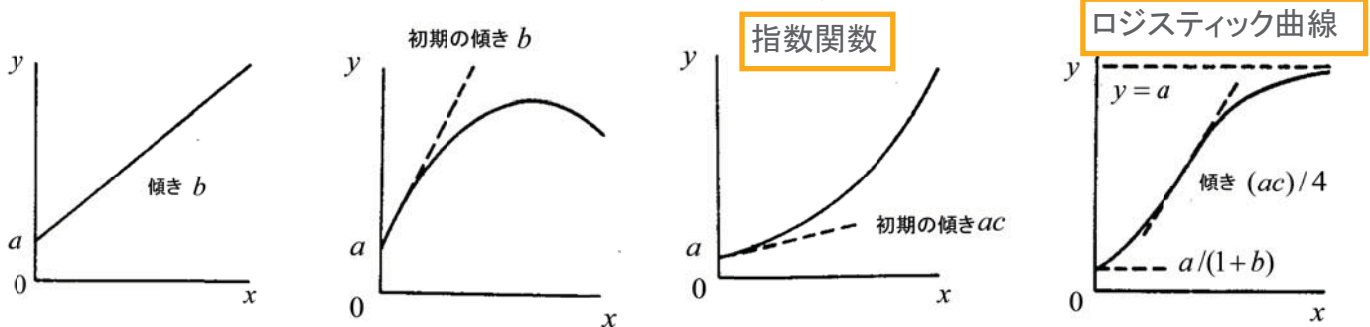


植物発育論 第12回 植物の器官の割合と環境

予習1. 春に種子が発芽し、秋に結実して一生を終える1年生植物について、植物体の重さが一生の間にどのように増加していくかを下のグラフから選び、線で選んだグラフを囲え。



1. 植物の成長と複利の法則

① 植物の成長をどう表現するか？

量的な拡大である植物の成長の記述方法にはいくつかある。水分を除いた植物体の重さである (**乾物重**) は植物の基本的な機能である光合成による成長との関連がもっとも深いので、もっとも一般的によく使われる成長の指標である。それ以外に、地際から地上部の先端までの長さである (**草丈**) は調査が簡便なことから成長の指標に使われる。また、葉面積、茎数、根長など器官それぞれにも成長の指標がある。

乾物重の大半は光合成由来の炭水化物、タンパク質、脂肪である。10%程度、根から吸収した無機物(カリウム、カルシウム、マグネシウム、鉄など)である。

② ブラックマンの複利の法則

単細胞の植物が一定の時間で細胞分裂し、2倍になっていくとしよう。

最初に細胞数が n_0 個の単細胞植物が光合成をして、増加していくとする。
第一世代の終わりでは細胞数は (**2**) 倍となり、 (**$n_0 \times 2$**) 個
第二世代の終わりでは細胞数は (**2×2**) 倍となり、 (**$n_0 \times 2 \times 2$**) 個
第 x 世代の終わりでは細胞数は、 (**$n_0 \times 2^x$**) 個となる。

単細胞植物の細胞分裂による増加ばかりでなく、出芽で増加する酵母や多細胞植物であるアオウキクサでも同じような関係が認められる (図1)。

図1では最初、10個体だったアオウキクサは一定時間ごとに2倍になり、指数関数的に増加する。

日数

単細胞ではなく、細胞が根、茎、葉に分化して、分業している植物でも、成長にまったく制約がない条件であれば、指数関数的に（俗に言うねずみ算）成長していくとみなせる。このように指数関数的に増加する様子を、銀行預けたお金が複利で運用されて増加する様子にたとえて、ブラックマンの（**複利の法則**）という。

しかし、現実には成長すればするほど、環境からの制約が大きくなる（光、水、養分などの供給に限りがあるなど）から成長の速度は遅くなり、やがて、停止する。これはロジスチック曲線（シグモイド曲線ともいう）で近似される（図2、3）。

③ 光合成器官と非光合成器官の割合

しかし、実際の高等植物では根、茎、葉に細胞が機能分化している。一般的な植物では（**根**）、（**茎**）、（**葉**）の3つに機能を役割分化しており、生殖成長期にはいと（**花**）なども作られる。

したがって、葉が大きいほど（光を受け止めて光合成するので、葉面積が大きいほど）、光合成をたくさんできるので、有利である。

光合成産物を光合成器官である葉を作るのに使う割合が大きければ大きいほど、成長はより加速的に進む。

図5：もともとの乾物重が100あって、年間の葉の物質生産量が葉の乾物重の4倍だとする。すなわち一年で葉は自分自身の4倍の乾物を生産するとし、1年たつと元の体は枯死するとしよう。左の場合、1年目に生産した乾物のうち葉へ30%だけ振り分ける。1年目の葉の乾物重は30gだから、2年目の乾物重は(A 120)g、そのうち葉は(B 36)gであり、(B)の4倍生産するので3年目の乾物重は(C 144)g、そのうち葉の乾物重は(D 43.2)gである。一方、右の場合、1年目に生産した乾物のうち葉へ左よりも多く50%を振り分ける。1年目の葉の乾物重は50gだから、2年目の乾物重は(E 200)g、そのうち葉は(F 100)gであり、(F)の4倍生産するので3年目の乾物重は(G 400)g、そのうち葉の乾物重は(H 200)gである。このように葉への分配を高めると時間の経過にともない、成長に大きな差がつく。

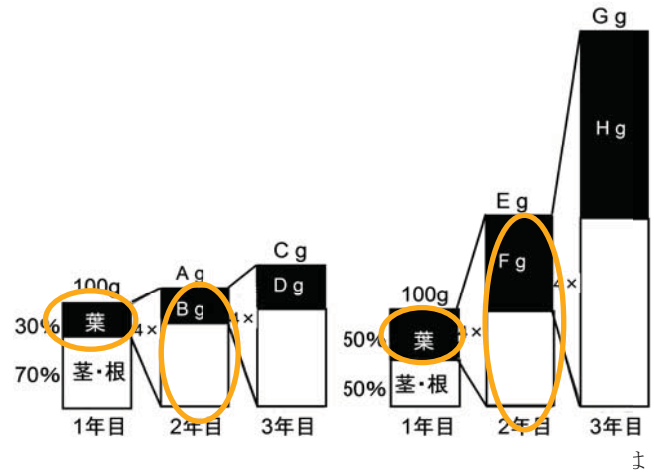


図6：複利の効果

葉への分配率を高めるということは預金の複利を高めると同じ効果だといえる。

先ほどの例では左は20%の利率に対し、右は100%の利率である。葉への投資割合の変化よりもその差の大きいことに気づく

$$y = 100 \times 1.005$$

$$y = 100 \times 1.005 \times 1.005$$

$$y = 100 \times 1.005^{x-1}$$

利率	0.5%	1%	2%	3%
1日目	100	100	100	100
2日目	100.5	101	102	103
5日目	102.0	104.1	108.2	112.6
10日目	104.6	109.4	119.5	130.5
20日目	109.9	120.8	145.7	175.4
50日目	127.7	162.8	263.9	425.6
100日目	163.8	267.8	710.3	1865.9

④ 3つの栄養器官の役割

根

植物体を土壌に固定する
土壌から水と養分を吸収する

茎

葉や花などを支持する
水や養分, 同化産物を通導する

葉

光合成, 蒸散を行う
ガス交換(CO₂, O₂)

予習2. 植物の葉, 茎, 根の成長バランスは環境によって異なる. さらに葉の厚み, 茎の高さなども周りの環境に適応して植物は変化させることができる. 以下のような環境条件の場合, 植物はどのようにその形を変えるかを選択肢から選び, 丸で囲い, その理由を簡単に説明せよ.

① 室内で植物を育てると, 屋外に比べて光が弱いので, 葉の厚さは (厚くなる ・ 変わらない ・ **薄くなる**).

電子顕微鏡写真の左が陽葉, 右が陰葉である

② 土壌に養分や水分が十分でない場合, 葉や茎の重さに比べて, 根の重さは **重くなる** ・ 変わらない ・ 軽くなる).

③ まわりに樹木が生えていて, 光が不足する場合, 茎の長さは (**長くなる** ・ 変わらない ・ 短くなる). さらに根の重さは茎や葉に比べて (重くなる ・ 変わらない ・ **軽くなる**).

茎が伸びるためにつるになることもある

2. 環境に対して, 器官の割合はどのように決まるのか?

① 資源獲得と利用

植物の成長にはさまざまな資源が必要である. ある資源が不足すると, 他の資源がいくら豊富にあったとしても, 成長速度はその資源の供給速度に制限される.

植物の必要な資源

成長に必要な資源 **光合成産物, 水, 光**

光合成を行うのに必要な資源 **窒素などの無機栄養, 二酸化炭素, 水**

植物と資源との関係は, (**資源獲得**) と (**資源利用**) の2つの面から解析する.

資源の獲得はどれだけ効率よく, その資源を獲得できるか?

例: 光が少ないときは葉を (**薄くして広げる**).

光が少ないときは (**茎**) を伸ばす. さらに葉を (**水平**) にする.

土壌が乾燥したら, 土壌深部に残る水を吸収するために根を (**深く**) まで伸ばす.

資源の利用は獲得した資源をどれだけ効率よく成長に利用するか?

例: 同量の窒素でより光合成速度を高めるために (**葉**) に集中させる (葉色が濃くなる).

日の当たらなくなった下位葉の窒素などの養分を (**上位**) 葉に転流させる.

**高級なお茶を作るために遮光する
上の葉すなわち収穫する葉に窒素が集中し, 窒素由来のうまみ成分が増える**

② コスト・ベネフィット (利益)

高い光合成をえれば有利であるけれども、しかし、高い光合成を得るためには土壌からより多くの窒素を吸収しなければならない。光を効率的に受け取ることができる位置に葉を展開するには、光を受け取りやすい位置に葉を配置するために茎を高くする必要があるから、光合成をしない茎により多く投資しなければならない。このように何かベネフィット (利益) をえるためには、何らかのコストが必要である。

★ では先ほどの文章でベネフィットは何か？コストは何か？

ベネフィット

高い光合成

光をより多く受けること

コスト

窒素をたくさん吸収すること

茎に対する投資

ベネフィットだけを大きくしても、そのかわりにコストが大きくなりすぎたら、植物はうまく生き残れない。この場合、以下の2つの最適な方法を考えることができる。

1) **ベネフィットとコストの差を最大にする**

2) **コストに対するベネフィットの比を最大にする**

③ トレードオフ

トレードオフとは取引、交換そこから転じて、二律背反 (あちらが立てばこちらが立たず) という意味を示し、生態学ではある制約の下でAという性質を改善した場合、それがBという別の性質において不利を引き起こしてしまう関係をいう。

例えば、光合成で作った乾物を葉を新しく作るのに多く使えば、根や茎を作る量は減少し、場合によっては養水分の吸収を制限する。トレードオフはコスト・ベネフィットの関係とも密接に関わる。すなわちベネフィットを増やそうとするとコストが大きくなるのはトレードオフの1種とみなせる。

時間が一定なら、働くのと遊ぶ時間はトレードオフ
立花隆 本を読みたいので働く、結局、本を寄付した

(a) 茎を長くすることによって周囲の個体よりも高い位置に葉を配置することは葉へ分配できる乾物が (**減る**) 。

(b) 茎が長くなると密度が高い条件では光合成が (**増える**) 程度が大きい。

④ 地上部 (葉と茎) と根の割合

T/R比 (トップ/ルート比)

根に対する地上部(葉と茎)の割合

⑤ どれだけを根, 茎, 葉にそれぞれ分配したらよいか? (簡単な数値モデル)

乾燥条件なら根を増やせばよいのだろうか? 葉に振り分けた乾物重の4倍を光合成で生産し, 来年に回すことができるでしょう. 以下の表を計算して埋めると...

葉へ24%振り分ける場合

	全重	葉	根・茎
1年目	100	24	76
2年目	96	23.04	72.96
3年目	92.16		
5年目	84.93		
10年目	69.25		

$$y = 100 \times 0.96$$

$$y = 100 \times 0.96 \times 0.96$$

$$y = 100 \times 0.96^{x-1}$$

葉へ26%振り分ける場合

	全重	葉	根・茎
1年目	100	26	74
2年目	104	27.04	76.96
3年目	108.16		
5年目	116.99		
10年目	142.33		

$$y = 100 \times 1.04$$

$$y = 100 \times 1.04 \times 1.04$$

$$y = 100 \times 1.04^{x-1}$$

3. 自然環境におけるいくつかの実例

★ 春先に出芽する植物

冬の間, 植物は寒さで枯れている. 春になって, 地上に葉や茎を伸ばせるようになると, できるだけ早く上に登ろうとして一斉に植物が伸びる. こういうときに早く上に登れる植物とは?

越冬した植物は根に栄養を蓄えている
茎をなるべく安上がりに伸ばすには エンドウ, タンポポ, コムギなど中空

★ ロゼット葉

冬の間, 地表面に葉を放射状に展開しているタンポポ, セイタカアワダチソウなどはなぜそうするのだろうか?

春に早く成長すれば光を独占できるなら冬も茎を伸ばせばいいのに... 極地方に育つクッション植物もロゼット葉の利点に共通する特性がある.

茎を空中に伸ばすと夜間に道管の水が凍結してエンボリズムを起こす危険性がある.

ラニズ
気体が
この気

自然の植物の反応は必ずしも栽培する上では有利ではない

4. 栽培管理による人為的な器官の割合の操作

頂芽優勢 いちばん先端にある頂芽が優先して成長し、側芽の成長を抑える現象を (**頂芽優勢**) という。

頂芽優勢にはオーキシンが関与する

① 摘心 (頂芽優勢を除く処理)

摘心によって (**頂芽優勢**) が失われ、側芽の成長が促進する。その結果、 (**分枝数**) の増加、 (**草丈**) の減少が起こる。適切な栽培技術を摘心と組み合わせると、 (**着花・着果数**) の増加によって増収することが可能になる。

例：ダイズの摘心栽培

写真の左が摘心して、頂芽優勢を失わせたダイズ、右が摘心しなかったダイズである。摘心によって、頂芽優勢が失われ、側芽の成長が促された結果、左右に展開し、背の低いダイズを栽培できた。茎数が多いので、実が多くなり、収量が高い、さらに背が低いので倒れにくい(機械化に向く)

② 栽植密度 (密植と疎植)

茎、とりわけ茎の中の靱皮繊維を収穫対象とする作物では、茎を伸ばすことが収穫を増やす。栽植密度を高めると、植物は混み合うので、光を求めて、茎により多くの乾物を配分し、高くなろうとする。

第8回の授業で紹介したダイズも同じ原理である

アマにおいては必要なのはよく伸びた茎である。密植することによって茎を伸ばすことができる

成長
下位
5と
と含

③ 灌漑や施肥

根と地上部との乾物重の割合 (T/R比) は土壤中の水分や養分の多少に反応するから、根を収穫対象とする作物では灌漑や施肥を適切に行うことによって収量を高めることができる。

サツマイモのつるぼけ

(いも) が
まいで、ご
根の成長が

そのほか、果樹栽培における整枝、剪定や果菜類の栽培における摘心、摘果、誘引なども光合成産物を葉、茎、根、花、果実などに最適に振り分けようとする面から考えることができる。(栽培管理上の容易さ、品質の向上、病虫害の防除などの理由ももちろん考慮される)。

さらに植物の器官の割合と環境について基礎的なことを学びたい人は

光と水と植物のかたち—植物生理生態学入門— 文一総合出版 *むずかしいけどよみがいはあると思います

農業・栽培に関連したところをさらに学びたい人は

食糧生産の生態学 農林統計協会 第2章 P43~81

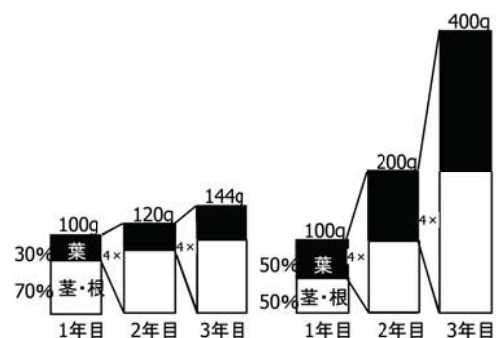
果樹園芸総説 農業図書 第11章 整枝・剪定 P277~309

蔬菜園芸学 川島書店 P247~250

農業技術体系花卉編第3巻 農山漁村文化協会 耐陰性と弱光順化 P37~44

練習問題 (解答は1月になったらホームページに載せます。期末試験にでるかも???)

今回学習したように、特に環境による制約条件がなければ、葉への分配率を高めた方が植物の生育には有利である。下の図のように左は葉へ30%、茎・根に70%を分配し、右は葉へ50%、茎・根へ50%分配するとする。光合成で新たに次年度のために作られる乾物の量は葉の乾物重の4倍とすると以下のように左は3年後に144g、右は400gとなり、大きな差がつく。ここで乾燥条件のために根が発達しないと、土壤の水を十分に獲得できないとしよう。簡単のため、茎・根の乾物重の2倍まで光合成できるだけの水を確保できるとしよう。下の例では、右の方は1年目において、茎・根が50gしかないので、2年目も100gしか作れないので、まったく成長できなくなってしまう。左の方は、茎・根の吸収できる水で140gまで乾物を作れるが、葉の量が制約となり、120gしか生産できない。そうすると葉と茎・根の分配割合は両者の中間が最適だと考えられる。その最適な分配割合を求めよ。



小テスト (5分) (学生番号)

(氏名)

1. 植物の根, 茎, 葉の役割をそれぞれ簡単に書け.

根

植物体を土壤に固定する
土壤から水と養分を吸収する

茎

葉や花などを支持する
水や養分, 同化産物を通導する

葉

光合成, 蒸散を行う
ガス交換(CO₂, O₂)

2. 次の () を適当な語句で埋め, { } は適切な語句を選べ.

① いちばん先端にある頂芽が優先して成長し, 側芽の成長を抑える現象を (**頂芽優勢**) という. (**摘心**) によって頂芽優勢を除去し, 側芽の成長を促進させることができる.

② 土壤の水分が不足すると, { **根** ・ 茎 ・ 葉 } の成長がよくなる. そうすると残りの2つの器官の成長は, 光合成産物の利用量が一定である限り, 抑制される. このように一方をよくした結果, 他方が悪くなる関係を { エンボリズム ・ **トレードオフ** ・ ベネフィット } という.

3. 授業に対する意見・感想・要望などがあれば書いてください.

次回の予習課題（学生番号）

（氏名）

予習課題は正解かどうかは採点しません。自分でじっくり考えて書いていれば内容が間違っていたとしてもかまいません。

ホームページ（<http://www.ipc.shimane-u.ac.jp/food/kobayasi/sub7.html>）も参考にしてください。提出は1月18日の授業開始前です。

1. ストレスということばはいまや日常でふつうに使われることばになっているが、もともとは医学用語である。

① ストレスと聞いて（辞書やインターネットは使わないで）思いつくことを自由に書け。箇条書きではなく、できる限り、ストーリーのある文章（個人的なことでもよい）を書くのがよい。

② ホームページにいくつかの文献からストレスの定義を引用した。このストレスの定義を読んで、①で書いたことと比較してどう考えたかを書け。