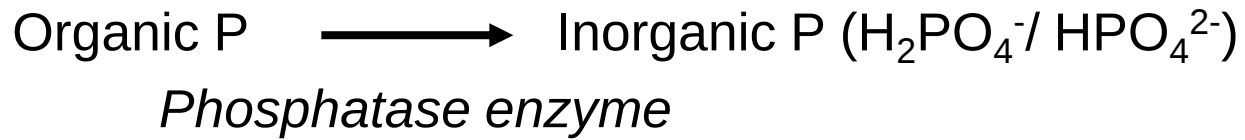


10 cm

유기질 인산

- 유기질 인산은 총 인산량의 50%를 말한다. 유기질 인산은 탄소와 질소가 증가되면 같이 증가된다. C/P 와 N/P 의 비율은 C/N 비율보다 변동이 심하며 토양의 평균 C/N/P/S비율은 140:10:1.3:1.3
- 대부분의 유기질 인산 화합물은 오르토 인산(H_2PO_4^-)의 에스테르 형태이다. 주요 유기질 인산은 다음과 같다;
 - ◆ 인산이노시톨 Inositol phosphates
 - ◆ 인지질 Phospholipids
 - ◆ 핵산 Nucleic acids

무기화 작용



C/P 비율

무기화 /부동화

< 200

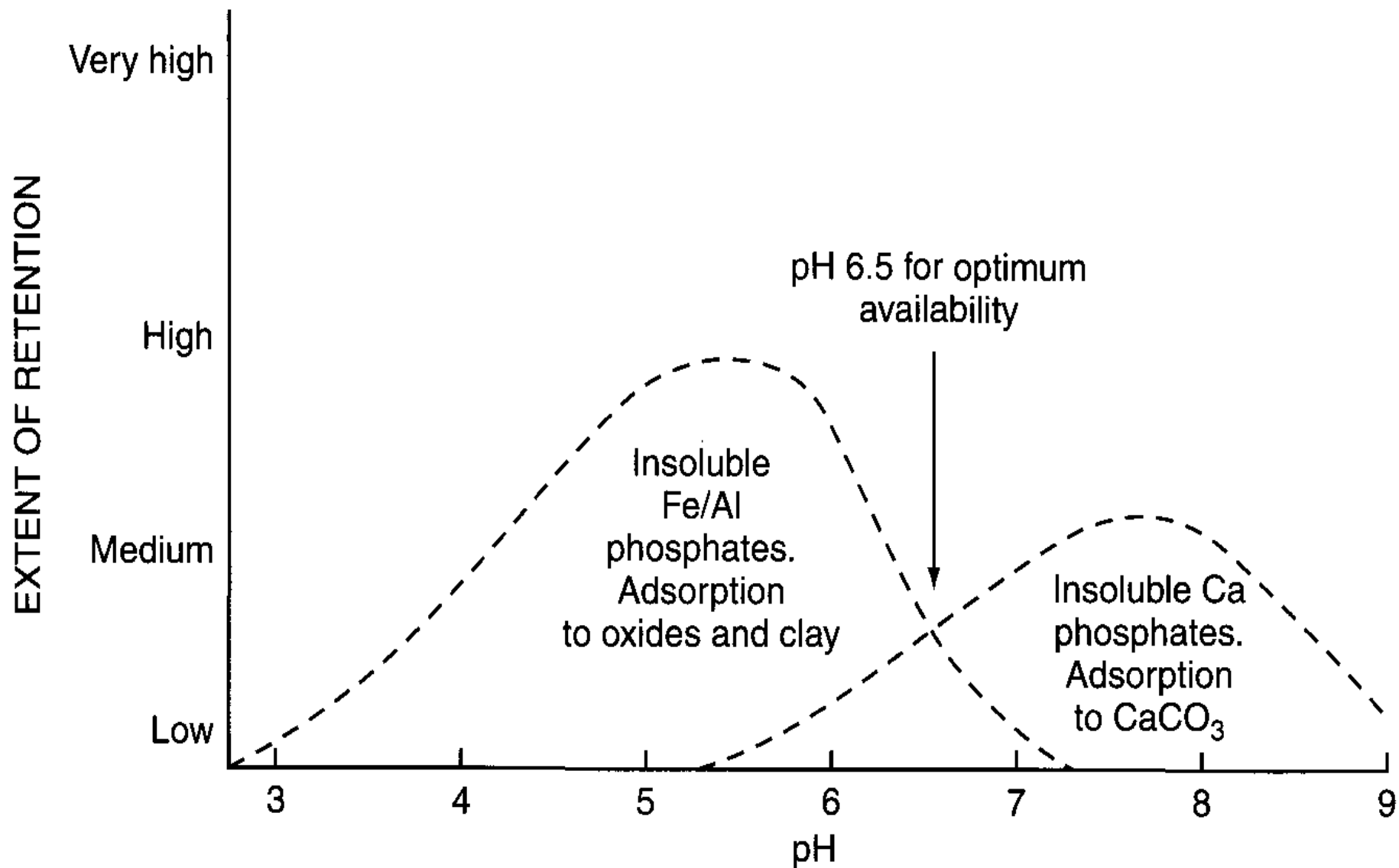
무기화

200 – 300

무기질 인산에 변화 없음

> 300

부동화



Soil pH effect on P adsorption and precipitation.

Adapted from Stevenson, Cycles of Soil, p. 250, John Wiley & Sons, 1986.

인산질 비료

용어

- 물(water) – 수용성
- 구연산염(citrate) – 수용성: 1N 구연산 암모늄에서 추출됨
- 구연산염(citrate) – 불수용성:
- 유효한 인산: 물+ 수용성 구연산염
- 총 인산:유효한 인산+불수용성 구연산염-불수용성 인산

인 산

- **% P₂O₅**

% P₂O₅ 에서 P만을 계산한다.

$$\frac{2 \times \text{P 분자량}}{\text{분자량 P}_2\text{O}_5} = \frac{2 \times 31}{(2 \times 31) + (5 \times 16)} = \frac{62}{142} = 0.43$$

$$\% \text{ P} = \% \text{ P}_2\text{O}_5 \times 0.43$$

- % P 에서 % P_2O_5 계산하기

$$\frac{(2 \times 31) + (5 \times 16)}{2 \times 31} = \frac{142}{62} = 2.29$$

$$\% P_2O_5 = \% P \times 2.29$$

일인산칼슘에(MCP) 첨부되어 있는 P_2O_5



$$\text{분자량} = 40 + 2[(2 \times 1) + 31 + (4 \times 16)] = 234 \text{ g/mole}$$

$$\% \text{ P} = \frac{\text{P 분자량}}{\text{Ca}(\text{H}_2 \text{PO}_4)_2 \text{ 분자량}} = \frac{31 \times 2 \times 100}{234} = 26\% \text{ P}$$

계산시 $\% P_2O_5$

$$\% P_2O_5 = \% \text{ P} \times 2.29 = 59\%$$

인산 이칼슘(DCP)에 첨부된 P₂O₅



$$\text{분자량} = 40 + 1 + 31 + (16 \times 4) = 136 \text{ g/mole}$$

$$\% \text{ P} = \frac{\text{P 분자량}}{\text{CaHPO}_4 \text{ 분자량}} = \frac{31 \times 100}{136} = 23\% \text{ P}$$

$$\text{CaHPO}_4 \text{ 분자량 } 136$$

$$\begin{aligned} \% \text{ P}_2\text{O}_5 &= \% \text{ P} \times 2.29 \\ &= 23 \times 2.29 = 53\% \end{aligned}$$

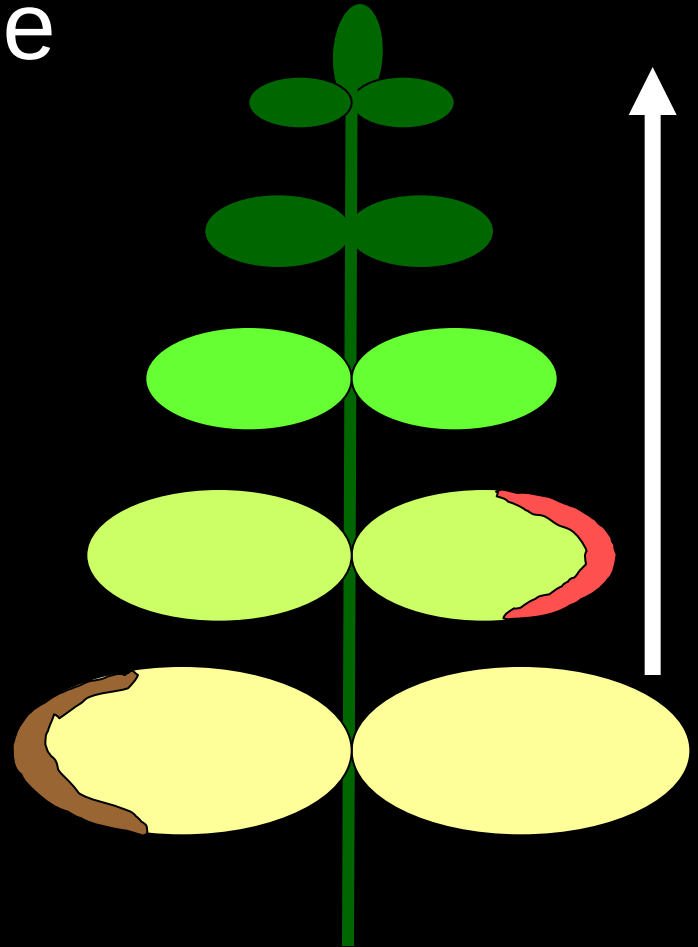
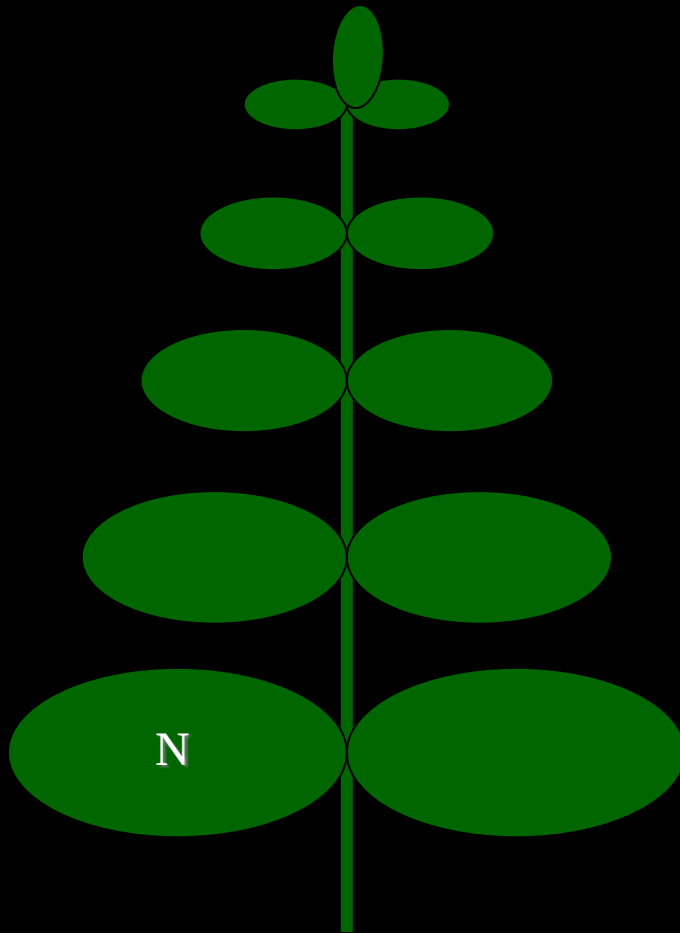
TABLE Common Commercially Available P Fertilizers

Material	Frequently Used Abbreviations	Analysis (%)				Form of P	Percentage Total P Available	Formula of Main P Compound
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S			
Rock phosphate	RP	—	25–40	—	—	Orthophosphate	14–65	[Ca ₃ (PO ₄) ₂] ₃ · CaF _x · (CaCO ₃) _x · (Ca(OH) ₂) _x
Single superphosphate	SSP	—	16–22	—	11–12	Orthophosphate	97–100	Ca(H ₂ PO ₄) ₂
Wet process phosphoric acid	—	—	48–53	—	—	Orthophosphate	100	H ₃ PO ₄
Triple superphosphate	TSP or CSP	—	44–53	—	1–1.5	Orthophosphate	97–100	Ca(H ₂ PO ₄) ₂
Ammonium phosphates								
Monoammonium phosphate	MAP	11–13	48–62	—	0–2	Orthophosphate	100	NH ₄ H ₂ PO ₄
Diammonium phosphate	DAP	18–21	46–53	—	0–2	Orthophosphate	100	(NH ₄) ₂ HPO ₄
Ammonium polyphosphate	APP	10–15	35–62	—	—	Mixture of ortho- and polyphosphates	100	(NH ₄) ₃ HP ₂ O ₇ + NH ₄ H ₂ PO ₄ + others
Urea-ammonium phosphate	UAP or UAPP	21–34	16–42	—	—	Mixture of ortho- and polyphosphates	100	NH ₄ H ₂ PO ₄ · (NH ₄) ₃ HP ₂ O ₇
Ammoniated normal superphosphate	—	2–5	14–21	—	9–11	Orthophosphate	97–100	NH ₄ H ₂ PO ₄ · CaHPO ₄
Ammoniated triple superphosphate	—	4–6	44–53	—	0–1	Orthophosphate	96–100	CaHPO ₄ · NH ₄ H ₂ PO ₄
Potassium phosphates								
Monopotassium phosphate	—	—	51	35	—	Orthophosphate	100	KH ₂ PO ₄
Dipotassium phosphate	—	—	41	54	—	Orthophosphate	100	K ₂ HPO ₄
Potassium polyphosphate	—	—	51	40	—	Polyphosphate and orthophosphate	100	K ₃ HP ₂ O ₇ · KH ₂ PO ₄ · others

SOURCE: Follett et al., *Fertilizers and Soil Amendments*, p. 131, Prentice-Hall, (1981).

Phosphorus Translocation

Mobile



Potassium

칼륨(가리)

칼륨

질소를 제외하고 식물은 가장 많은 양의 칼륨을 흡수하고 있다.

FORMS

칼륨은 K^+ 칼륨이온으로의 형태로 뿌리로 흡수가 된다.

식물 조직내 칼륨의 양은 건물중의 0.5 - 6% 이다.

기능

효소 활성화: 칼륨을 활성화 시키기 위해서는 80개 이상의 효소가 필요하다.

니트로게나이제 효소: $N_2 \rightarrow NH_3$ 는 근류 박테리아의 세포에서 작용을 한다.

K는 탄수화물을 뿌리혹으로 이동시키는데 도움을 준다.

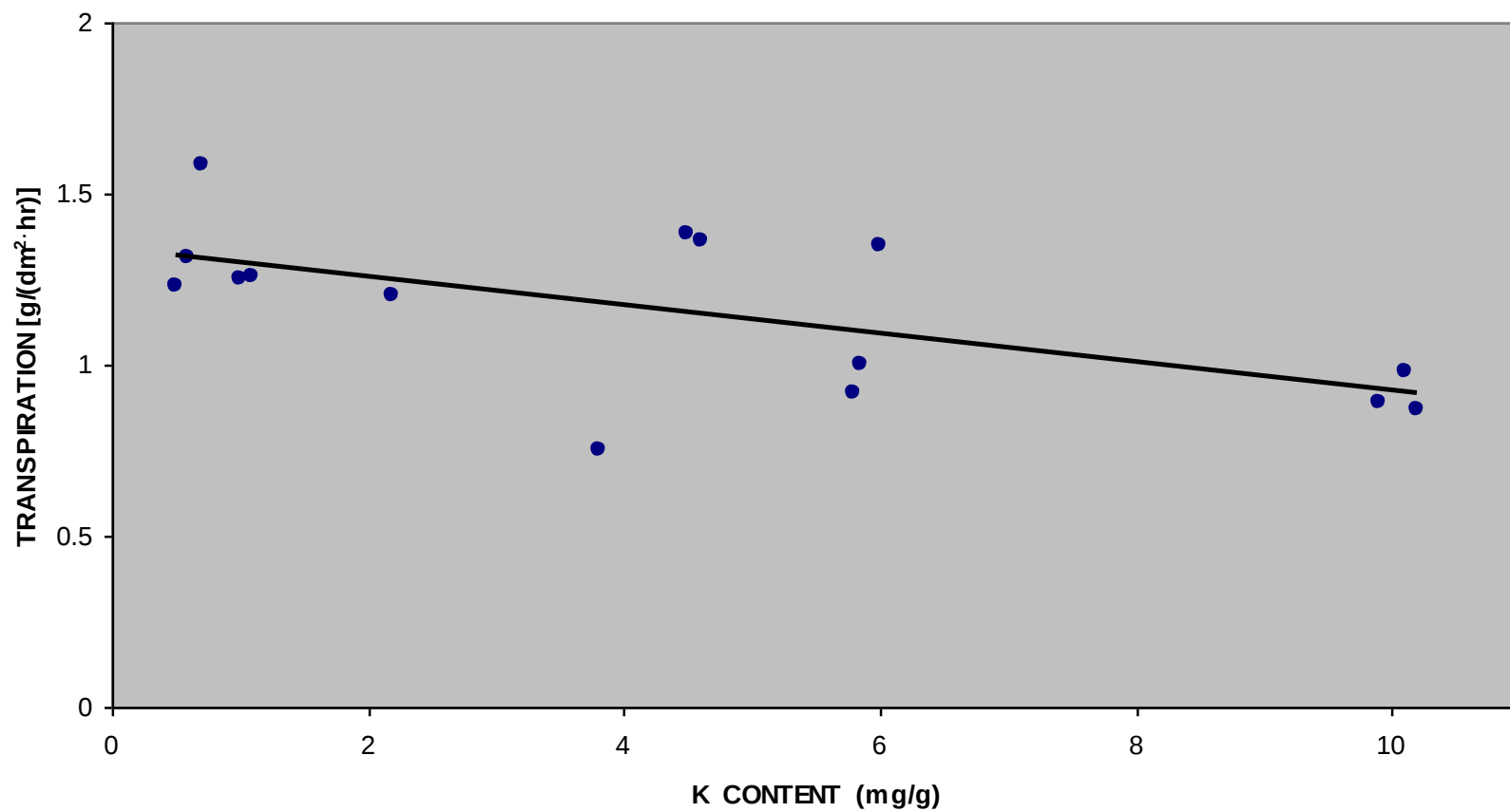
WATER RELATIONS: K는 공변 세포로 유입되면서 기공을 조절한다.

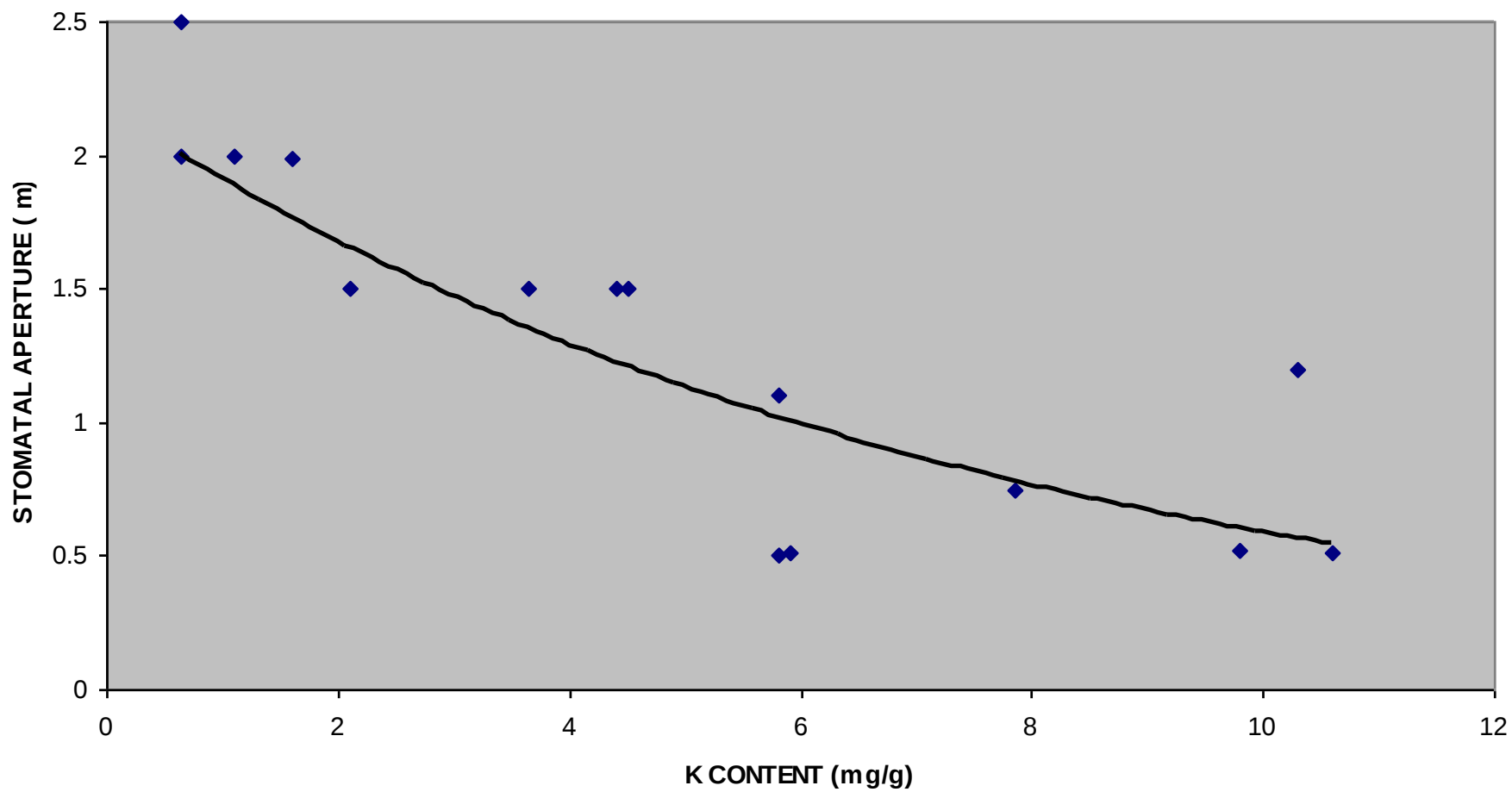
K는 증산 작용에 영양을 미친다.

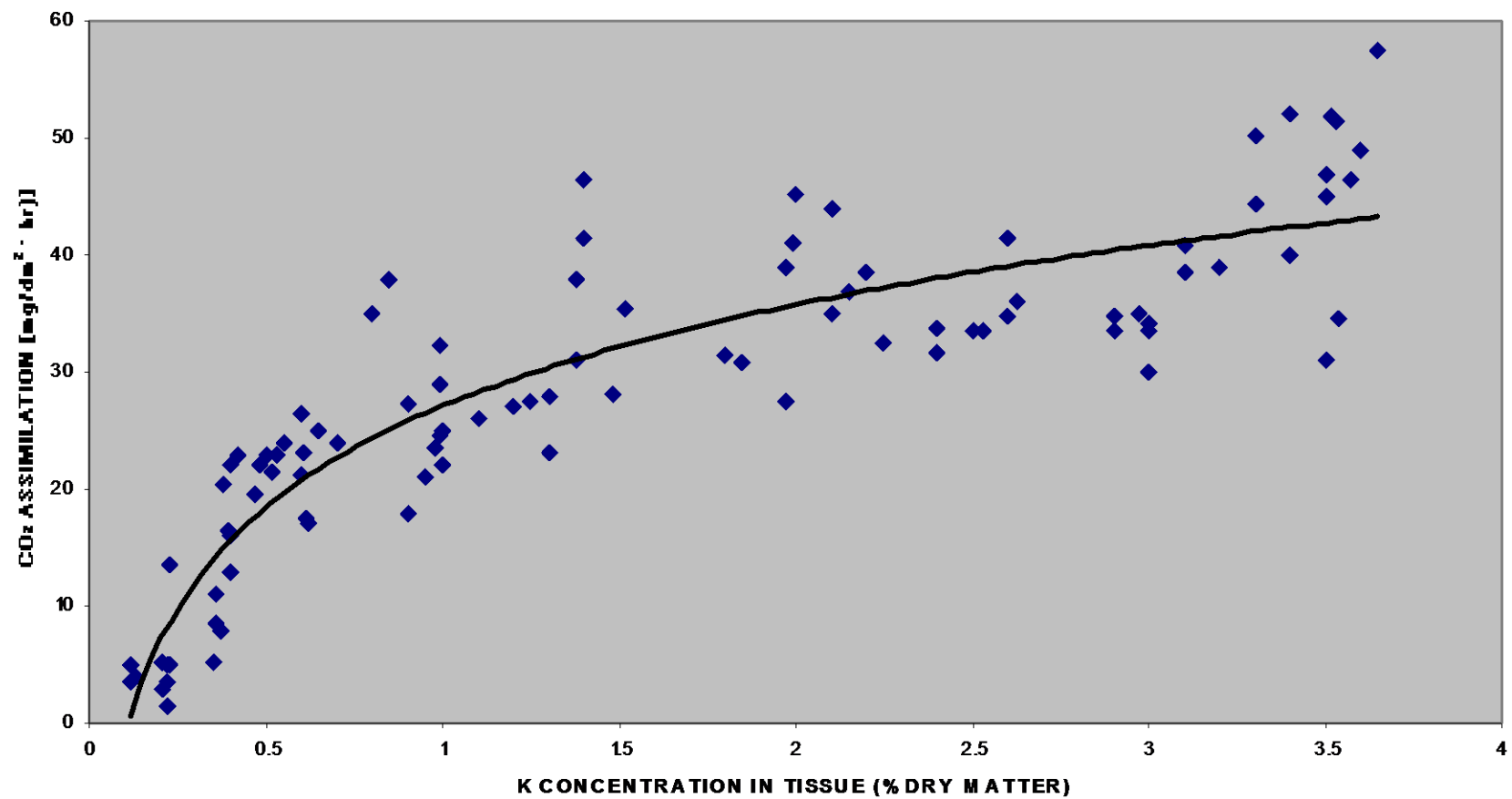
탄소동화물의 이동:

K는 탄수화물의 이동을 조절해 준다.

ENERGY RELATIONS: 식물은 K를 이용해 ATP를 생산하게 된다.







질소의 활용 & 단백질 합성

칼륨이 부족한 식물에서는 질소의 흡수와 단백질 합성이 감소한다.

아미노산의 축적을 통하여 K의 부족함을 예측할 수 있다.

칼륨결핍증상:

K는 식물 내 이동성이 가능하며 부족할 시 시각적으로 잎의 밑 부분에서 증상이 나타나기 시작한다. 문제가 진전되면, 증상을 점점 잎 끝으로 이동하게 된다.

알팔파의 증상은 흰색 점이 잎 가장자리 부분에 나타나게 된다. 또한 부족한 K는 잔디를 약하게 만들며 쉽게 병에 걸리게 된다.

K의 가용성에 영향을 미치는 요소

- 토양 수분: 수분이 많은 토양 내 K는 더욱더 복잡한 방향으로 활동할 수 있다.
- 토양 온도:
온도가 높을 수록 뿌리의 활동이 활발해지며 더욱 많은 K를 흡수할 수 있다.

토양 에어레이션:

산소의량이 부족하면 뿌리의 생장은 감소된다.

- 토양 pH:
산성 토양에 석회를 살포할 시 K의 유효성은 향상된다.



Ca^{2+} & Mg^{2+} 은 식물에 흡수되기 위해 K^+ 와 경쟁한다.

변환

$$\% K = \% K_2O \times ?$$

The conversion factor for conversion can be calculated,

$$2 \text{ Atomic wt K} = 2 \times 39 = 78 = 0.82$$

$$\text{Mol wt K}_2\text{O} = (2 \times 39) + 16 = 94$$

$$\underline{\% K = \% K_2O \times 0.82}$$

변환

$$\% K_2O = \% K \times ?$$

$$K_2O = (2 \times 39) + 16 = 94$$

$$\text{Mol wt } K_2O = 94 \quad = 1.2$$

$$2 \text{ at wt } K \quad 78$$

$$\% K_2O = \% K \times 1.2$$

- 인산칼륨(potassium phosphates)에 % K와 % K₂O 계산하기.
(K₄P₂O₇, KH₂PO₄, K₂HPO₄)

% K in K₄P₂O₇

$$\frac{4 \text{ At wt of K}}{\text{Mol wt of K}_4\text{P}_2\text{O}_7} = \frac{4 \times 39}{[(4 \times 39) + 2(31) + 7(16)]}$$

$$= \frac{156}{[156 + 62 + 112]} = \frac{156}{330} = 0.47$$

Hence, % K = $0.47 \times 100 = 47\%$

% K_2O = % K $\times 1.2 = 47 \times 1.2 = 56\%$

% K in KH_2PO_4

At wt of K = 39

Mol wt of KH_2PO_4 [$39 + 2(1) + 31 + 4(16)$]

$$\frac{= 39}{[39 + 2 + 31 + 64]} = \frac{39}{136} = 0.28$$

$$\% \text{ K} = 28\%$$

$$\% \text{ K}_2\text{O} = 28 \times 1.2\% = 34\%$$

% K in K_2HPO_4

$$\frac{2 \text{ At wt of K}}{\text{Mol wt}} = \frac{2 \times 39}{[(2 \times 39) + 1 + 31 + 4(16)]}$$

$$= \frac{78}{174} = 0.44$$

$$\% \text{ K} = 44\%$$

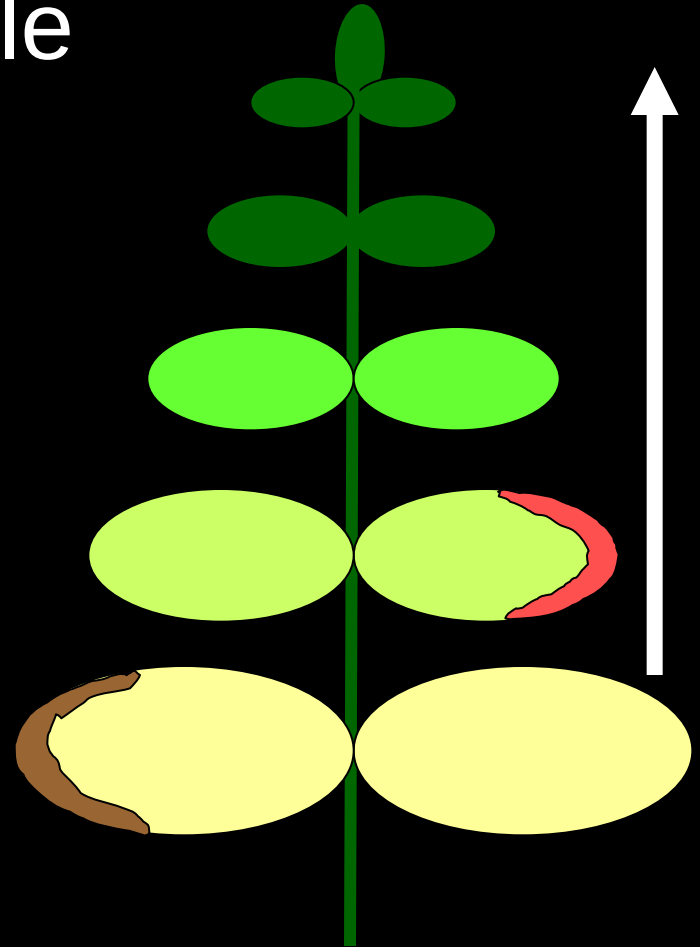
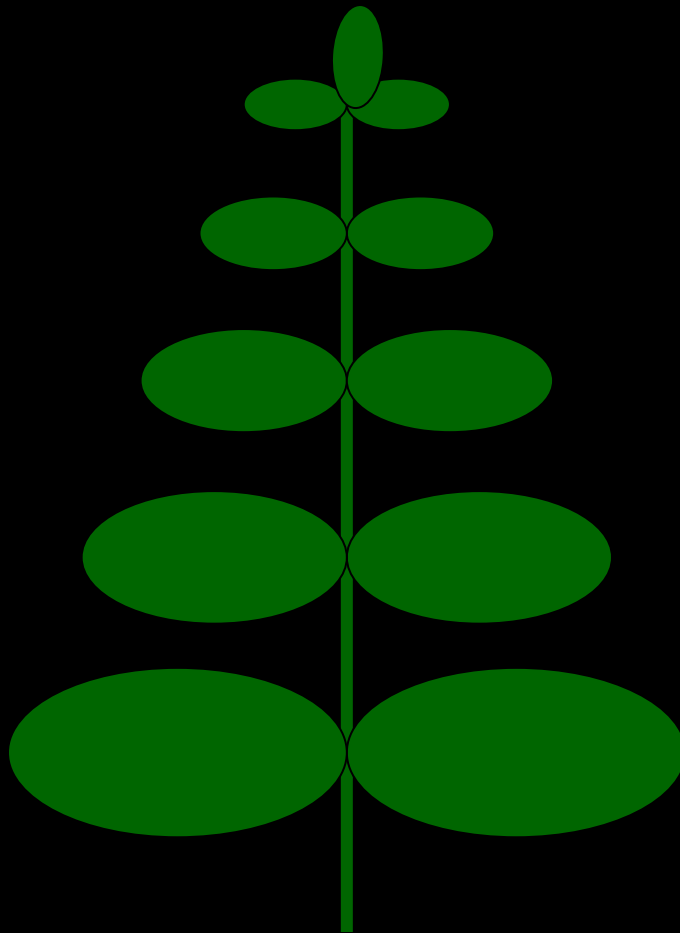
$$\% \text{ K}_2\text{O} = 44 \times 1.2 = 53\%$$

칼륨의 원천

- 염화칼륨 [KCl]
- 황산 칼륨 [K₂SO₄]
- 황산칼륨, 황산마그네슘 [K₂SO₄, MgSO₄]
- 질산 칼륨 [KNO₃]
- 인산칼륨 [K₄P₂O₇, KH₂PO₄, K₂HPO₄]
- 탄산칼륨, 중탄산염, 수산화물
[K₂CO₃, KHCO₃, KOH]
- 티오황산염칼륨[K₂S₂O₃]
- 다황화칼륨[KS_x]

Potassium Translocation

Mobile



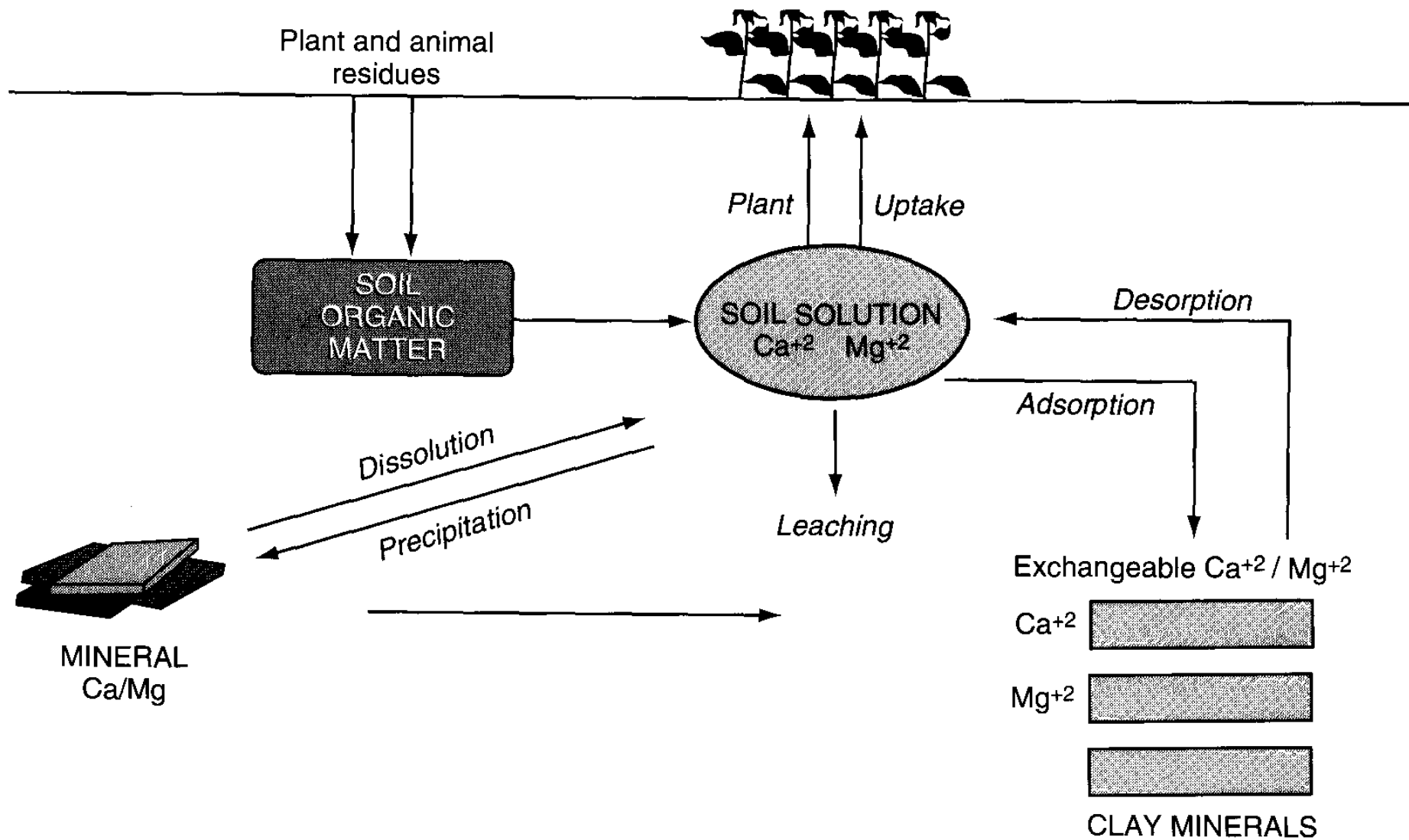
Calcium(칼슘), Magnesium(마그네슘) and Sulfur(황)

칼슘

- FORMS:

칼슘은 식물 내 Ca^{2+} 으로 토양으로 흡수된다.

식물 내 Ca^{2+} 의량은 0.2 to 1.0%



Calcium (Ca) and magnesium (Mg) cycling.

기능

- 세포의 분열 및 신장에 매우 중요하다.
- 세포막의 구조 및 삼투성에 매우 중요한 역할을 한다.
- Ca^{2+} 은 어느 정도의 양이온의 흡수를 조절하고 있다.
- Ca^{2+} 은 과일이나 야채 수확 후에 영향을 미칠 수 있다.

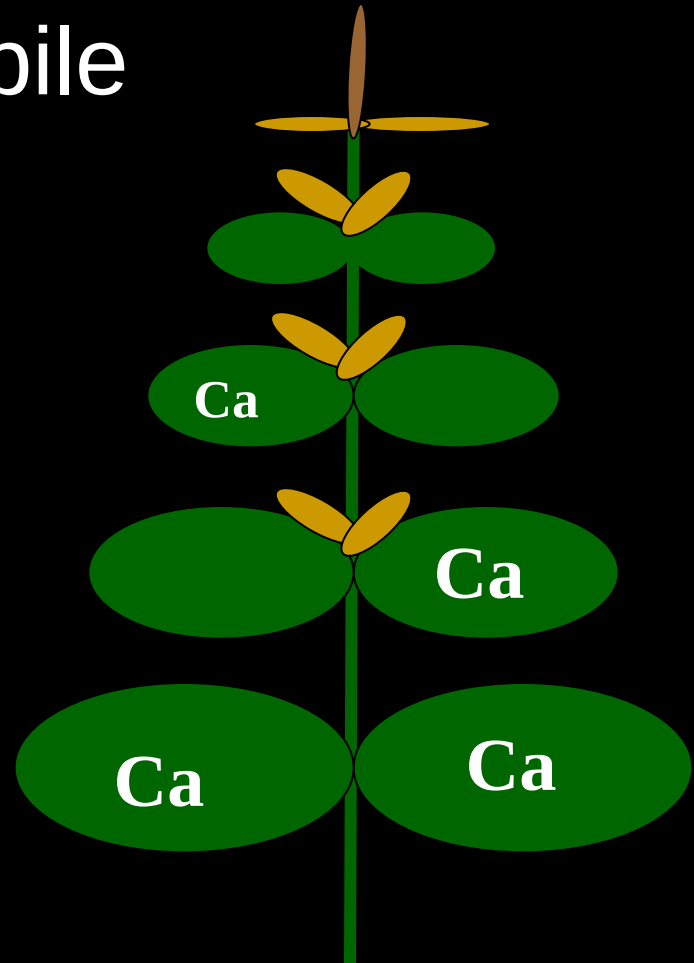
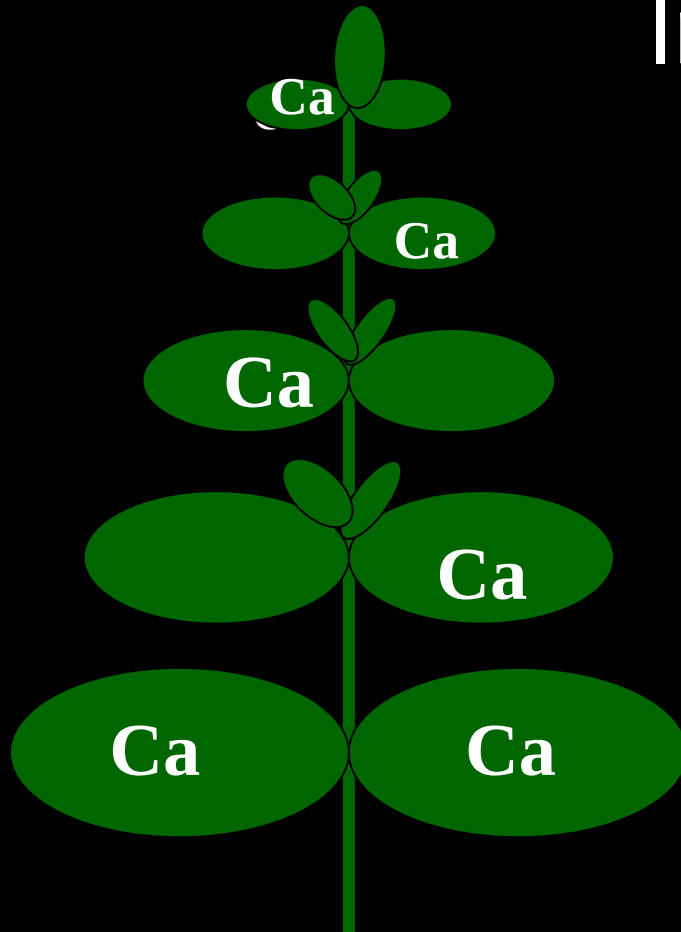
- 토양 내 Ca:
- 2개의 중요 유형
 1. 백운석(dolomite): $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$, CaCO_3
 2. 짚섬: gypsum $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Ca²⁺의 유효성에 영향을 미치는 요소

- 총 Ca 공급:
- 토양 pH: H⁺의 활성이 높으면 Ca²⁺의 흡수를 지연시킨다.
- CEC: 산성 토양이나 포화 상태의 토양에서 Ca는 식물에 바로 공급되지 않는다. % Ca²⁺의 포화도가 CEC비율과 비례하게 감소되면 식물이 흡수할 수 있는 Ca²⁺는 줄어든다.
- Ca²⁺와 다른 양이온의 비율:
- Al³⁺의 수치가 상승되면 식물이 흡수할 수 있는 Ca²⁺가 줄어든다. 또한 NH₄⁺, K⁺, Mg²⁺, Mn²⁺과 Al³⁺의 수치가 칼슘의 유효성에 영향을 미친다.
- 많은 양의 NO₃⁻는 Ca²⁺의 흡수량을 증가시킨다.
- Ca²⁺는 대부분 식물 내에서 움직이지 않는다.

Calcium Translocation

Immobile



마그네슘

- FORMS:

마그네슘은 식물 내 Mg^{2+} 으로 토양으로 흡수된다.

식물 내 Mg^{2+} 의량은 0.1 to 0.4%다.

기능

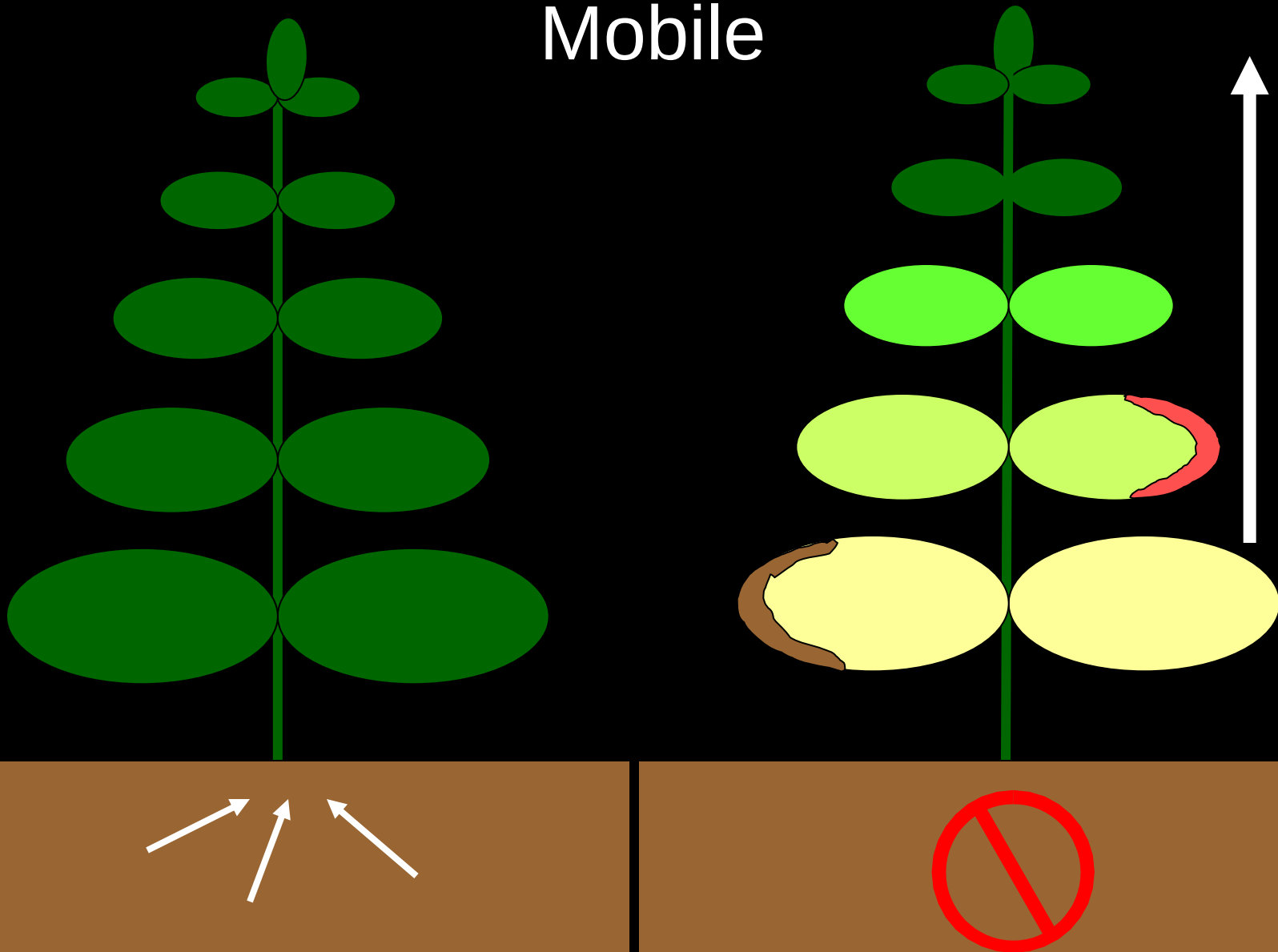
- Mg^{2+} 는 엽록소에서 가장 중요한 요소이다.
- 엽록소는 15-20% 의 Mg^{2+} 가 함유되어 있다.
- Mg는 또한 리보솜의 구조에 필요한 요소이다.
- ATP를 생산하기 위해 Mg이 필요하다.
- Mg^{2+} 는 식물 내 활동적이다.
- Mg^{2+} 이 부족하면 잎맥간 황화현상이 나타나며, 잎맥만 녹색을 유지하는 경우가 생긴다.
- 마그네슘이 낮은 사료를 먹은 소는 혈중 마그네슘이 비정상적으로 낮은 경우 나타나는 hypomagnesemia(저마그네슘혈증), or grass tetany(경직) 증상을 보이기도 한다.

토양 내 Mg

- 산성 토양, 모래로 조성된 지역, 용탈이 심한 지역, CEC가 낮은 지역에 Mg이 부족한 경우가 많다.
- 산성 토양 내 Al^{3+} 이 과도한 이유로 Mg^{2+} 의 흡수량은 감소된다.
- Ca이 과도할 경우 Mg이 부족한 경우가 생긴다. Ca:Mg의 비율은 10:1 ~ 15:1로 유지해야 한다.
- 과도한 수치의 K는 Mg의 흡수율을 감소시킨다. K:Mg 비율은 5:1(농작물), 3:1(채소,사탕무), 2:1(과일,온실)로 유지해야 한다.
- NH_4^+ 와 Mg^{2+} 의 경쟁으로 인해 Mg^{2+} 흡수량이 감소될 수 있다.

Magnesium Translocation

Mobile



황(Sulfur)

황은 식물 내 SO_4^{2-} 으로만 흡수된다.

약간의 성분은 옆 면으로 흡수가 가능하다.

기능

- 황이 함유된 아미노산은 cystine, cysteine and methionine이 있다.
- 90% 이상의 황은 식물 내 아미노산으로 찾아볼 수 있다.
- 이황화물에(-S-S) 폴리펩티드 결합에 필요하다.
- 보조효소A의 합성에 필요한 요소이며 지방산의 산화 작용에 필요한 요소이다.
- 엽록체내 Fe-S단백질 생산에 필요한 페레독신에 한 부분이다.

결핍증 상

- 황은 쉽게 이동하지 않는다.
- 가장 어린 잎에 증상이 먼저 생긴다.
- 질소 부족 증상과 비슷한 현상을 볼 수 있다.
- 십자화과 작물의 경우 잎 뒷 부분에 불그스름한 색을 보일 수 있다.

성상

- 용해된 SO_4^{2-} : 식물은 황을 SO_4^{2-} 유형으로 흡수하게 된다.
질산과 같이 SO_4^{2-} 또한 용탈이 될 수 있다.
- 흡착된 SO_4^{2-} : SO_4^{2-} 는 풍화된 토양에 많이 흡착됨
 - 산화철/알루미늄 또는 점토질 끝에 있는 양전하에 의해 음이온 치환이 발생됨.
 - 수산화알루미늄($\text{Al}(\text{OH})_x$) 복합체에 의한 흡착

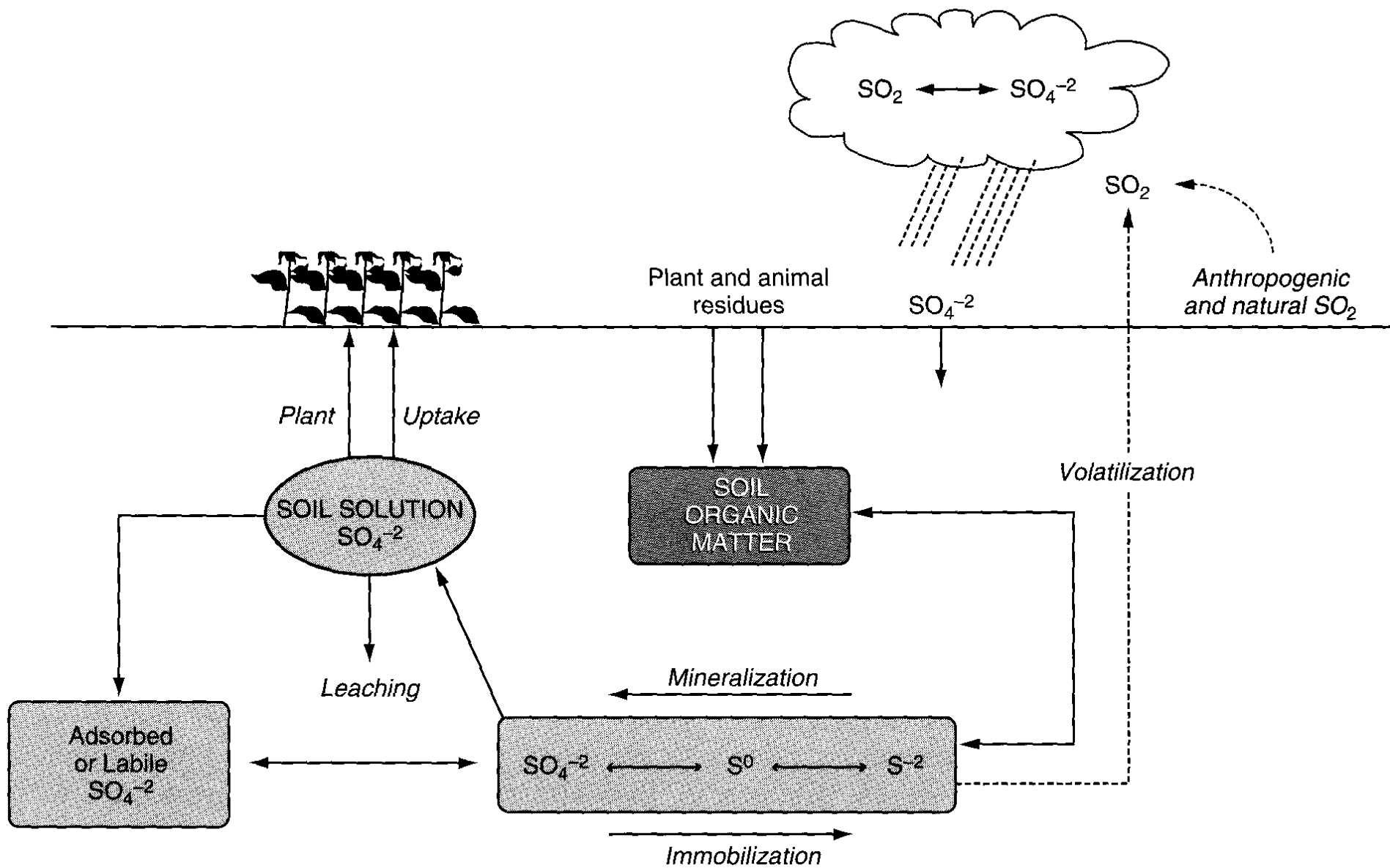


Figure 6.2 Sulfur (S) cycling.

황의 원천

- 원소: S^0
- S^0 이 토양과 혼합되어 SO_4^{2-} 가 생산 된다.
- 티오황산 암모늄: $[(NH_4)_2S_2O_3]$ (ATS)
- 다황화암모늄: $[NH_4S_2]$
- 황산 우레아:

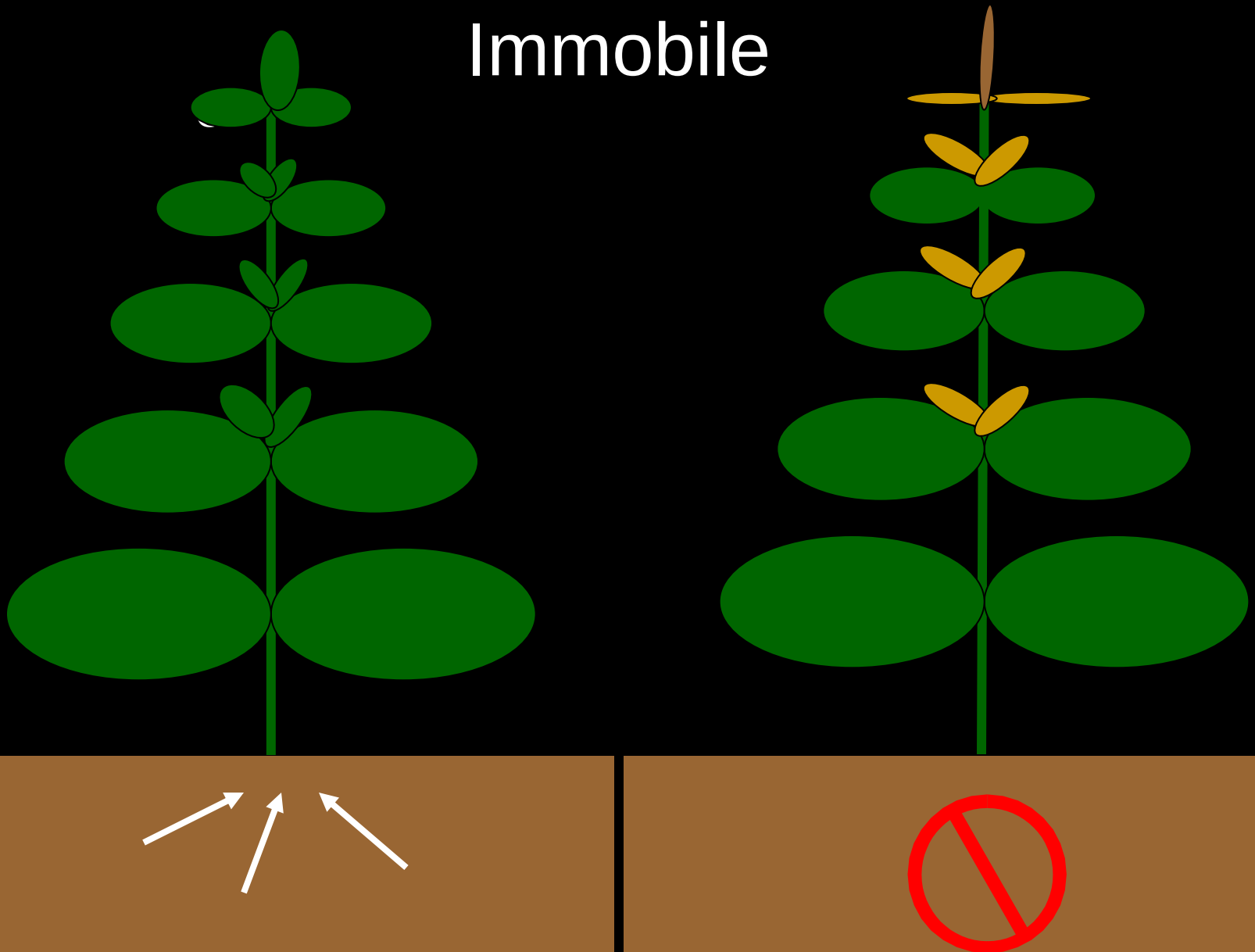
Sulfur (S) containing fertilizers

Material	Formula	Plant Nutrient Content (%)				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Other
Ammonium polysulfide	NH ₄ S _x	20	-	-	45	
Ammonium sulfate	(NH ₄) ₂ SO ₄	21	-	-	24	
Ammonium thiosulfate	(NH ₄) ₂ S ₂ O ₃	12	-	-	26	
Calcium polysulfide	CaS _x	-	-	-	22	6 (Ca)
Calcium thiosulfate	CaS ₂ O ₃	-	-	-	10	6 (Ca)
Ferrous sulfate	FeSO ₄ · H ₂ O	-	-	-	19	33 (Fe)
Gypsum	CaSO ₄ · 2H ₂ O	-	-	-	19	24 (Ca)
Magnesium sulfate	MgSO ₄ · 7H ₂ O	-	-	-	13	10 (Mg)
Potassium-magnesium sulfate	K ₂ SO ₄ · MgSO ₄	-	-	22	22	11 (Mg)
Potassium polysulfide	KS _x	-	-	22	23	
Potassium sulfate	K ₂ SO ₄	-	-	50	18	
Potassium thiosulfate	K ₂ S ₂ O ₃	-	-	25	17	
Sulfur	S ⁰	-	-	-	100	
Sulfur (granular w/additives)	S ⁰	0-7	-	-	68-95	
Sulfuric acid (100 %)	H ₂ SO ₄	-	-	-	33	
Superphosphate, single	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ · CaSO ₄ · 2H ₂ O	-	20	-	14	
Superphosphate, triple	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ · CaSO ₄ · 2H ₂ O	-	46	-	1.5	
Urea-sulfur	CO(NH ₂) ₂ + S	38	-	-	10-20	
Urea-sulfuric acid	CO(NH ₂) ₂ ² + H ₂ SO ₄	10-28	-	-	9-18	
Zinc sulfate	ZnSO ₄ · H ₂ O	-	-	-	18	36 (Zn)

SOURCE: Bixby and Beaton, 1970, *Tech. Bull. 17*, Washington, D.C.: The Sulphur Institute.

Sulfur Translocation

Immobile



Micronutrients

미량요소

Iron 철

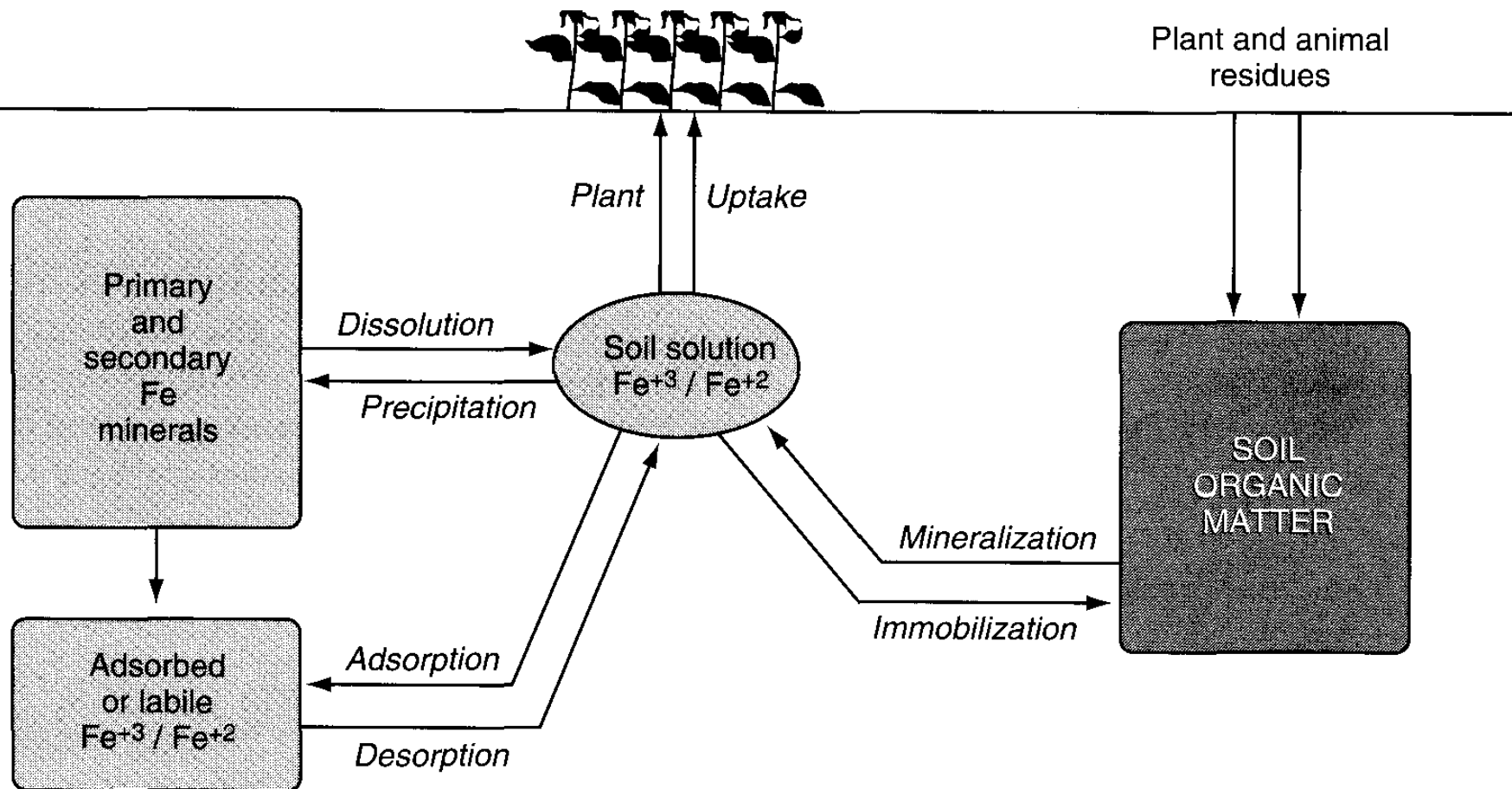


Figure 7.2 Fe cycling in soils

식물체내의 철분

- 철분은 식물 내 Fe^{2+} 과 Fe^{3+} 로 흡수된다. **Fe** 는 1개 이상의 산화상태로 존재하고 있다. 산화 전위에 따라 전자를 기증할 수도 있고 얻을 수도 있다. 유기분자와 철분 사이의 전자 이동에 의하여 많은 효소 반응이 가능하게 된다. 엽록소의 합성을 위해 여러 개의 효소가 필요하다. **Fe**가 부족하면, 엽록소의 생산이 줄어들게 된다.

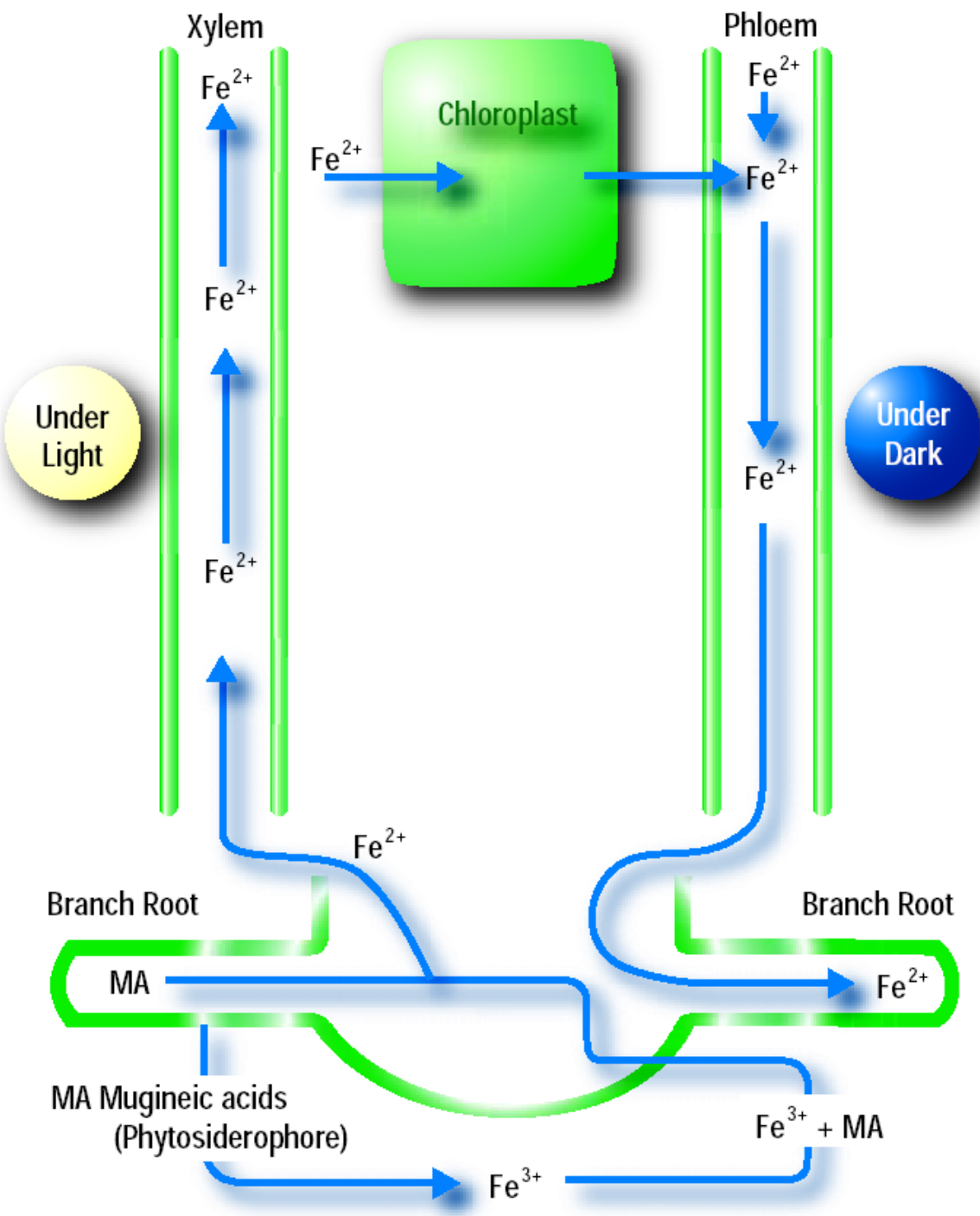


Figure 7.3 Iron absorption strategy in roots of grasses and transport under light and dark

(Mori, S. 1998. *Iron transport in Graminaceous plants*. p. 215-238. In: A. Sigel and H. Sigel (eds.). *Metal ions in biological systems*. Marcel Dekker, New York.)

기능

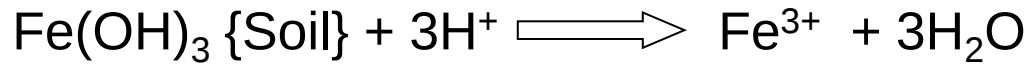
- Fe 는 다음과 같은 요소의 구조에 필요하다:
cytochromes, hemes, hematin, ferrichrome, and leghemoglobin.
- Ferredoxins은 Fe-S 단백질 이다.
- 광합성 작용시 전자를 이동하는데 도움을 준다.
- Fe는 니트로게나아제 효소의 중요한 부분이다.
- **Fe는 식물 내 평균 50-250 ppm 이 함유되어 있다.**

결핍증상

- **Fe**는 오래된 잎에서 쉽게 움직이지 않는다.
- 새로운 잎에 생기는 현상으로 잎맥간 황화 현상이 생기며 빠르게 전체의 잎에 퍼지게 된다.

토양 내 Fe

- Fe유효성은 토양의 pH에 의지한다.



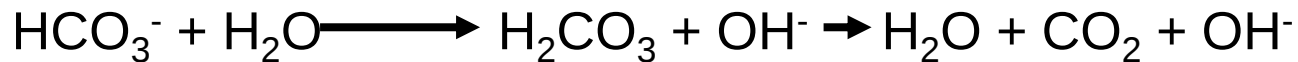
- 또한 pH는 Fe^{3+} 과의 관계에 의지 한다.
- Fe의 부족한 현상은 석회질 토양에 많이 생긴다.

킬레이트 역학(CHELATE DYNAMICS)

- 수많은 유기질 성분은 Fe^{3+} 를 킬레이트화 시킬 수 있다.
- Chelate란 단어는 그리스 단어 “Claw”(갈고리)에서 유래 되었다.
- 토양내 미량요소는 **Fe**를 킬레이트화 시켜 식물이 흡수할 수 있게 하는데 많은 도움이 된다.

Fe의 유효성에 영향을 미치는 요소

- 토양 pH & 중탄산염: 높은 pH와 석회질 토양은 Fe의 유효성을 감소시켜 준다. 또한 중탄산염(HCO_3^-)다한 관개용수는 Fe의 유효성을 감소하며 토양의 pH를 높일 수 있다.



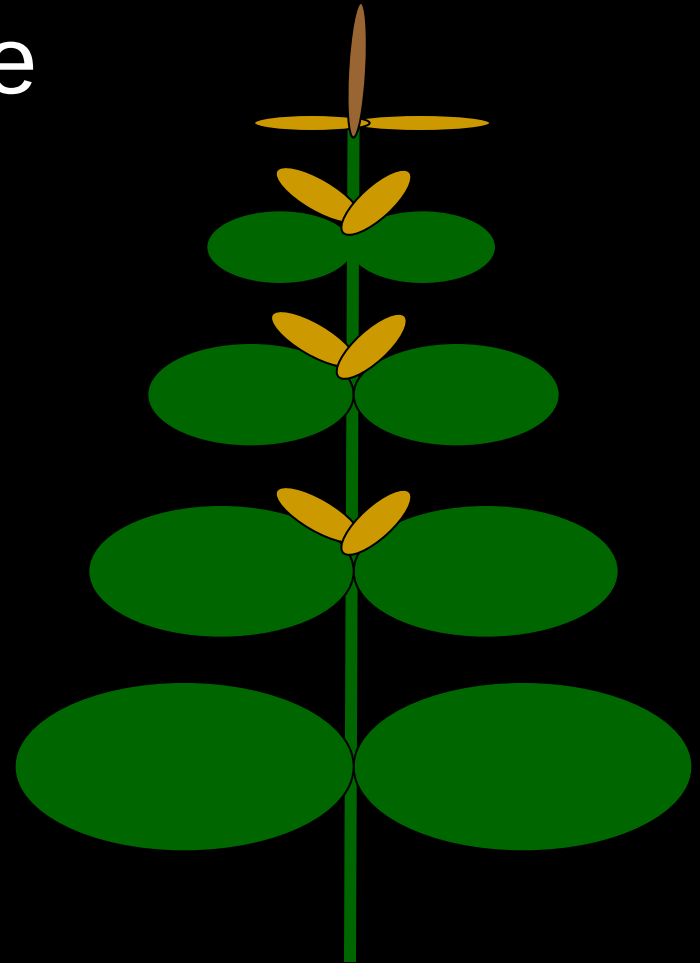
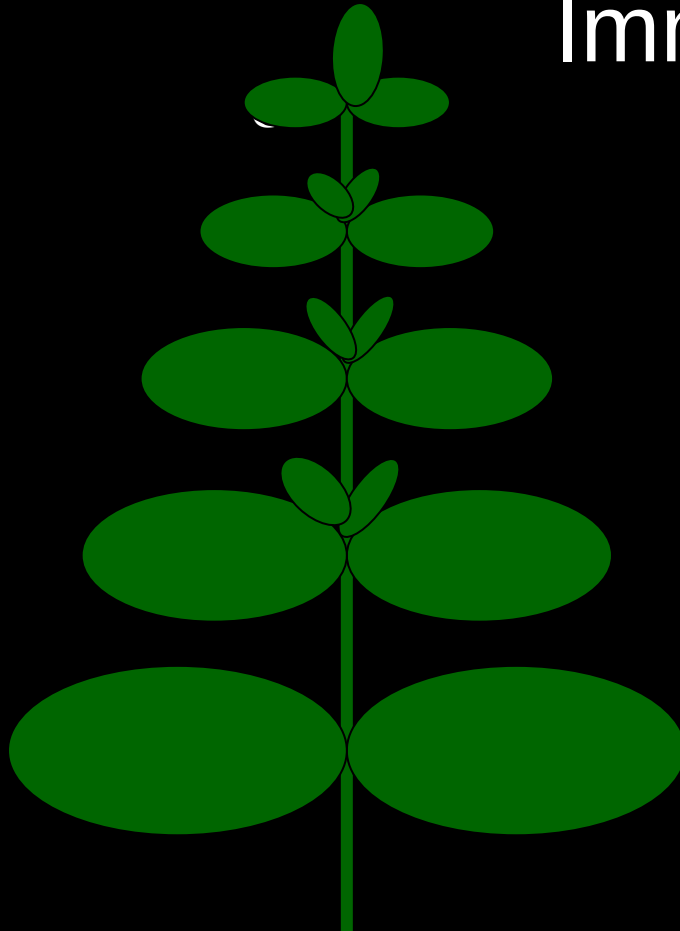
- 중탄산염은 석회질 토양에 많이 형성된다.



Fe 의 유효성에 영향을 미치는 요소

- 과도한 수분 & 부족한 에어레이션:
- 지나치게 젖은 토양에서 CO_2 는 CaCO_3 와 반응하여 중탄산염(HCO_3^-)을 생산한다.
이러한 토양이 건조해 지면서 황화현상은 사라질 수 있다.
- 유기물: 추가적인 유기물과 배수가 양호한 토양은 Fe 부족의 문제점을 해결할 수 있다. 유기질 성분은 토양 내 유기질 산을 배출시켜 킬레이트를 할 수 있게 도와준다.

Iron Translocation Immobile



Zinc 아연

식물 내 Zn: 식물의 뿌리는 Zn^{2+} 를 유기질 구성 요소 인해 흡수하고 있다.

기능 :

- Zn는 많은 효소 활동에 포함되어 있다.
- Zn는 tryptophane의 합성, 아미노산의 중요 성분이며, 또한 전구 물질인 Indoleacetic acid에 중요한 역할을 한다.
- 아연 - 결핍 식물은 성장 호르몬을 감소 시킨다. 이러한 이유로 보다 작고 짧은 잎이 발생한다.

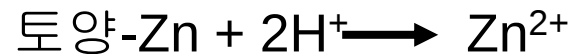
결핍증상

- 엷은 녹색이나 노란색 잎을 볼 수 있다. 특히 오래된 잎 에서 부터 증상을 볼 수 있다.
-
- 짧은 줄기와 절간의 증상으로 시각적으로 무성한 느낌은 받을 수 있다.
- 작고 가늘며, 두꺼운 잎을 나타낸다.
- 초기에 잎의 손실이 나타난다.
- 보기 흉한 과일을 생산할 수 있다.

토양 내 Zn

Zn은 토양 내 적은 양을 보유하고 있다. 2 – 70 ppb

- pH 7.7이상 조건에서 ZnOH^+ 는 매우 풍족해 진다.
- Zn의 수용성은 pH에 의존한다.



Zn의 유효성에 영향을 미치는 요소

유기물

- 고 분자량으로 인해 고정된다.
- 유기질성분으로 인해 수용성과 활동성이 결정된다.
- 초기에는 수용성 유기물과 결합

다른 영양분과의 상호작용

- 다른 양이온인 Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} 은 Zn^{2+} 의 흡수를 방지한다.
- 과도한 량의 인산은 아연의 결핍을 일을킬 수 있다.
- 불수용성인 $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ 는 P의 생산과 Zn의 결핍에 책임이 있다.

Zn SOURCES

- 황산 아연(ZnSO_4) containing about 35% Zn
- Zn EDTA for foliar application
- 아연 산화물(ZnO) 78% Zn
- 아연 탄산(ZnCO_3) 52% Zn

Copper

구리

식물 내 Cu

- 식물 내 Cu는 Cu^{2+} 로 흡수가 된다.

식물 내 Cu는: 5-20 ppm

결핍증상

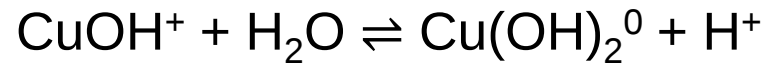
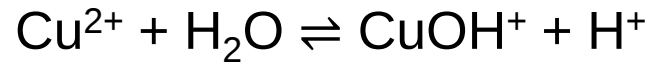
- 어린 잎이 노래지며 짧아진다.
- 가리 결핍 증상과 비슷한 증상을 지니고 있다.
- 뿌리 병이 쉽게 생긴다.
- 황화 현상이 일어나며 꽃대를 생산할 수 없다.

기능

- Lignin과 melanin과 같은 복잡한 고분자를 생산하는 효소에 필요한 요소이다.

토양 내 Cu

- 토양의 pH가 7이하 일 때 구리는 토양 내 우세하다.
- $\text{Cu}(\text{OH})_2$ at $\text{pH} > 7$
- 구리의 수용성은 pH와 관계가 있다.



Cu SOURCES

- 황산 구리 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 25% Cu
- 구리 아세테이트 $\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 32% Cu
- Copper chelates $\text{Na}_2\text{Cu-EDTA}$ 13% Cu
- 구리 암모늄 인산염 $\text{Cu}(\text{NH}_4)\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 32% Cu

Manganese

망간

Mn IN PLANTS :

- 식물 내 Mn는 Mn^{2+} 으로 흡수된다.

식물 내 Mn: 20-500 ppm

성능

- Mn 는 광합성 작용과 관련되어 있다. 특히 산소의 진화에 관여하고 있다.
- 망간은 산화 환원, decarboxylation과 가수 분해 반응에 적용 된다.
- Mn는 많은 효소로 인해 필요하다.
- Mn은 식물내 옥신의 레벨에 영향을 미친다.

토양 내 Mn

- 토양 내 Mn^{2+} 은 MnO_2 로 인해 컨트롤 된다.
- 토양의 산도가 심할 경우 Mn^{2+} 의 수용성은 강해지며 식물에 독성 피해를 줄 수 있다.

Mn SOURCES

- 황산 망간 [$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$] 26-28%Mn
- 산화 망간 [MnO] 41-68% Mn
- 염화 망간 [MnCl_2] 17% Mn
- 킬레이트 망간 [MnEDTA] 5-12% Mn

Boron

붕소

식물 내 B

- 식물 내 흡수가 가능한 붕소는 undissociated boric acid (H_3BO_3). 적은 양의 $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$, H_2BO_3^- , HBO_3^{2-} , and BO_3^{3-} 는 토양 내 있을 수 있지만, 식물에 필요성은 거의 없다.

기능

- 새로운 세포 성장
- 당, 스타치, N, P의 이동에 필요
- 아미노산과 단백질의 통합
- 탄수화물의 대사 작용 규제

증상

- 두껍고 시든 증상
- 두껍고 갈라진 현상과 수분이 가들찬 증상
- 변색, 갈라진 과일이나 뿌리

Boron levels 단자엽 6-18 ppm

B의 유효성에 영향을 미치는 요소

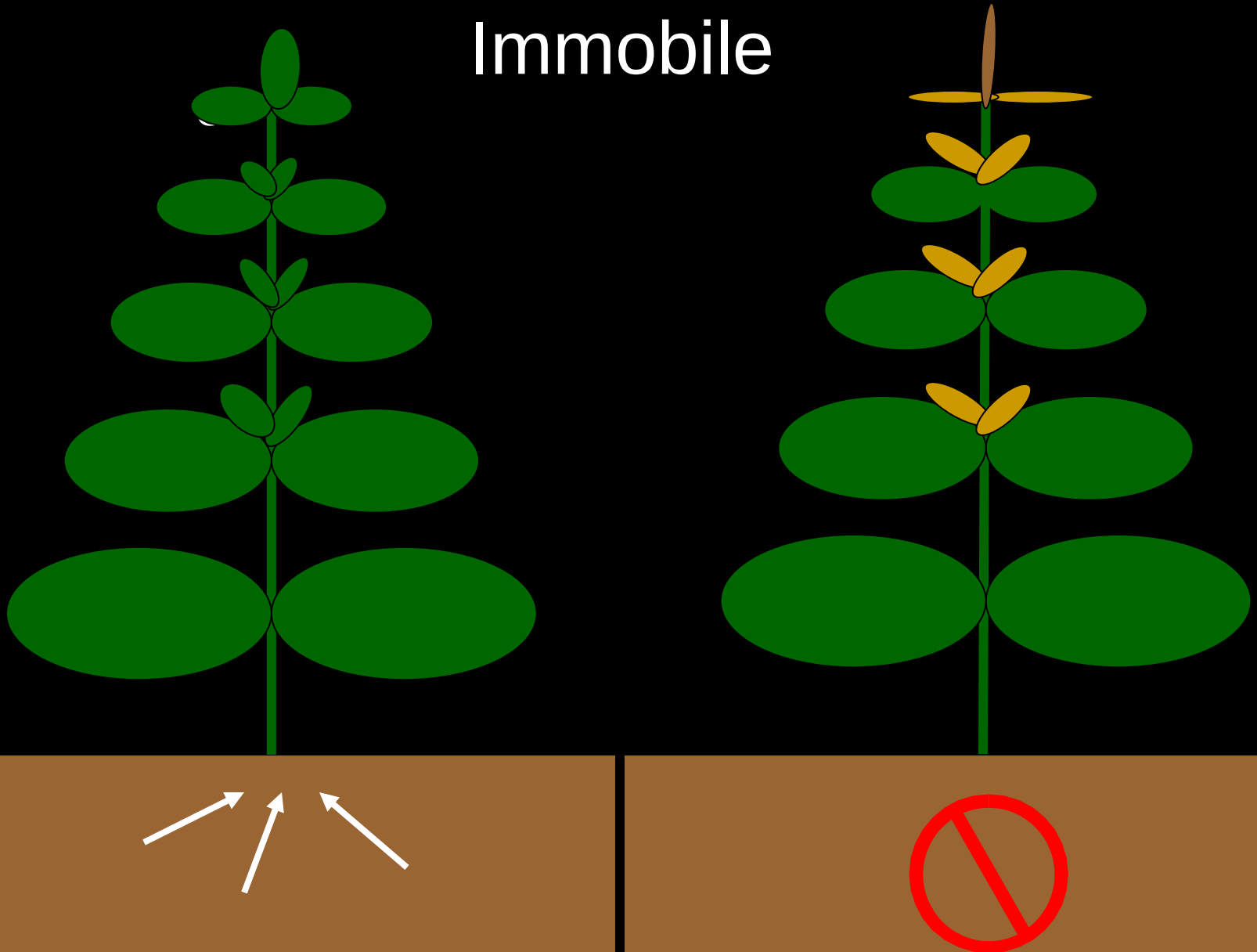
- 토양 pH :
- 토양의 pH가 상승하면 B의 유효성이 낮아진다. B의 유효성은 pH 6.3-6.5에서 가장 낮아진다.
- 유기물
- 토양질
- 토양 수분량
토양이 건조하거나 날씨가 건조하면 B의 유효성이 감소된다.

B SOURCES

- Borax $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ 11% B
- Boric acid H_3BO_3 17% B
- Sodium pentaborate $\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ 18% B
- Sodium tetraborate $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ 14-15% B
- Colemanite $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ 1 0-16% B

Boron Translocation

Immobile



Chloride

염기

- Cl IN PLANTS

식물 내 Cl 는 Ca 로 흡수된다.

식물 내 Cl: 0.2-2.0%

기능

- Cl^- 는 K^+ 와는 반대의 이온으로 과도한 K^+ 를 줄여주는 역할을 한다. 잔디 잎의 팽압에 관련이 있다.
- Cl^- is an active osmotic agent
- Cl^- 는 광합성 작용 시 산소의 진화에 적용한다.

증상

- 어린 입의 황화현상이 먼저 일어나며 서서히 모든 잎이 시든다.
- 뿌리의 길이가 축소되며 괴사 현상이 나타난다.
- 수분의량을 증가 시키면 **CA**의 결핍을 예방할 수 있다.

Cl SOURCES

- 염화 암모늄 66% Cl (NH_4Cl)
- 염화 칼슘 65% Cl (CaCl_2)
- 염화 마그네슘 74% Cl (MgCl_2)
- 염화加里 47% Cl (KCl)
- 염화 나트륨 60% Cl (NaCl)

Molybdenum

몰리브덴

- 식물 내 몰리브덴(Mo)

Mo는 식물내 몰리브덴산염 (MoO_4^{2-})으로 흡수된다.

몰리브덴은 약간의 산성을 지니고 있으며 인몰리브산과 같은 다음이온을 만들 수 있다.

식물내 몰리브덴은 **<1 ppm**

기능

- Mo는 NO_3^- 의 환원효소에 중요한 요소이며 NO_3^- 를 NO_2^- 로 변환하는 작용을 한다.
- Mo는 또한 니트로게나이즈의 구조로 효소의 활동에도 필요한 요소이다.
- Mo는 입에 보다 줄기에 10배 이상의 양을 지니고 있다.
- Mo는 식물이 철분을 흡수하는데 중요한 역할을 하는 요소이다.

토양 내 Mo

- 토양 내 Mo는 MoO_4^{2-} , HMoO_4^- , and H_2MoO_4^0 로 활동하고 있다.
- 토양의 pH가 높아지면 MoO_4^{2-} and HMoO_4^- 의 수치도 높아진다.

Mo SOURCES

• 몰리브덴산 암모늄	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	54% Mo
• 몰리브덴산 나트륨	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	39% Mo
• 삼산화 몰리브덴	MoO_3	66% Mo

Nickel

니켈

- Ni은 마지막으로 식물에 필요하다고 파악되었다.(1987)
식물에 평균적으로 0.1-1.0 ppm의 Ni가 있다.
- 대부분의 식물은 Ni^{2+} 의 형태의 니켈을 흡수하고 있다.
- Ni는 우레아제 중 금속 성분에 일부로 다음과 같은 요소 분해 반응에 작용 한다.



- Ni이 부족한 경우 요소 분해 활성이 부족하여 과도한 우레아의 성분이 입끝에 쌓이게 된다.
- 과도한 Ni는 다른 양이온인 Zn와 Fe와 경쟁을 하게 되며, 아연과 철과 같은 성분이 부족하게 될 수 있다.
- 하수 슬러지등을 사용하여 식물의 Ni를 높일 수 있다.

Cobalt

코발트

- Co는 Rhizobia 같은 미생물의 생장에 꼭 필요한 요소중 하나이다.
Rhizobia free-living N₂-fixing bacteria

Co는 식물에 0.02-0.5 ppm 량이 포함되어 있다.

식물이 흡수하는 Co 형태

- CoSO₄

Silicon

규소

- Si은 규산으로 식물에 흡수 된다. H_4SiO_4^0
- Si은 세포막의 형성을 도와준다.

단자엽 식물에는 0.2-2.0% 의 규소가 포함되어 있다.

Si Sources

- | | | |
|-------------------------|--|-----------|
| • Calcium silicate slag | $(\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$ | 18-21% Si |
| • 규산 칼슘 | (CaSiO_3) | 31% Si |
| • Sodium metasilicate | (NaSiO_3) | 23% Si |