

## 講義の内容 (Contents)

1. ストレス環境の生起 (Occurrence of stress)
2. 植物の水分生理 (Plant water relations)
3. 水分動態 (Water dynamics)
4. 活性酸素 (Reactive oxygen)
5. 乾燥 (Drought)
6. 高温・低温 (Heat, Chilling)
7. 塩類集積・栄養ストレス (Salinity, nutrition)
- 8. 湛水 (Waterlogging)**
9. 環境ストレスの相互作用 (Interaction)

## 8. 湛水（洪水・湿害）

### 1. 湛水害の発生 (Occurrence of waterlogging)

### 2. 二重のストレス (Dual stresses)

### 3. 湛水に対する反応 (Plant responses to waterlogging)

i) 直接的影響 (Direct effects)

ii) 間接的影響 (Indirect effects)

iii) 反応に影響を及ぼす外的要因

(External factors affecting responses)

### 4. 耐湿性の機作

(Mechanisms of waterlogging tolerance)

### 5. 対策 (Measures against waterlogging)

# 湛水 (Waterlogging, Flooding, Inundation, Submergence)

→ 植物体の下部が水に漬かった状態



湛水 → 土壤気相への水の充満



酸素の空气中への拡散



酸素の枯渇 (Oxygen exhaustion)



根の酸素不足 (Oxygen

植物環境ストレス学

deficiency)

(Diffusion)

根の酸素  
ストレス

# 湛水 (Waterlogging, Flooding, Inundation, Submergence)

→ 植物体の下部が水に漬かった状態



湛水 → 土壤気相への水の**充満**



酸素の空气中への拡散



酸素の**枯渇** (Oxygen exhaustion)



**根の酸素不足** (Oxygen deficiency) **植物環境ストレス学**

deficiency)

(Diffusion)

根の酸素  
ストレス

## 湛水害発生 conditions

(Conditions for waterlogging damages occurrence)

### a) 気候特性(Climatic traits)

- 1) 雨季の終わり (End of the rainy season)
- 2) 短期間の集中豪雨 (Short-term torrential rain )

### b) 土壌特性・地形 (Soil & topography)

- 1) 排水性 (Soil drainage capacity)
- 2) 地形凹凸 (Soil surface unevenness)
- 3) 地下水位 (Ground water level)

## 湛水害発生 conditions

(Conditions for waterlogging damages occurrence)

### c) 植物・作物特性 (Vegetation or crop character)

- 1) 植生の種類 (Type of vegetation)
- 2) 作物の種類 (Crop species)
- 3) 耐湿性 (Waterlogging tolerance)
- 4) 生育ステージ (Growth stage)

### d) 農業特性 (Agriculture)

- 1) 灌漑排水施設 (Irrigation & drainage facilities)
- 2) 営農体系 (Farming S.) ・ 作付体系 (Cropping S.)

## 8. 湛水（洪水・湿害）

1. 湛水害の発生 (Occurrence of waterlogging)

2. 二重のストレス (Dual stresses)

3. 湛水に対する反応 (Plant responses to waterlogging)

i) 直接的影響 (Direct effects)

ii) 間接的影響 (Indirect effects)

iii) 反応に影響を及ぼす外的要因

(External factors affecting responses)

4. 耐湿性の機作

(Mechanisms of waterlogging tolerance)

5. 対策 (Measures against waterlogging)

湛水 (Waterlogging, inundation, flooding, submersion)



土壤気相への水の充満

(Replacement of air with water in the soil)



酸素の空气中への拡散

(Diffusion of oxygen into a

根圏微生物  
物の酸素  
ストレス



酸素の枯渇 (Oxygen exhaustion)



Oxygen stress for soil microorganisms

根の酸素ストレス (Oxygen stress for roots)



## 湛水 (Waterlogging, inundation, flooding, submersion)

→ 酸素の枯渇 (Oxygen deficiency)



根の酸素ストレス  
(Root oxygen stress)



植物体へ影響  
(Influence on plants)



根圏微生物の酸素  
ストレス (Oxygen  
stress for microorganisms  
in the rhizosphere)



嫌気性菌活動  
(Activate anaerobic  
microorganisms)



### 1) 直接的ストレス (Direct stress)

根の酸素ストレスの影響

(Influences of root oxygen stress)

### 2) 間接的ストレス (Indirect stress)

嫌気性微生物活動の影響

(Influences of the activities of soil anaerobic microorganisms)

病虫害 (Pests and diseases)

栄養塩類流亡 (Loss of nutrient salts)

## 8. 湛水（洪水・湿害）

1. 湛水害の発生 (Occurrence of waterlogging)
2. 二重のストレス (Dual stresses)
- 3. 湛水に対する反応 (Plant responses to waterlogging)**
  - i) 直接的影響 (Direct effects)**
  - ii) 間接的影響 (Indirect effects)
  - iii) 反応に影響を及ぼす外的要因  
(External factors affecting responses)
4. 耐湿性の機作  
(Mechanisms of waterlogging tolerance)
5. 対策 (Measures against waterlogging)

## 根の酸素ストレス (Root oxygen stress)



根の呼吸活性低下

(Reduction in root respiration activities)



根の他の代謝活性低下・根の壊死

(Reduction in root metabolic activities  
or root death)



地上部の生長へ影響

(Adverse effects on aboveground  
growth)

## 影響を受ける生理作用 (細胞レベル)

### Affected Physiological Phenomena (Cell Level)

#### 地下部 (Underground)

呼吸 respiration (－)

細胞分裂・伸長 Cell division & development (－)

タンパク合成 Protein synthesis (－)

ABA・エチレン生合成 ABA & ethylene (＋)

サイトカイニン生合成 Cytokinin (－)

#### 地上部 (Aboveground)

タンパク合成、細胞分裂・伸張 (－)

光合成・呼吸 (－)

## 影響を受ける生理作用（器官レベル）

### Affected Physiological Phenomena (Organ Level)

根の吸水 Water absorption (－)

気孔開孔 Stomatal aperture (－)

葉の上偏生長 Leaf epinasty (＋)

地際部肥厚 Hypertrophy at stem base (＋)

不定根形成 Adventitious root formation (＋)



生育量低下  
生育遅延

8. 湛水(洪水・湿害) ————— 3. 湛水に対する反応 i) 直接的影響



8. 湛水(洪水・湿害) ————— 3. 湛水に対する反応 i) 直接的影響





## 根の (好気) 呼吸阻害 (Inhibition of root aerobic respiration)

← 根への酸素供給低下  
(Reduction of oxygen supply to roots)



好気呼吸 → 嫌気呼吸 (Anaerobic  
respiration)

**嫌気呼吸** ATPの生産効率低い

(Low efficiency of ATP production)

エタノール・乳酸等蓄積 → 生育阻害

(Accumulation of ethanol, lactic acid etc.)

嫌気呼吸

好気呼吸

炭水化物

2ATP

2ATP

glycolysis

解糖系

2NAD<sup>+</sup>

2NAD<sup>+</sup>

2NADH

2NADH

34ATP

O<sub>2</sub>

発酵

ピルビン酸

ミトコンドリア

エタノール、乳酸、  
リンゴ酸、アラニン

CO<sub>2</sub>

H<sub>2</sub>O

## 根の好気呼吸阻害

(Inhibition of root aerobic respiration)

→ 嫌気呼吸活性化

(Activation of anaerobic respiration)

→ 根の生理活性低下・壊死

(Reduction in root metabolic

activities

or root necrosis)

→ 養水分吸収阻害

(Inhibition of nutrient and water  
absorption)

→ エタノールの害作用

(Adverse effects of ethanol)



## 湛水による根の吸水阻害

(Inhibition of water absorption by roots)

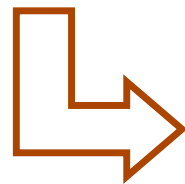
ABA生合成促進 (Promotion of ABA biosynthesis)

サイトカイニン生合成阻害

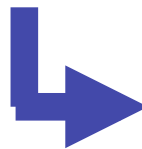
(Inhibition of cytokinin biosynthesis)

葉の水ポテンシャル低下

(Reduction in leaf water potential)



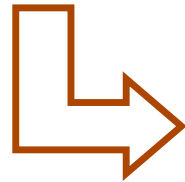
気孔閉鎖 (Stomatal closure)



光合成低下

(Reduction in photosynthesis)

上偏生長 (Epinasty)  
地際部の肥厚 (Stem hypertrophy)  
不定根形成 (Adventitious roots)

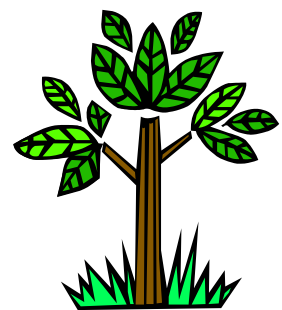


湛水独特の反応

エチレン処理



湛水処理



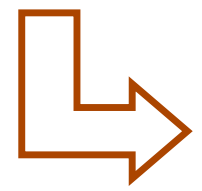
上偏生長  
地際部の肥厚  
不定根形成



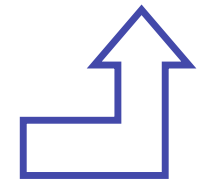
エチレン上昇

上偏生長 (Epinasty)  
地際部の肥厚 (Stem hypertrophy)  
不定根形成 (Adventitious roots)

エチレンに  
対する反応

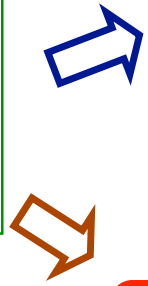


湛水独特の反応



湛水  
↓  
エチレン発生

上偏生長  
地際部の肥厚  
不定根形成



湛水処理



エチレン上昇

地際部の肥厚 (Stem hypertrophy)

→ 地下部への酸素供給  
(Oxygen supply to

roots)  
不定根形成 (Adventitious roots)

→ 植物体への養水分供給

(Nutrient and water supply to  
plants)

障害？



湛水に対する適応  
Adaptation to waterlogging

## エチレンの生合成経路 (Synthetic pathway of ethylene)

メチオニン (Methionine)



SAM (S-アデノシルメチオニン  
S-adenosylmethionine)

エチレンの  
輸送形態



ACC (アミノシクロプロパンカルボン酸  
1-aminocyclopropane-1-carboxylic  
acid)

好氣的反応 (Aerobic  
reaction)

↓  
エチレン



根が2方向に分かれた個体



移植



1.5L プラスチック容器



発泡スチロール板

ワグネルポット  
(1/5000a)

8. 湛水(洪水・湿害)

3. 湛水に対する反応

i) 直接的影響



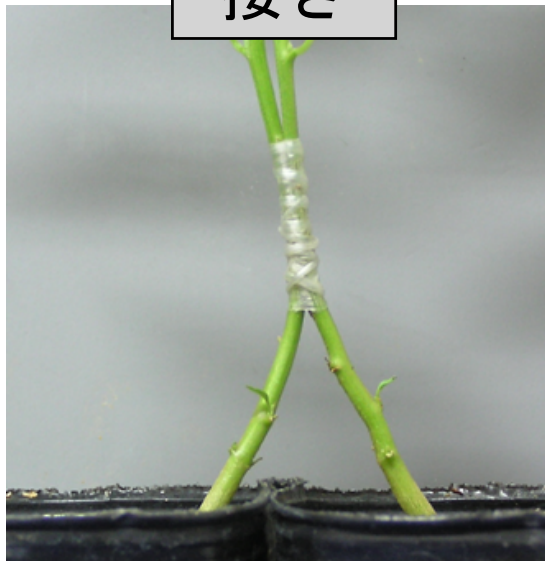
呼び  
接ぎ

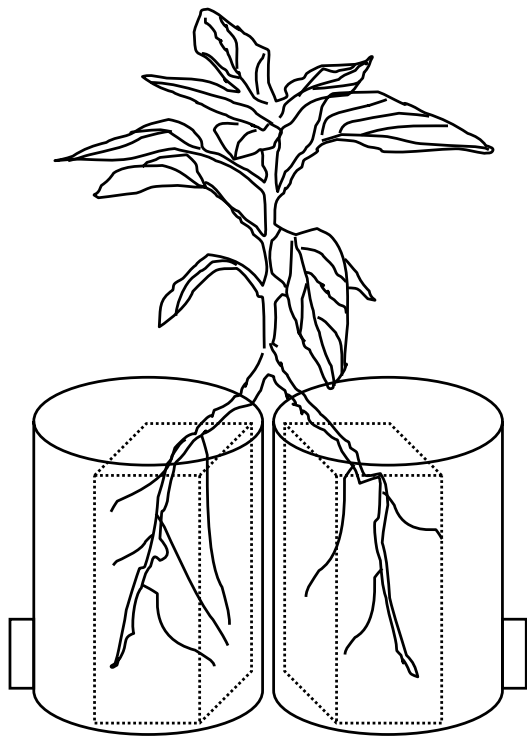


活着  
確認

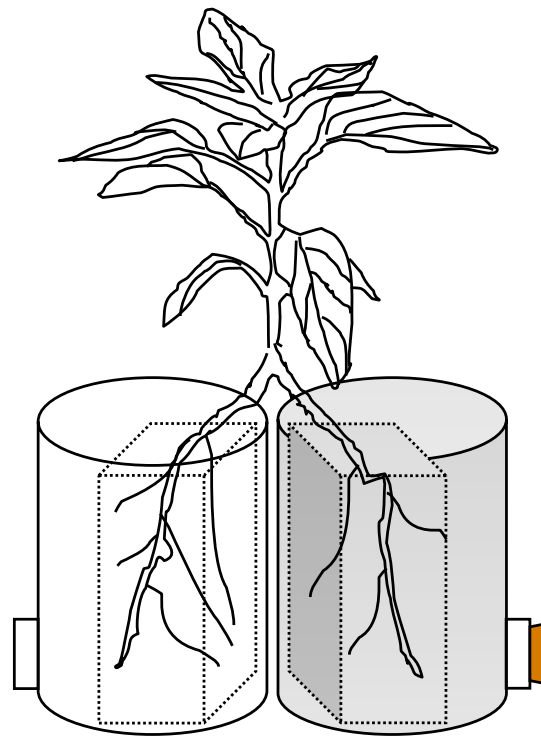


片方を  
切断



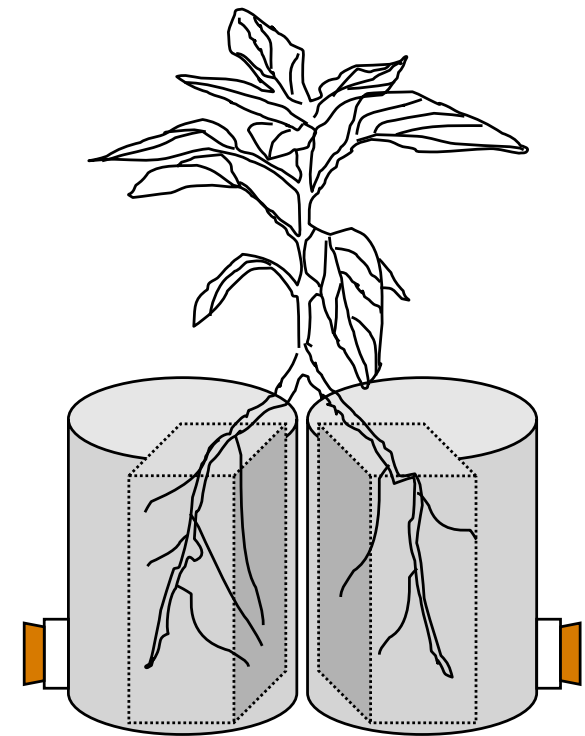


対照区 (Control)



部分区 (Half)

片方の根が湛水



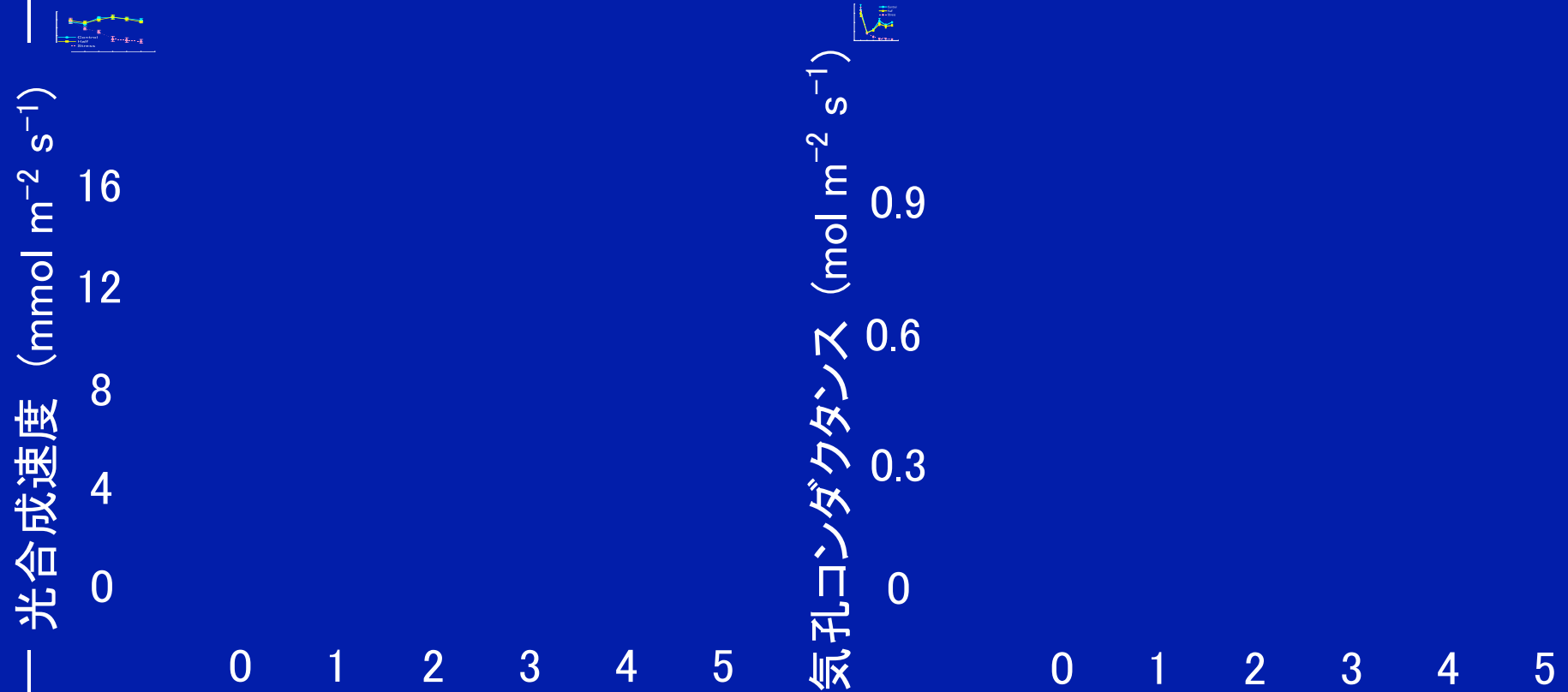
ストレス区 (Stress)

両方の根が湛水

## 8. 湛水(洪水・湿害)

## 3. 湛水に対する反応

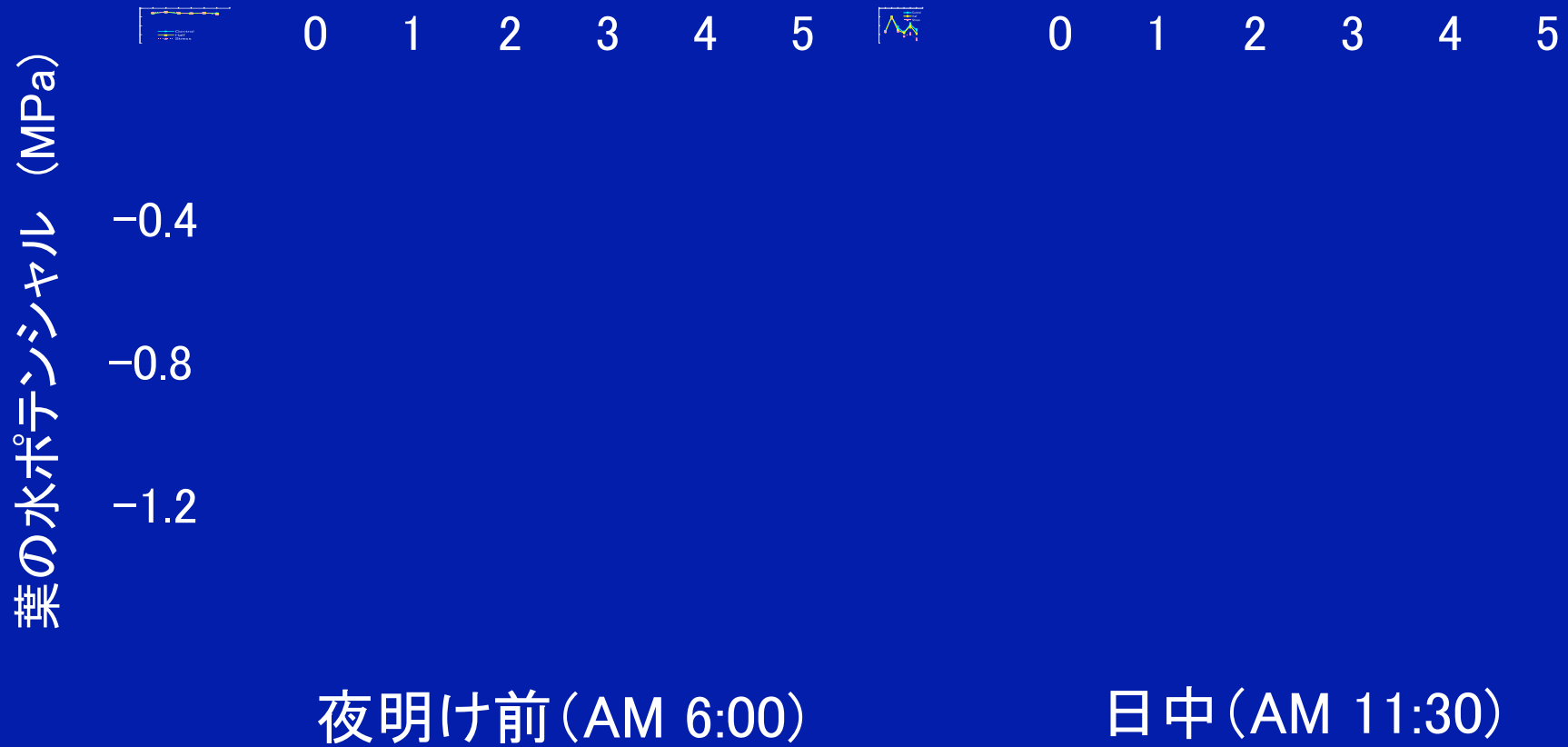
### i) 直接的影響



8. 湛水(洪水・湿害)

3. 湛水に対する反応

i) 直接的影響



処理5日目

夜明け前

AM 6:00



日中

AM 11:30



## 好気条件への再適応 (Readjustment to aerobic conditions)

地際部スポンジ状組織

(Spongy tissues at stem base, hypertrophy)

不定根 (Adventitious roots)

通気組織 (Aerenchyma, air space)

→ 好気条件では不要

(Unnecessary under aerobic conditions)

→ 地中根再発生

(Occurrence of underground roots)

## 感受性の高い生育ステージ

(Growth stages with high sensitivity to waterlogging)

活力低下期 (例：移植直後)

(Periods with low activities)

花芽分化期 (Time of flower bud initiation)

結実直後 (Time of fruit setting)

側芽分化期 (Time of lateral shoot development) ▪

分蘖期 (Tillering stage)



### 3. 湛水に対する反応 i) 直接的影響 のまとめ

湛水 → 根の酸素ストレス

- 根の伸長阻害・根の壊死
- 嫌気呼吸活性化 ・ エタノール蓄積
- 養水分吸収阻害
- 気孔閉鎖・光合成低下

湛水 → エチレンの発生

- 茎基部肥厚
- 不定根発生
- 好気呼吸回復 → 養水分吸収回復

## 8. 湛水（洪水・湿害）

1. 湛水害の発生 (Occurrence of waterlogging)
2. 二重のストレス (Dual stresses)
- 3. 湛水に対する反応 (Plant responses to waterlogging)**
  - i) 直接的影響 (Direct effects)
  - ii) 間接的影響 (Indirect effects)**
  - iii) 反応に影響を及ぼす外的要因  
(External factors affecting responses)
4. 耐湿性の機作  
(Mechanisms of waterlogging tolerance)
5. 対策 (Measures against waterlogging)

## 湛水の間接的影響

### (Indirect effects of waterlogging)

#### 1) 嫌気性微生物活動の影響

(Effects of activities of anaerobic microorganisms)

#### 2) 病害虫の発生 (Pests and diseases)

#### 3) 栄養欠乏 (Nutrient deficiency)

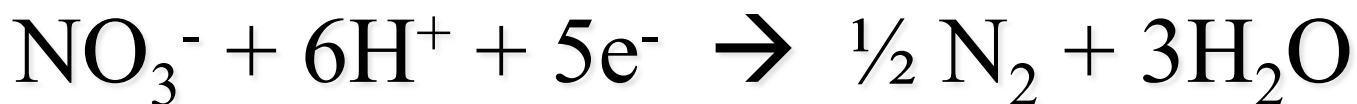
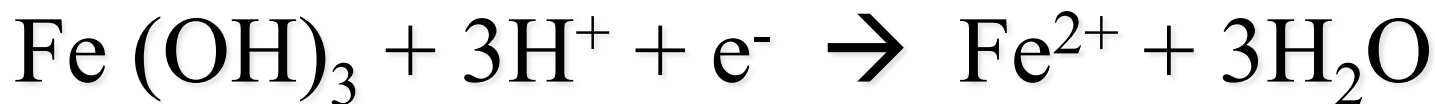
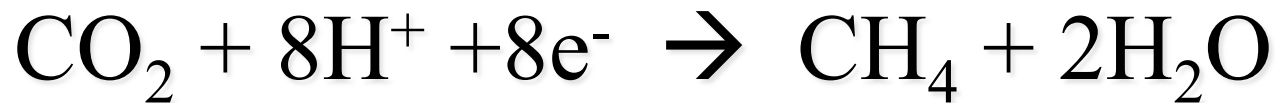
#### 1) 嫌気性微生物活動の影響

有害イオンの蓄積 (Accumulation of toxic ions)

有毒ガスの発生 (Occurrence of toxic gasses)

栄養塩類の損失 (Loss of nutrient salts)

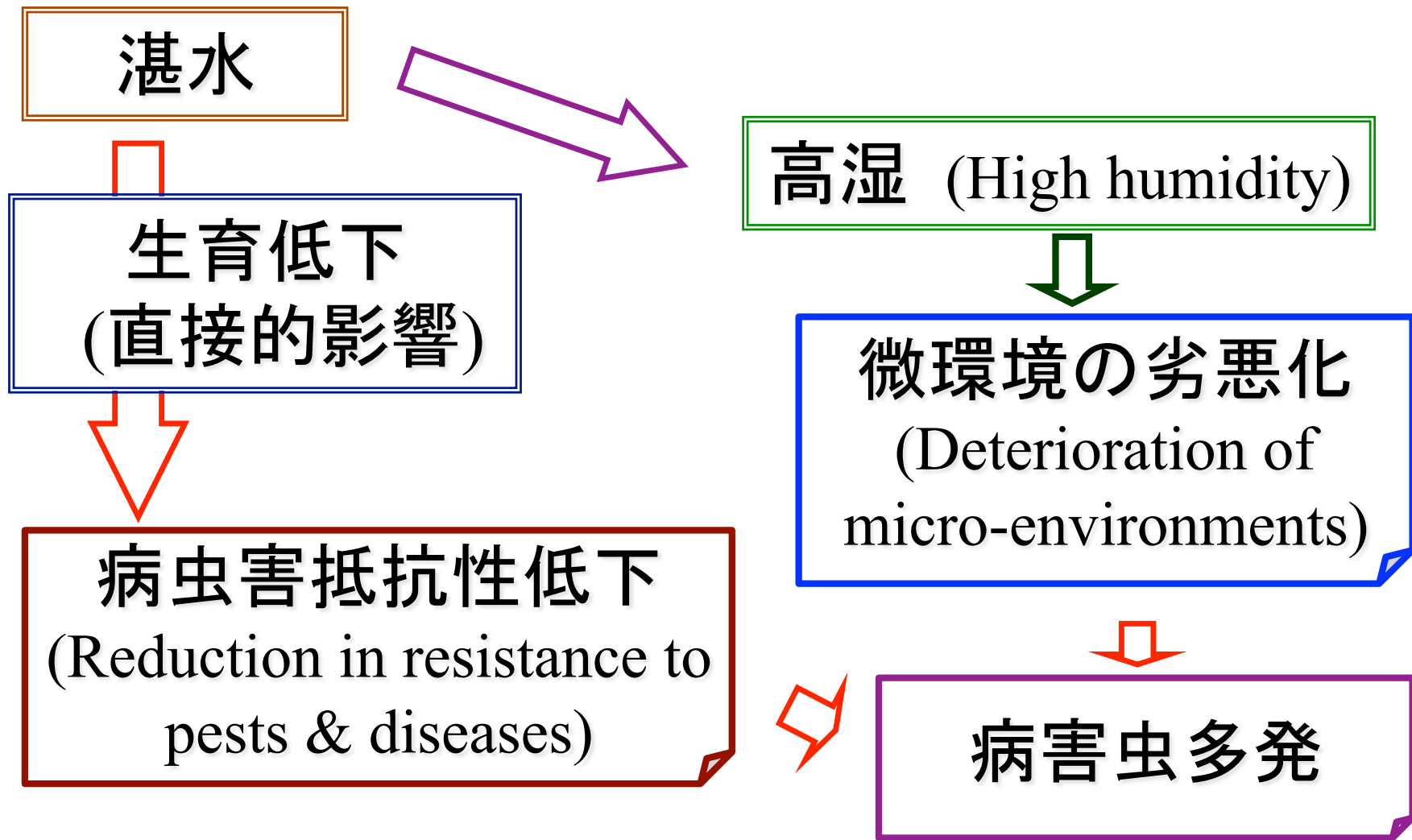
## 1) 嫌気性微生物活動による化学反応



土壤特性 (Soil properties) に関係

特に**有機物含量** (Soil organic matter contents)

## 2) 病害虫の発生 (Pests & diseases)



### 3) 栄養欠乏

可給態塩類 の流亡 (Loss of available nutrients)

恒常状態 (Homeostasis) へ復帰する時期

滞留していた水が引く

硝酸化成作用 (Nitrification) の抑制

畑土壌：窒素は硝酸態で安定

(Stable form of nitrogen: Nitrate N)

硝酸化成(硝化)細菌の消滅

(Disappearance of nitrifying bacteria)

→ 硝化作用の抑制 → 窒素欠乏

## 8. 湛水（洪水・湿害）

1. 湛水害の発生 (Occurrence of waterlogging)

2. 二重のストレス (Dual stresses)

**3. 湛水に対する反応 (Plant responses to waterlogging)**

i) 直接的影響 (Direct effects)

ii) 間接的影響 (Indirect effects)

**iii) 反応に影響を及ぼす外的要因**

**(External factors affecting responses)**

4. 耐湿性の機作

(Mechanisms of waterlogging tolerance)

5. 対策 (Measures against waterlogging)

### iii) 湛水に対する反応に影響を与える 外的要因 (External factors)

#### 気温・水温 (Air & water temperature) の影響

高温 >> 低温

酸素消費大 (Large oxygen consumption)

飽和溶存酸素濃度低下

(Reduction in saturate dissolved oxygen conc.)

間接的影響大

#### 土壌有機物 (Soil organic matter) 含量の影響

高OM > 低 OM

酸素消費大・間接的影響大



## 7. 湛水（洪水・湿害）

1. 湛水害の発生 (Occurrence of waterlogging)
2. 二重のストレス (Dual stresses)
3. 湛水に対する反応 (Plant responses to waterlogging)
  - i) 直接的影響 (Direct effects)
  - ii) 間接的影響 (Indirect effects)
  - iii) 反応に影響を及ぼす外的要因  
(External factors affecting responses)

### 4. 耐湿性の機作

(Mechanisms of waterlogging tolerance)

5. 対策 (Measures against waterlogging)

## 耐湿性 (Waterlogging tolerance)

＝ 直接的影響に対する耐性

(Tolerance to direct effects of waterlogging)

間接的影響 多岐に渡る・地域差が大きい

## 耐湿性の機作 (Tolerance mechanisms)

### 1) 構造的適応 (Structural adaptation)

酸素吸収の効率化 (Efficient O<sub>2</sub> absorption)

### 2) 代謝的適応 (Metabolic adaptation)

嫌気呼吸の活性化及び有害物質除去

(Activation of anaerobic respiration & removal of toxic materials)

## 1) 構造的適応 (Structural adaptation)

- a) 通気組織の形成  
(Aerenchyma formation)
- b) 不定根(気根)の発生  
(Adventitious root formation)
- c) 皮目・スポンジ状組織の形成  
(Lenticell and spongy tissue formation)

酸素吸収  
の効率化

エチレンの作用

## 1) 構造的適応 (Structural adaptation)

a) 通気組織の形成

(Aerenchyma formation)

b) 不定根(気根)の発生

(Adventitious root formation)

c) 皮目・スポンジ状組織の形成

(Lenticell and spongy tissue

formation) 浅根性 (Shallow root systems)

e) スベリンによる防御帯形成

(Formation of suberin protective strip)

## 2) 代謝的適応 (Metabolic adaptation)

- a) 貯蔵物質による嫌気呼吸基質消耗の補給  
(Supply of anaerobic respiration substrate)
- b) エタノールの除去機構  
(Mechanisms of ethanol removal)
- c) エタノール発酵 → 乳酸・リンゴ酸発酵  
(Changes from ethanol to lactic acid or malic acid fermentation)

効果小

構造的適応 >> 代謝的適応

## 8. 湛水（洪水・湿害）

1. 湛水害の発生 (Occurrence of waterlogging)
2. 二重のストレス (Dual stresses)
3. 湛水に対する反応 (Plant responses to waterlogging)
  - i) 直接的影響 (Direct effects)
  - ii) 間接的影響 (Indirect effects)
  - iii) 反応に影響を及ぼす外的要因  
(External factors affecting responses)
4. 耐湿性の機作  
(Mechanisms of waterlogging tolerance)
- 5. 対策 (Measures against waterlogging)**

## ストレス環境に対する農業技術の適応 (Adaptation of agricultural technologies to stressful environment)

- ✧ 工学的適応 (Engineering adaptation)
- ✧ 農学的適応 (Agronomic adaptation)

ストレス環境に対する農業技術の適応  
(Adaptation of agricultural technologies to stressful environment)

- ◇ 工学的適応 (Engineering adaptation)
- ◇ 農学的適応 (Agronomic adaptation)

洪水環境の人為的改変 (Artificial modification of flooding-prone environment)

排水施設 (Proper drainage systems) ・ 輪中  
→ 大規模な水利網 (Large-scale irrigation & drainage network)

効果大、要大資本



## 工学的適応の例

### 洪水環境の人為的改変 (Artificial modification of flooding-prone environment)

タイ・チャオプラヤデルタ (Chaothraya Delta)

大チャオプラヤ計画による灌漑排水網

West Bank の遊水池 (Retarding basin) 化

大規模な輪中

主要目的はバンコクの洪水対策

ベトナム・紅河デルタ

灌漑排水網完備、大規模な輪中

排水ポンプの能力、数年に一度洪水害

## 農学的適応

1. 高畝栽培 (Cultivation on high ridges)
2. 作付体系の適応 (Adaptation by cropping systems)
3. 特殊技術 (Site-specific technologies)
4. 耐性品種の育成 (Breeding of tolerant cultivars)

### 1. 高畝栽培

効果的

小農 (Small holders) でも可能

高畝栽培具体例

## 2. 作付体系の適応

洪水常襲期を避ける (Avoid flood-prone periods)

常襲期・感受期 (Sensitive periods)

効果的、絶対的ではない

作付体系  
(紅河デルタ)

イネ二期作、冬作：野菜・トウモロコシ・ジャガイモ

冬春作イネ

夏作イネ

冬作

Jan. Feb. Mar. Apr. May June July Aug. Sept. Oct. Nov. Dec.

春作イネ

夏作イネ

### 3. 特殊技術 (Site-specific technologies) (湿地農法、Wetland agriculture)

#### 火入れ (Burning)

ミャンマー・インレー湖の浮島栽培  
火入れによる消毒 (Sterilization)

→ 間接的影響の除去

#### 人為的湛水 (Artificial flooding)

タイ・ダムナンサドゥアック地区：  
ジヨムナム

人為的湛水による土壌環境の激変

→ 間接的影響の除去

## 4. 耐性品種の育成 (Development of tolerant cv.)

### 一般に困難

二重のストレス (Dual stresses)

### 直接的影響 (Direct effects)

生育低下最小限

(Minimum growth reduction)

酸素吸収回復 (不定根等)

(Early recovery of aerobic respiration)

好気条件への再適応

(Early re-adaptation to aerobic conditions)

## 4. 耐性品種の育成 (Development of tolerant cv.)

### 間接的影響 (Indirect effects)

主要因多岐に渡る (Diversified related factors)

嫌気性微生物 (Anaerobic microorganisms)

病虫害 (Pests and Diseases)

栄養塩類損失 (Loss of nutrients)



地域ごとに異なる

普遍的耐性品種育成困難 (Globally used var.)

→ 地域毎に品種育成

## 講義の内容 (Contents)

1. ストレス環境の生起 (Occurrence of stress)
2. 植物の水分生理 (Plant water relations)
3. 水分動態 (Water dynamics)
4. 活性酸素 (Reactive oxygen)
5. 乾燥 (Drought)
6. 高温・低温 (Heat, Chilling)
7. 塩類集積・栄養ストレス (Salinity, nutrition)
8. 湛水 (Waterlogging)
- 9. 環境ストレスの相互作用 (Interaction)**

## 環境ストレスの相互作用 (Interaction of environmental stresses)

1. 相助的作用 (Synergistic Interaction)  
2つのストレスが影響を強め合う
2. 拮抗的作用 (Antagonistic Interaction)
  - ・ 1つのストレスに対する適応が、他のストレスに対する耐性を誘導する
  - ・ 1つのストレスが他のストレスを弱める



## 8. 環境ストレスの交互作用

### 1. 相助的作用 (Synergistic Interaction)

2つのストレスが影響を強め合う

- i. 低温と強光 (Chilling & intense light)
- ii. 乾燥 (又は弱光) と貧栄養  
(Drought or feeble light & poor nutrition)
- iii. 乾燥と塩類集積  
(Drought & salt accumulation)
- iv. 湛水と高温 (Waterlogging and heat)
- v. 湛水と塩類集積  
(Waterlogging and salinization)

i 低温と強光 (Chilling & intense light)  
低温 (Chilling temperature)

→ 暗反応系活性低下

(Inactivation of dark reaction  
system)

→ エネルギー過剰 (Excess energy)

→ 活性酸素発生

(Generation of reactive  
oxygen)

→ 光阻害 (光化学系損傷)

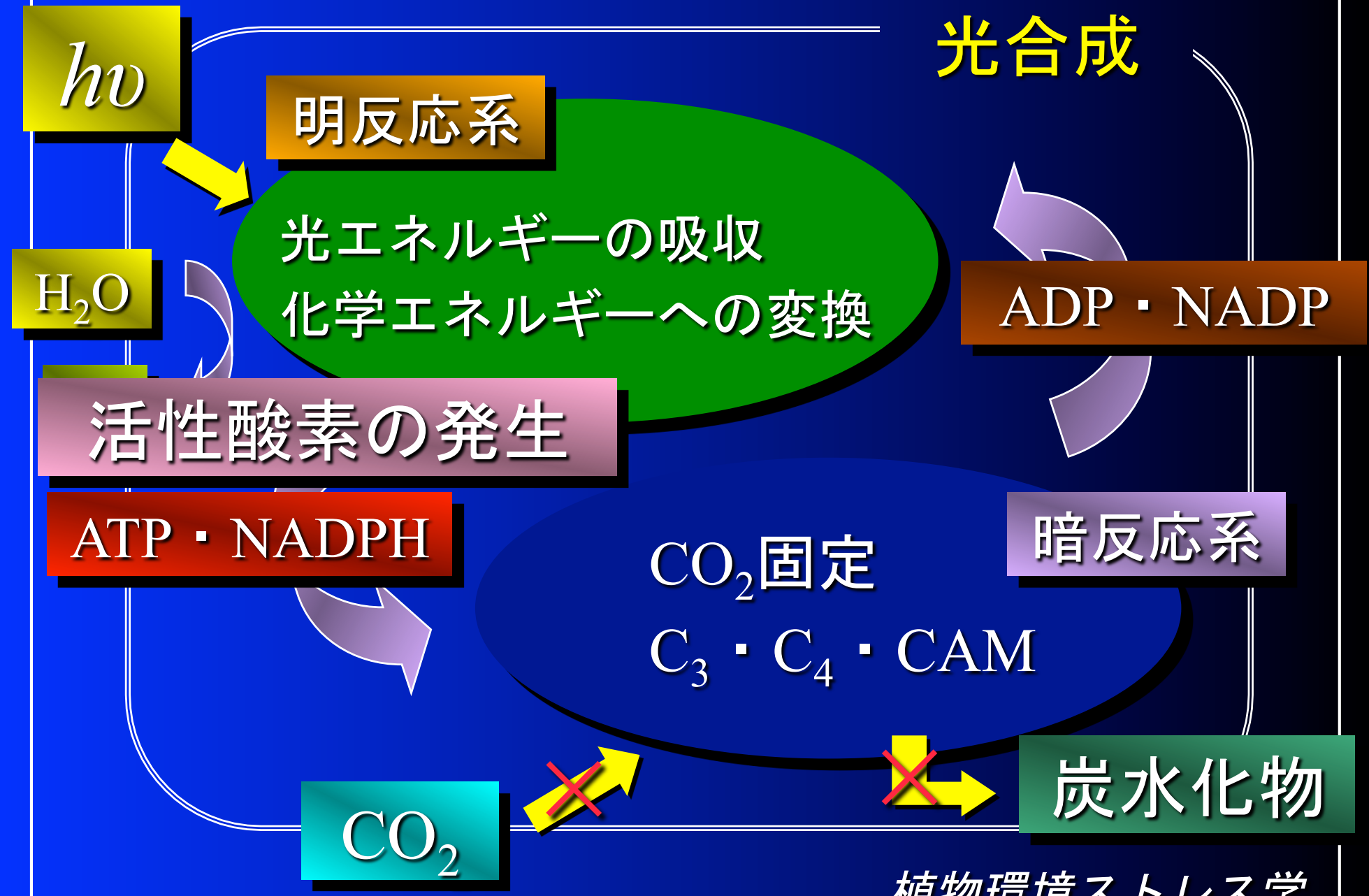
(Photo inhibition)

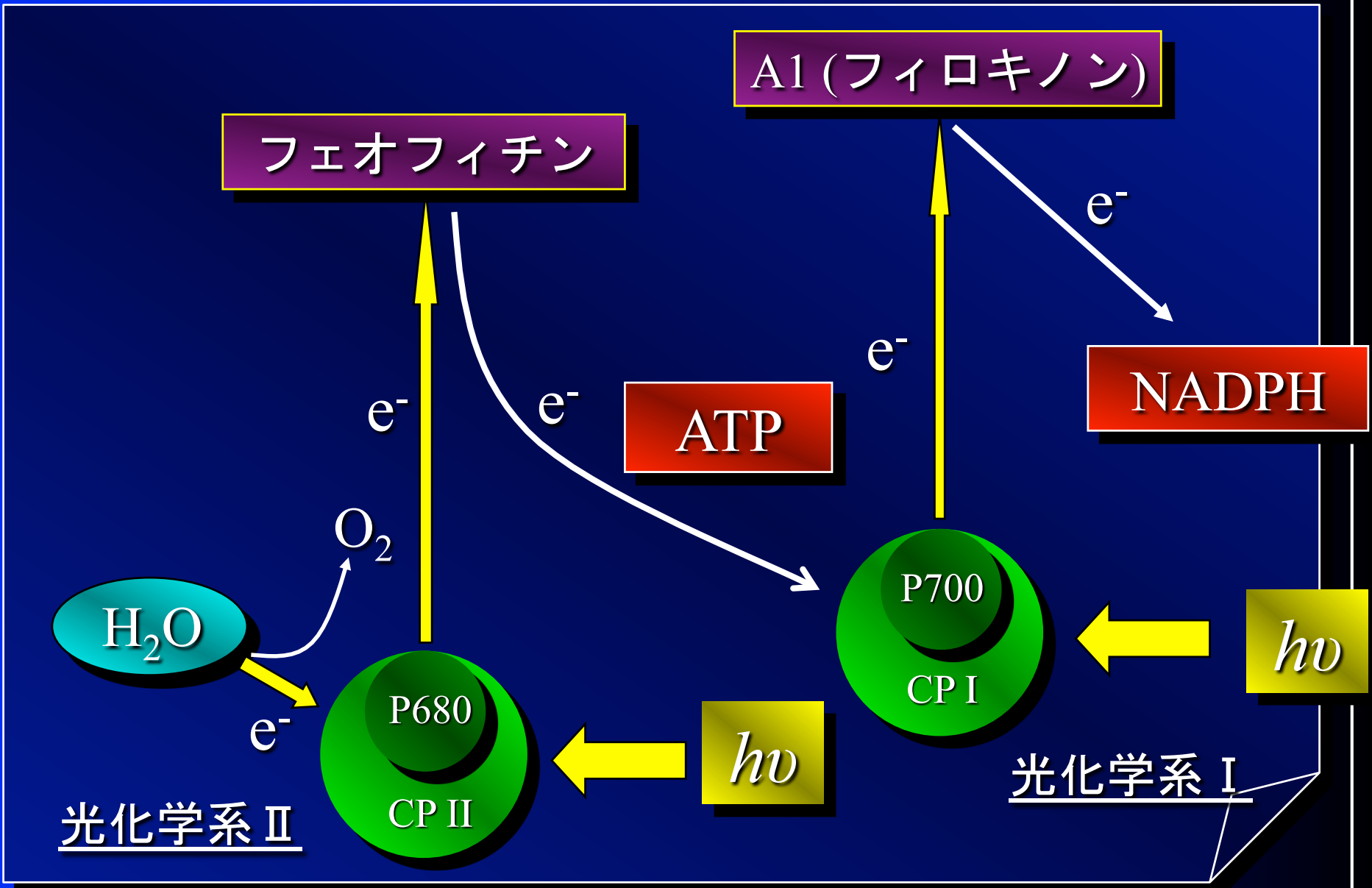
## 活性酸素 (Reactive oxygen)

定義：通常の酸素にくらべいちじるしく化学反応をおこしやすい酸素（理化学辞典）

### 活性酸素の種類

1. スーパーオキシドアニオンラディカル  
(Super oxide anion radical)  $O_2^-$   $\cdot OH$
  2. ヒドロキシルラディカル (Hydroxyl radical)
  3. 過酸化水素 (Hydrogen peroxide)  $H_2O_2$
  4. 一重項酸素 (Singlet oxygen)  $^1O_2$
- ※ 1・2はフリーラディカル、通常の酸素分子は三重項酸素 (Triplet oxygen)  $^3O_2$





## 植物の活性酸素除去機構

### Water-water cycle

1.  $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 [\text{e}^-] + 4\text{H}^+ + \text{O}_2$   
(PSIIでの水の光酸化による $\text{O}_2$ 発生)
2.  $2\text{O}_2 + 2 [\text{e}^-] \rightarrow 2\text{O}_2^-$   
(PS I でのスーパーオキシドの発生)
3.  $2\text{O}_2^- + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_2$  (SOD触媒)
4.  $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{AsA} \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{MDA}$  (APX触媒)
5.  $2\text{MDA} + 2 [\text{e}^-] + 2\text{H}^+ \rightarrow 2\text{AsA}$   
(酸化型AsAのAsAへの還元)
6.  $2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$  (1~5の合計)

## ii. 乾燥と貧栄養 (Drought & poor nutrition)

**貧栄養** → 生態系生産力低下

→ 土壌有機物含量低下

(Reduction in soil organic matter contents)

→ 地力低下 (Reduction in soil fertility)

**乾燥** → 土壌有機物の無機化速度低下

(Reduction in mineralization rate of SOM)

(低反応速度、土壌微生物低密度)

(Low response velocity, Low density of soil microorganisms)

→ 気孔閉鎖による光合成速度低下

→ 生態系生産力低下

### iii. 乾燥と塩類集積

乾燥地(Drought & soil salinization)

乾燥

→ 土壤水分低下

(Reduction in soil moisture contents)

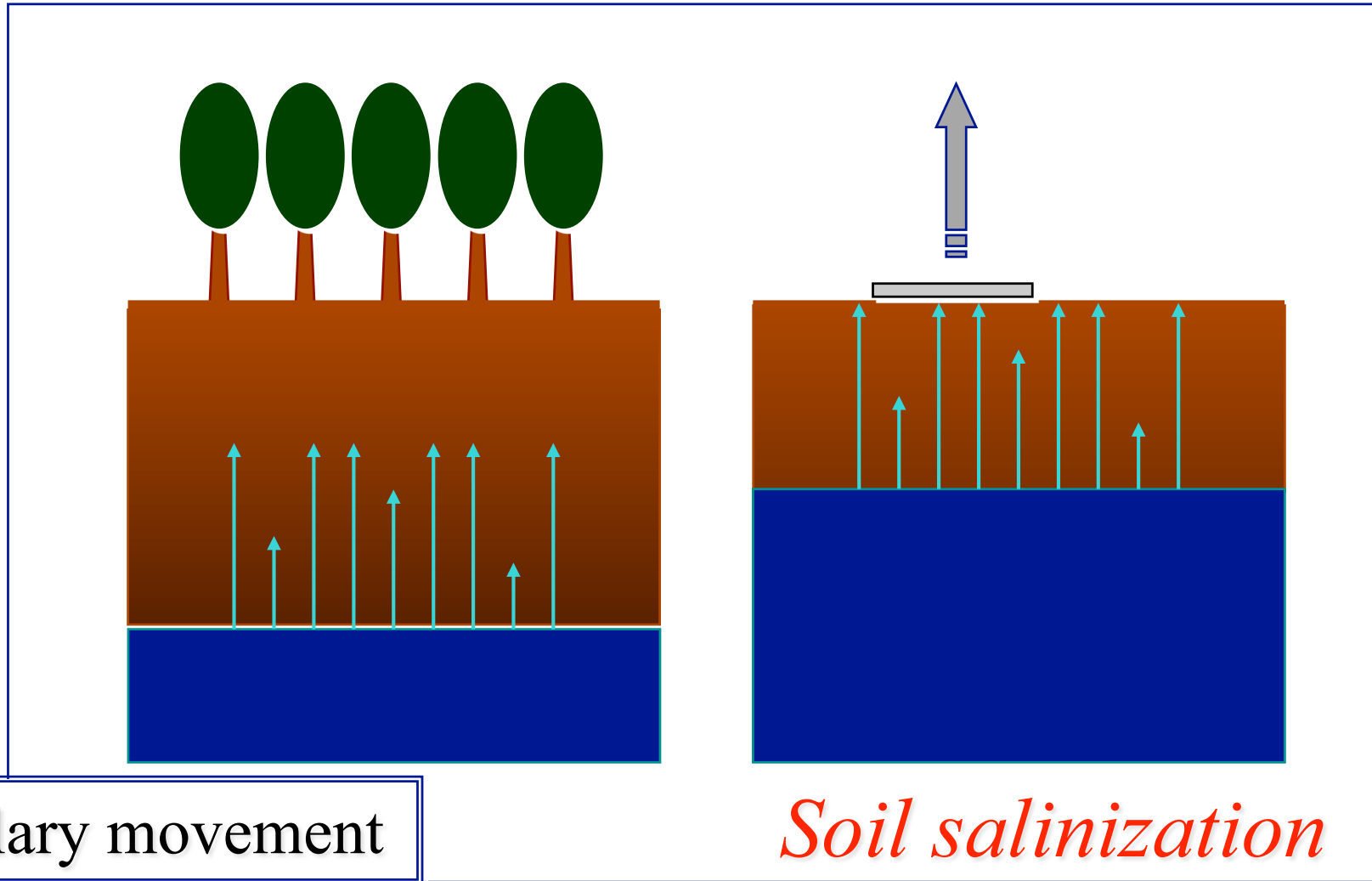
→ 土壤溶液塩濃度上昇

(Increase of salt concentration in soil water)

→ 生長へ悪影響

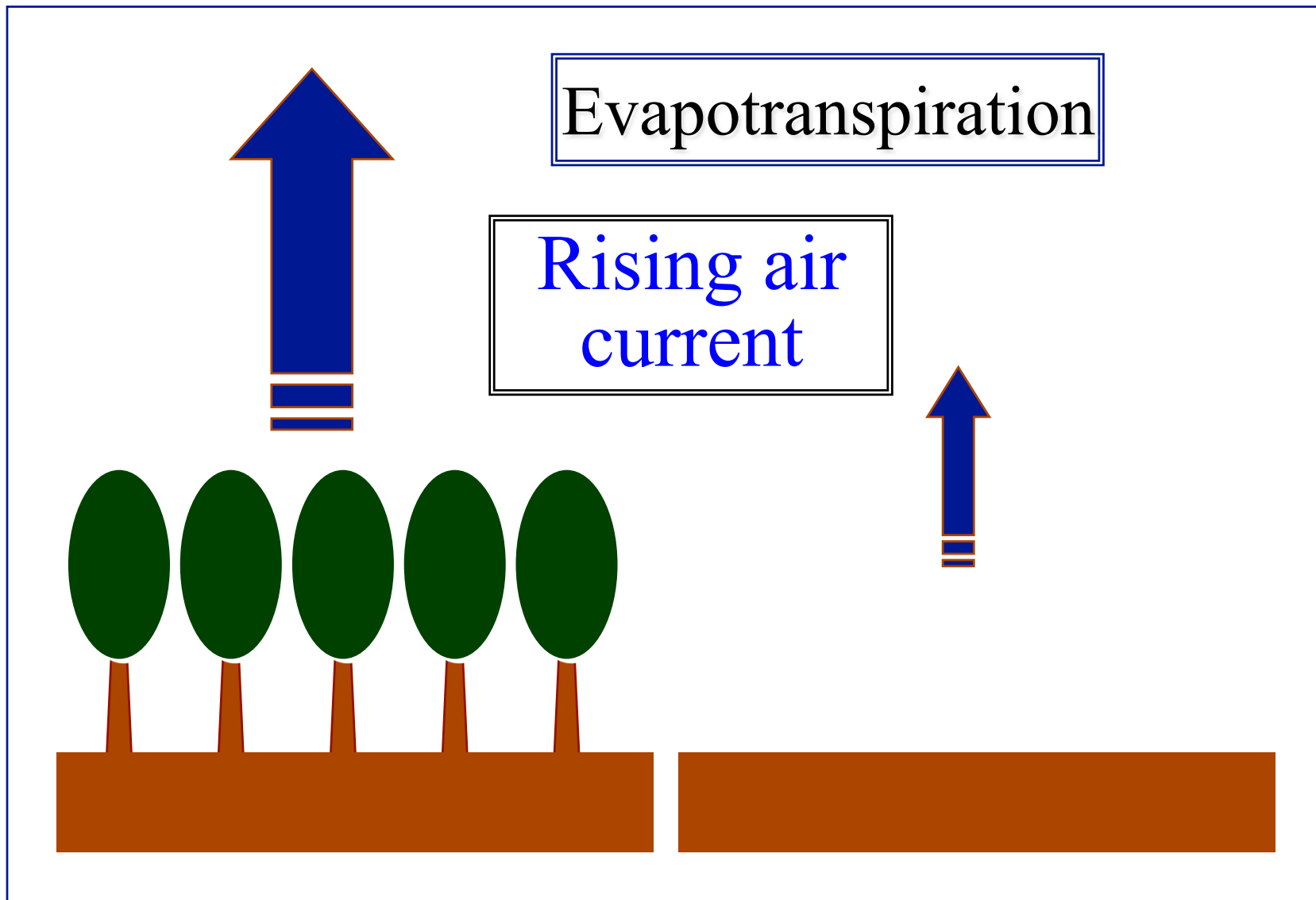
(Adverse influences on growth)





Capillary movement

*Soil salinization*



#### iv. 湛水と高温 (Waterlogging & heat)

高温

→ 飽和溶存酸素濃度低下

(Decrease in saturated concentration of dissolved oxygen)

→ 酸素ストレス増大

(Increase in oxygen stress)

#### v. 湛水と塩類集積 (Waterlogging & salinity)

湛水

→ 局地的の高塩濃度の拡大

(Expansion of salt-affected areas)

## 2. 拮抗的作用 (Antagonistic Interaction)

- ・ 1つのストレスに対する適応が、他のストレスに対する耐性を誘導する
- ・ 1つのストレスが他のストレスを弱める

### 交絡耐性 (Crossed tolerance)

- i. 低温と水ストレス  
(Chilling temperature & drought)
- ii. 弱光と水ストレス  
(Weak light & drought)
- iii. 高温と水ストレス (Heat & drought)

## 2. 拮抗的作用 (Antagonistic Interaction)

- ・ 1つのストレスに対する適応が、他のストレスに対する耐性を誘導する
- ・ 1つのストレスが他のストレスを弱める

### 交絡耐性 (Crossed tolerance)

- 低温と水ストレス  
(Chilling temperature & drought)
- 弱光と水ストレス  
(Weak light & drought)
- 高温と水ストレス (Heat & drought)

全身獲得抵抗性  
(SAR, Systemic  
Acquired Resistance)

## i. 低温と乾燥 (Chilling & drought)

低温に対する馴化 (Acclimation to chilling temperature or hardening)

→ 浸透ポテンシャルの能動的低下による凍結防止 (Protection from freezing by active reduction in osmotic potential)

⇒ 浸透調整 (Osmotic adjustment)

造林用苗で実用化

(Practical use for tree seedlings)

## ii. 弱光と乾燥 (Weak light & drought)

乾燥 → 気孔閉鎖

→ 光合成低下 (Photosynthetic reduction)

弱光時、影響小

明反応系のエネルギー過剰小

(Less excess energy from light reaction)

## iii. 高温と乾燥 (Heat & drought)

高温 → 水ストレスを誘導

耐暑性 → 耐乾性と共通部分多い

耐暑性品種の育成

→ 耐乾性品種の育成