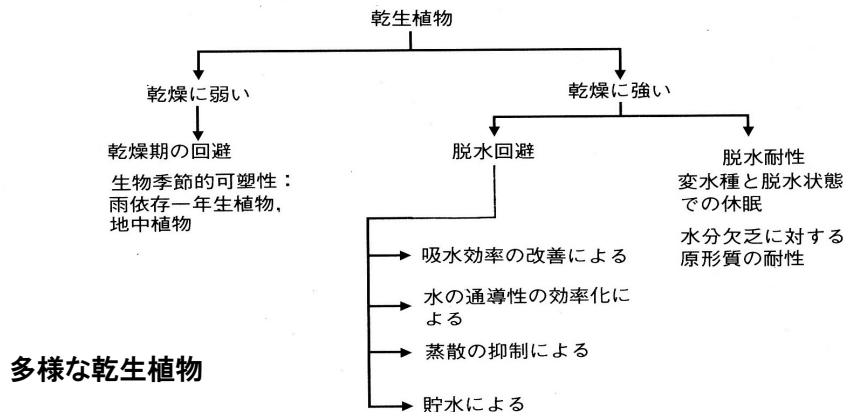


## II. 水分の欠乏によるストレスとは

### ● 乾生植物の種類



### 1. 乾燥地の風景

- ・新疆・中国タクラマカン砂漠
- ・サウジアラビア乾燥地
- ・アメリカ西部
- ・スーダン
- ・乾燥地の植物

### 2. 水ポテンシャル

- 高校生物で学習する「浸透圧」
  - ・高張液中で細胞は脱水され原形質分離を引き起こす
  - ・植物の枯死・・・細胞内部の崩壊
  - ・動物と植物の細胞構造
  - ・細胞壁の役割
- (吸水力) = (浸透圧) - (膨圧)・・・圧力差は吸水力を生む=ニュートン力学的理解
  - ・細胞内部圧 > 外部圧・・・しかし、吸水は起こる? 圧力差で説明できない
  - ・水の落下 熱力学第二法則による説明
- 水の移動は2つの系のエネルギー落差で起こる
  - ・G: 水の持つギブスの自由エネルギー
  - ・ $\mu$ : 水 1 モルあたりのエネルギー (化学ポテンシャル)
  - \* 熱力学第二法則: 変化 (水移動) は自由エネルギーの落差が減少する方向に進行し、落差がなくなると停止する
- 水ポテンシャルとは
  - ・水移動は水の持つ化学ポテンシャルの高いところから低いところに向かって起こり、化学ポテンシャルが等しくなれば止まる
- 化学ポテンシャルの表示
  - ・純水、つまり理想の水の化学ポテンシャルを基準として考える
  - ・純水の化学ポテンシャルを  $\mu_0$  とする。  $\mu_0$  は最大である
  - ・ある場所 (状態) の水の化学ポテンシャルを  $\mu_1$  とする
  - ・  $\mu_0 - \mu_1$  は、化学ポテンシャルの落差
  - ・単位当たりの水の量を  $V_w$  モルとする
  - ・  $(\mu_0 - \mu_1) \div V_w$ : ある場所の水と純水との間の、水 1 モルあたりのエネルギー落差
  - ・そこで、  $(\mu_0 - \mu_1) \div V_w$  は  $\Psi_w$  (プサイ) と表示される

### Ψ<sub>w</sub>:水ポテンシャル

(ある場所の水は、純水に比べ、どれぐらいのエネルギー状態にあるか)

#### ● 細胞液の水ポテンシャル

- ・膨圧により生じるポテンシャル：圧ポテンシャル=Ψ<sub>p</sub> (=P)
- ・浸透圧(π)で生じるポテンシャル：浸透ポテンシャル=Ψ<sub>s</sub> (=−π)

$$\Psi_w = \Psi_p + \Psi_s = P + (-\pi)$$

(水ポテンシャル Ψ<sub>w</sub> は、圧ポテンシャル Ψ<sub>p</sub> と浸透ポテンシャル Ψ<sub>s</sub> でほぼ決まる)

- ・高校生物の説明では 吸水力=浸透圧−膨圧=π−P

- ・膨圧=Ψ<sub>p</sub>

- ・しかし「浸透圧と Ψ<sub>s</sub>」、「吸水力と Ψ<sub>w</sub>」は . . . . .

- ・符号が逆、絶対値が等しい

- ・\*Ψ<sub>w</sub>, Ψ<sub>p</sub>, Ψ<sub>s</sub> の単位：圧力 . . . bar, Pa(パスカル)

- ・ . . . 1 bar=0.1MPa (メガ・パスカル)

- ・実際の水ポテンシャル

$$\Psi_w = \Psi_p + \Psi_s + \Psi_m + \Psi_g$$

- ・\*Ψ<sub>m</sub>：マトリック力（表面張力）で生じるポテンシャル=極小

- ・\*\* Ψ<sub>g</sub>：重力で生じるポテンシャル 0.01MPa/m (樹木で極めて重要！)

#### ● 樹体内の水移動

- ・土→根→幹→葉→大気

- ・水ポテンシャル落差: Ψ<sub>土</sub> > Ψ<sub>根</sub> > Ψ<sub>幹</sub> > Ψ<sub>葉</sub> > Ψ<sub>気</sub> (水ポテンシャル落差で水が移動)

#### ● 高さ100mの葉に水が到達

- ・水条件が最高のとき（夜明け前、葉がぬれている） . . . 葉の水ポテンシャルは最高値
- ・それでも、頂端の水ポテンシャルは −1MPa (以下)

- ・重力による Ψ<sub>g</sub> は −1MPa (0.01MPa/m)

### 3. 水ポテンシャルの計測

#### ● プレッシャーチャンバーによる水ポテンシャル測定法

- ・水ポテンシャルの時間的変化（ニオイヒバ）：高い位置ほど日中の水ポテンシャルは低下
- ・水ポテンシャルの時間的変動（アメリカアカマツの実験） . . .

湿潤、弱乾燥、強乾燥下のマツの苗はどうなる？

#### ● 土壌の乾燥の進行と葉、根の水ポテンシャル変化

- ・植物の枯死 . . . 細胞内部の崩壊
- ・断水の影響 . . . 水ポテンシャル、光合成の変化
- ・再給水 . . . 水ポテンシャル：急速回復、光合成：回復遅延

#### ● 中国乾燥地の樹木の膨圧を失うときの水ポテンシャル (Ψ<sub>wtlp</sub>)

### 4. アブシジン酸と気孔閉鎖

#### ● 樹木などC3植物の光合成とトウモロコシなどC4植物の光合成

#### ● 水ストレスと気孔閉鎖

- ・水ストレスとアブシジン酸 (ABA) 増減 (オナモミ)
- ・断水と再給水によるトウモロコシの水ポテンシャル、気孔閉鎖、および ABA の増減
- ・ABA による気孔閉鎖のメカニズム

#### ● 葉の水の動き (蒸散と抵抗)

- ・中国陝西省の黄土高原に生育する華北紫丁香 (ハシドイ属、左) と小葉錦鶏児 (ムレスズメ属、右) の気孔構造 . . . クチクラワックスの発達でクチクラ蒸散を抑制

#### ● 晴天と時々晴の日の光合成 (ユーカリ) . . . 晴天はストレス！

- ・ストレス感受性

### 5. 水ストレスと浸透(圧)調節(整)

#### ● 乾燥ストレス耐性=浸透調節能

#### ● 浸透調節(整)と適合溶質

- ・浸透調節能 . . . 細胞内の適合溶質の合成能

● 適合溶質とは

- ①細胞内に蓄積される低分子有機化合物（水に溶ける）
- ②水ストレス下で合成・蓄積・・・細胞の浸透圧上昇
- ③ストレスの解除によってただちに分解
- ④適合物質を合成する能力・・・高い耐乾性

● 適合溶質の種類

- ①糖および糖の誘導体（糖アルコール）：Nの少ない痩せ地
- ②アミノ酸：プロリン
- ③第四級アンモニウム化合物（ベタイン類）：安定的に蓄積
- ④第三級スルホニウム化合物：海洋性藻類や海岸の塩生植物

● 乾燥地植物の浸透調節能の評価とそのメカニズム解明

● 植物のストレス対応

- ・浸透調節物質（ベタイン類、プロリン、糖類、糖アルコールなど）の蓄積による浸透調節
  - 原形質分離を防ぐ（水を細胞内に流入、膨圧の維持）
  - 代謝活性に悪影響を及ぼすことなく高濃度蓄積
  - 蓄積する物質は種によって多様

・浸透調節物質集積・・・耐塩性、耐乾燥性、耐凍性

● 乾燥地植物の耐乾性（新疆・中国）・・・タクラマカン砂漠の灌木

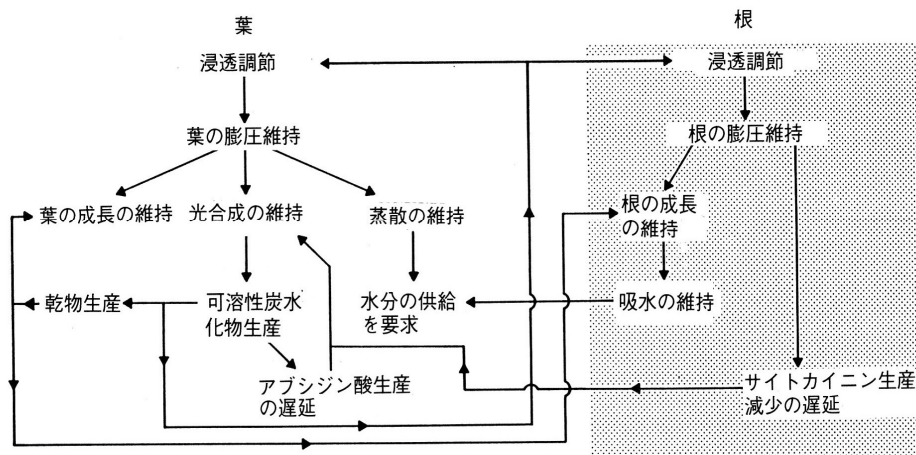
- ・灌木5種類の葉に含まれる可溶性糖類
- ・灌木5種類の葉に含まれる糖アルコール
- ・灌木5種類の葉に含まれるベタイン類

● 乾燥地植物の耐乾性（アメリカ西部）

- ・浸透調節物質と塩ストレスとの関係
- ・コロラド河畔に侵入した新疆原産のタマリスク
- ・Salton Sea 湖畔のタマリスク
- ・新疆のタマリスクに見られる塩の排出・・・塩に強く、塩を吸う植物
- ・タマリスク葉内の Na 濃度と浸透調節物質プロリン・・・
  - \*高塩環境のタマリスクはプロリンの蓄積多い（タマリスクの耐塩性とプロリンの役割）
- ・アメリカ西部乾燥地植物とベタイン類蓄積
  - \*アカザ科、ヒユ科植物はグリシンベタインを蓄積

● 熱帯の海の森・マングローブ・・・ヤエヤマヒルギ、オヒルギ、メヒルギ、ヒルギダマシ、マヤブシキなど

- ・海塩濃度の最も高い場所に生育するヒルギダマシ（アラブ首長国連邦）
- ・海の中に森林がある（陸は砂漠、海は森林、アラブ首長国連邦）
- ・マングローブの浸透調節能（ヒルギダマシの顕著なグリシンベタイン生合成）



葉、根の浸透調節によって生じる生理的变化