

植物発育論 第14回 障害・ストレスと発育 その2 非生物学的ストレス

予習1. 作物の生産において、環境ストレスは大きな制約要因となっている。砂漠化、塩類集積、地球温暖化などのニュースを新聞、雑誌、インターネットなどから探してきて、その内容を簡単に要約し、次にその記事を読んで考えたことを自由に書け(400字以上で)。

出典元: をみて

1. 種々の非生物学的ストレスと植物の反応

① 非生物学的ストレス

非生物学的ストレスには(乾燥), 冠水による(酸素不足), (塩(えん)), (低温), (高温), 紫外線, 強い光, オゾン, 特定の養分の過剰あるいは欠乏などによるものがあげられる。

② 植物のストレスに対する反応

植物はストレスに対して種々の反応をして、それに抵抗する。しかし、その反応にはコストがかかるので、コストとベネフィット(利益)の比較が重要となる。

土壌上層に水が十分がないので、より深くまで根を発達させて水を吸収しようとする場合、コストは根を深くまで発達させるのに必要な乾物重、エネルギーであり、ベネフィットは根を深くまで発達させた結果、増加した(水)によって増加した乾物重、エネルギーと考えることができる。

図1: 昆虫はタンニンの多い葉を忌避するので、タンニンが多い葉は食害を受けにくいベネフィットがある一方、タンニンの合成するコストは高いので、葉を作る速度は低下してしまう。この関係はトレードオフととらえることも可能である。

トレードオフの例

落葉を早くするか? 遅くするか?

落葉を早くすると寒さによって葉や道管が凍結するダメージを受けにくい

が、光合成量はそれだけ少なくなる。逆に落葉を遅くすれば、光合成量は多くなるが、葉が凍結してダメージを受ける可能性が高まる(その場合、回収できる養分も減る)

図1 熱帯の樹木 *Cecropia peltata* は葉にタンニンを蓄積して、昆虫からの食害を防ごうとする。一方、タンニンを合成するコストのために葉の成長はタンニン含量が高いほど低下する。

気孔を開けると(二酸化炭素)は入るが、(水)を失う・・・

2. ストレスと発育段階

非生物学的ストレスの原因のうち、気象的な要因（乾燥、温度）は季節的な要因であり、さらに植物自体もある特定の発育段階（発芽、出芽、開花、結実）にストレスに弱い傾向にある。

図2：コムギは（**出穂・開花期**）、（**乳熟期**）に乾燥を受けるともっとも減収する。

図2 発育段階の異なる時期に与えられた乾燥ストレスに対するコムギの収量への影響。

3. 水に関わるストレス

① 植物における水の役割

植物体内における水の役割は植物の構成成分として、溶媒として、反応基質として、膨圧を維持するためである。

A. 構成成分 タンパク質や脂質などと同様に（**原形質**）の重要な成分である。

B. 溶媒 植物体内のさまざまな物質を（**溶かし**）、（**輸送**）する

C. 反応基質 植物体内でのさまざまな化学反応の（**基質**）、すなわち酵素の作用を受けて反応を起こす物質であり、さらに反応生成物でもある。

D. 膨圧の維持（**膨圧**）は植物の形を維持し、成長するために必要である。膨圧がなくなると細胞分裂や細胞の伸長はできない。気孔の開閉、葉の運動などにも必要である。

しかし、植物が使う水のほとんど（ふつうの栽培条件では約95%程度）は（**蒸散**）という形である。

蒸散の役割として、主に以下の2つがあげられる。

1. **葉温を下げる冷却効果**
2. **土壌に水の流れを作り、養分を吸収させる効果**

しかし、実際には、蒸散で使う水は蒸散の役割を果たすために必要な水の量よりは多いと考えられている。植物は二酸化炭素を空気中から取り込むためには水を失わざるを得ない構造となっている（**トレードオフ**）。

② 乾燥ストレス・干害, 干ばつ

乾燥ストレスに対する植物の反応 (図3)

世界の乾燥地は61.5億haほどあり, 全陸地面積のほぼ半分に達する

乾燥ストレスを受けると, 最初, 成長を止める. 次に気孔を閉鎖し, 光合成を抑える. 最後には植物体をしおれさせたり, 一部を枯死させたりする. 休眠を始めることもある.

細胞の成長
タンパク質合成
硝酸還元酵素活性
アブシジン酸の増加
サイトカイニンの減少
気孔の開鎖
光合成の抑制
呼吸の乱れ
可逆的しおれ
老化

機能と
異なる反応
す.

図4: 乾燥ストレスの発生を植物は土壌の中の水分の減少を (**根**) で認識し, 植物ホルモンである (**アブシジン酸**) と (**エチレン**) によって, 地上部に伝達する. その結果, 葉では (**気孔**) が閉じて (**蒸散**) が減少し, 水の損失を抑えたり, 植物体全体では脱水耐性が増加したり, 休眠の準備が始まったりする.

乾燥抵抗性には乾燥 (**耐性**) と乾燥 (**回避性**) がある.

乾燥耐性 植物自身が水不足になってもそれに耐えられる性質. 細胞の浸透圧を高めることによって膨圧を維持するのはそのひとつである (図5).

乾燥回避性 環境が乾燥状態になっても植物自身は水不足にならないようにする性質. 深根性 (図6), 気孔の開鎖などがあげられる.

図5 浸透圧調節による膨圧の維持によってしおれを防ぐ.

植物をどう利用するかによって耐乾燥性のうちどれを重視するかは異なる

ゼリスケープ
屋上緑化

③ 冠水ストレス・湿害

図6 深根性と浅根性のヒメカモジグサの比較

植物が水に浸かる（冠水する）と根が酸素不足になり、生育が阻害される。冠水ストレスは根の（**酸素**）不足，土壤の（**還元**）状態，（**還元**）状態によって生成する有害な物質（有機酸，硫化水素など），還元状態によって特定の物質が溶け出すこと（2価鉄，マンガン）などによって起こる。

（**通気組織**）によって，葉から地上部の空気を根に送り込み，酸素を根に供給し，同時に土壤に酸素を出し，土壤を酸化状態にすることによって，湿性植物（イネ，イグサ，ハスなど）は冠水ストレスから逃れている。

トウモロコシのような陸生植物でも，水に浸かるとある程度までは通気組織を作ることができる。

4. 塩ストレス

① いくつかの塩害のタイプ

塩害には土壤における可溶性塩類の集積によって起こるタイプ（塩類集積土壤）と強風などによって塩分を含んだ水（一般には海水）が植物体に付着することによって起こるタイプがある。塩類の集積は海水の流入による沿岸地域のもので乾燥・半乾燥地域で蒸発散がさかんなために土壤の塩類を地表に集積するタイプに分けられる。前者のタイプでは土壤の pH は低い，すなわち酸性であることが多く，後者のタイプでは土壤表面に白い塩の固まりが発生し，土壤の pH は高いことが多い。施設園芸では人工的に降雨が遮られるので，塩類集積することがある（図7）。

② 塩ストレスに対する抵抗性

体内に塩分が蓄積しないようにするために，根が塩分を吸収しない，塩分の除去，液胞への隔離などをする。塩分耐性として，浸透圧を高める方法がとられる。

乾燥・半乾燥地での塩類集積土壌の場合、耐塩性そのものを高めるだけでは必ずしも根本的な解決にはならない。このようなところでは降水量が少ないため、土壌下層から水が表面へ移動するため、土壌内部の塩分が表面に出てくる。さらに土壌が気温の著しい変化によって風化されることによって塩分はさらに供給される。塩分を土壌から除去する抜本的な解決（排水など）が必要である。

やすい

5. 温度に関わるストレス

① 低温ストレス

熱帯原産の夏作物は 13°C以下になると影響を受ける（**冷温ストレス** , **chilling stress**）。一方、温帯原産の夏作物および冬作物は 0°C以下の凍結するような温度でもすぐには枯死しないが、凍結の程度によってストレスをうける（**凍結ストレス** , **freezing stress**）。さらに雪、霜などによる害は低温に加えて、光の不足、微生物などによるストレスも複合する。

催した
関係

図8：温度が低下するほど化学反応速度は遅くなるので、温度の低下にともない呼吸速度は低下する。しかし、サツマイモやトマトなどの熱帯原産の夏作物ではある温度（10°C前後）で急に呼吸が低下し始める。このような植物は（**冷温**）感受性植物である。一方、テンサイやジャガイモは冷温（0～13°Cの範囲の低温）に耐える冷温耐性植物である。

凍結ストレスと凍結抵抗性

凍結状態を生き抜く凍結抵抗性には大きく3つに分けられる

凍結を回避する（**凍結回避性**）

**保護器官・保護組織による断熱
空間的凍結回避
時間的凍結回避**

凍結を生き抜く (**凍結耐性**)

細胞内まで 凍結させない

**凝固点降下(浸透圧を高める)
細胞外, 器官外凍結**

凍結しても耐える

**凍結による脱水への抵抗性
細胞の収縮に対する耐性**

(**順化**) 生物の高地移動, 季節変化, 淡水・海水間の移動などの際に新しい環境に対応するのに数日から数週間を必要とする適応

0°Cを大きく下回るような低温条件下でも生き抜くことができる植物でも, 夏にいきなり実験的にそのような低温に遭遇させれば, 大きな障害を受け, 枯死することもある. 凍結ストレス耐性の高い植物は季節の変化を日長, 気温などから読み取り, 冬の到来の前に凍結耐性を上昇させる (図10).

の変化

② イネの冷害

障害型冷害と遅延型冷害

イネは熱帯原産の夏作物なので、冷温障害が起こる。冷温障害による農業上の被害（収量減少、品質低下など）を冷害と呼ぶ。

イネでは冷温によって花粉発育が不完全となることによって、受精できなくなる（**障害**）型冷害と低い気温がイネの発育を遅らせ、とりわけ出穂期を遅くすることによって、十分に結実するだけの有効積算温度が得られない（**遅延**）型冷害の2つのタイプの冷害を受ける。さらにこれにいもち病の発生（いもち病型冷害ともいう）も複合することも多い。

不稔（不受

図11：イネでは低温によって、稔実歩合が低下する。特に低温に弱いBの時期は、花粉母細胞における減数分裂期が終わり、4つの減数分裂の結果できた小胞子ができたあとの小胞子初期である。それ以外にAの時期である幼穂形成期、Cの時期である開花期も低温によって花粉の発育が阻害される。

湛水栽培するイネでは冷害を防止するために深水灌漑を行うことがある。図11のBの時期ではイネの幼穂はまだ地面の近くにあるので、水深を15cm以上にすることによって、水の保温効果によって、幼穂を低温から保護することができる。

チャでは防霜ファンやスプリンクラーによって凍霜害を防ぐことができる。ただ植物をみるだけでは気象災害に対応できないのである。

③ 高温ストレス

イネでは開花期がもっとも高温ストレスに弱いことが知られている。開花中の高温がもっとも影響が大きく、次に開花前の高温も影響を与えるが、開花後1時間もすると高温の影響はほとんどなくなる。

イネの開花時間はわずか1時間程度なので、開花を日中の温度の高い時間帯から朝の気温の低い時間に早めることで高温ストレスを回避することが可能だと考えられている。

受精)の発

さらに植物におけるストレスについて基礎的なことを学びたい人は

植物の生化学・分子生物学 22章 非生物ストレスに対する植物の応答 学会出版センター P1053～1092

植物生態生理学 6章 ストレスと植物 シュプリンガー・フェアラーク東京 P233～333

植物生理学 第32章 ストレス抵抗性の生理学 シュプリンガー・フェアラーク東京 P527～553

非生物ストレスをさらに学びたい人は

水環境と植物 クレーマー 養賢堂

植物と低温 酒井昭・吉田静夫 UP BIOLOGY シリーズ 東京大学出版会

植物の耐凍性と寒冷適応 酒井昭 学会出版センター

非生物ストレスと農業の関係に興味を持った人は

地球の水が危ない 高橋裕 岩波新書

ウォーター・ビジネス 中村靖彦 岩波書店

イネの冷害生理学 西山岩男 北海道大学図書刊行会

期末試験について

日時：2月7日（月）午前8時30分から

場所：教養棟1号館101教室

出題範囲：全部

持ち込みは一切不可。

出題について（小林35点の配点で残り15点は予習と小テスト。小林分についてののみ以下説明。）

1. 穴埋め，選択式問題（計算問題を含む） 授業で書き込んだ部分，特に小テストに出た部分を中心に
2. 図を読み取る問題
3. 記述問題 以下の3つの中から1つを選択する。
 - ① 雑草の中にはハコベのように日長にほとんど関わりなく，花をつけるものもあれば，シロザのように日長に敏感な短日植物のものもある。両者はそれぞれどのような環境に適応しているかを説明せよ。
 - ② 農業における摘心の意義をオーキシン，頂芽優勢の2つの言葉は必ず使って，説明せよ。
 - ③ 一時的なストレスと慢性的なストレスの違いを具体的に植物の機能（光合成など）と関連づけて，説明せよ。

小テスト (5分) (学生番号)

(氏名)

1. 次の () を適当な語句で埋め, { } は適切な語句を選べ.

- ① 非生物的ストレスには (**乾燥**), (**冠水による酸素不足**), (**塩**) によるものなどがある.

低温, 高温, 紫外線, 強い光, オゾン, 特定の養分の過剰あるいは欠乏

- ② 乾燥抵抗性には, 2種類ある. 環境が乾燥状態になっても植物自体は水不足にならない性質である { 乾燥耐性 ・ **乾燥回避性** ・ 乾燥感受性 } と植物自身が水不足になってもそれに耐える性質である { **乾燥耐性** 乾燥回避性 ・ 乾燥感受性 } とである.

- ③ 低温ストレスは大きく分けると2つある. 熱帯原産の夏作物である { ジャガイモ ・ **サツマイモ** ・ テンサイ } は 13°C以下になると障害を受けることがあり, これを (**冷温**) ストレスという. これに対して, 植物が凍結するような条件で起こる (**凍結**) ストレスがある.

2. 今回の授業, および7回の授業すべてに対する意見・感想などがあれば書いてください.

次年度の講義のために参考にしますので, できるかぎり大学の授業アンケートにもお答えください. よろしくお願ひします. 今回のレポートを返却してほしい場合は生物資源科学部2号館204室まで取りに来てください (不在の時もあるので, 2月2日(水)9時~10時には在室するようにします).