

光と植物の成長

渋谷俊夫

1. 実習の目的

植物にとって光環境はもっとも重要な環境要素のひとつである。緑色植物は光合成を行い、光エネルギーを使って炭素同化を行うことで成長している。また、光は植物が自分の置かれた状況を知るための情報でもあり、日長から季節を感じたり、光の質から周囲の状況を感じたりしている。光環境が植物におよぼす影響は大きく2つに分類される。ひとつは量的な影響、もうひとつは質的な影響である。前者は主に光合成速度、ひいては植物の量的な成長への影響であり、後者は主に植物の発芽や節間伸長、開花などの形態への影響である。この実習では、光が植物におよぼす質的影響を、光環境のモニタリングと植物育成実験を通じて調べていきたい。

2. 光の質と強度

光の発生源を光源という。屋外での主な光源は太陽である。地上で受ける太陽からの放射を日射、短波放射または太陽放射という。日射の波長範囲は図1に示すように、約300~2500 nmで、日射のうち、波長380 nm以下を紫外線、380 nm~780 nmを可視光という。植物生育との関連では、波長域400~700 nmは光合成有効放射、700~780 nmは遠赤放射と呼ばれ、前者は植物の光合成に、後者は植物の発芽、節間伸長、開花などすなわち光形態形成に関与する。波長別の光エネルギー強度の分布を示したものを、分光スペクトル分布という。分光スペクトル分布は光源によって異なり(図2)、その特性は光質と呼ばれる。光質は光が反射、散乱、透過することによっても変化する。植物の成長は光の質と強度の両方の影響を受ける。

波長700~780 nmの遠赤放射は植物の形態に影響を及ぼす。森林の中を太陽光が通過するとき、遠赤色光の吸収が少ないので、植物の葉では赤色光が多く吸収される。したがって、森林を通過した光は遠赤色光の割合が大きくなる。このような光環境では植物の草丈が伸長することが知られている。これは赤色光と遠赤色光の比(R/FR と呼ばれる)が影響している。一般に遠赤色の割合が大きくなる、すなわち R/FR が小さくなると草丈伸長が促進され、逆に R/FR が大きくなると草丈伸長は抑制される。特定の光質で栽培すると節間伸長を制御できることから、園芸分野では補光ランプやフィルムによる光質の制御が試みられている。図2における光源の R/FR (600~700 nm/700~800 nm で算定) は、太陽光で1.2、白熱ランプで0.7、水銀ランプで1.1、蛍光灯で7.0である。

光の強度は植物成長に対して量的な影響を及ぼす。光合成速度は光飽和点近くまでは、光強度の増加に対して直線的に増加する。単純に言えば光強度が大きいほど植物の量的な成長は大きくなる。他方、光強度は植物に質的な影響も及ぼす。同じ種類の植物でも強い光で育つものと、弱い光で育つもの

のでは形態的、生理的な性質が異なる。強い光に順応することを陽葉化、弱い光に順応することを陰葉化という。陰葉化、陽葉化は光の強度だけでなく、前述の R/FR の影響も受けることが明らかになっている。

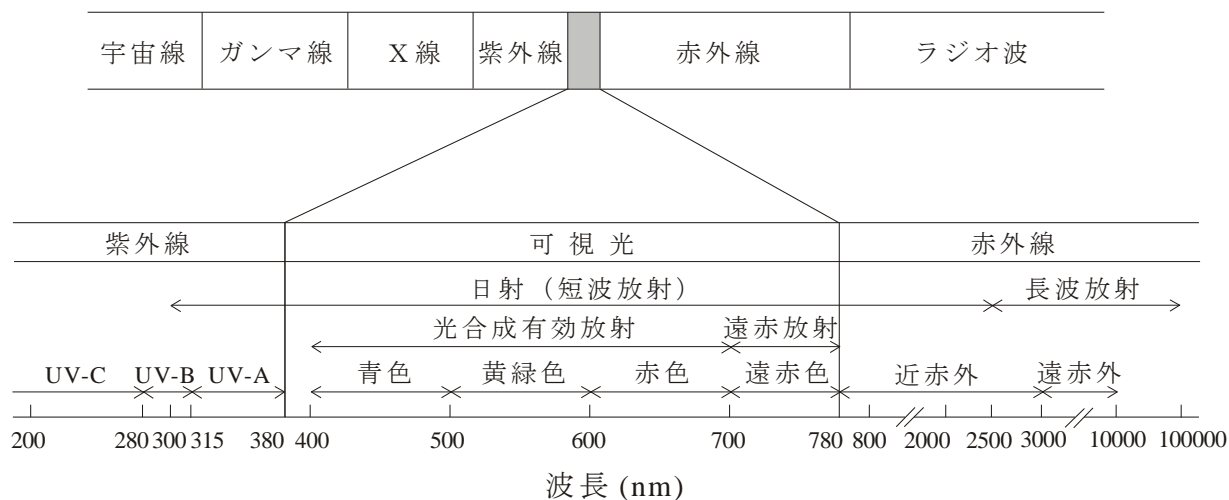


図1 放射の波長域と名称
文献によって波長範囲が多少異なる場合がある。

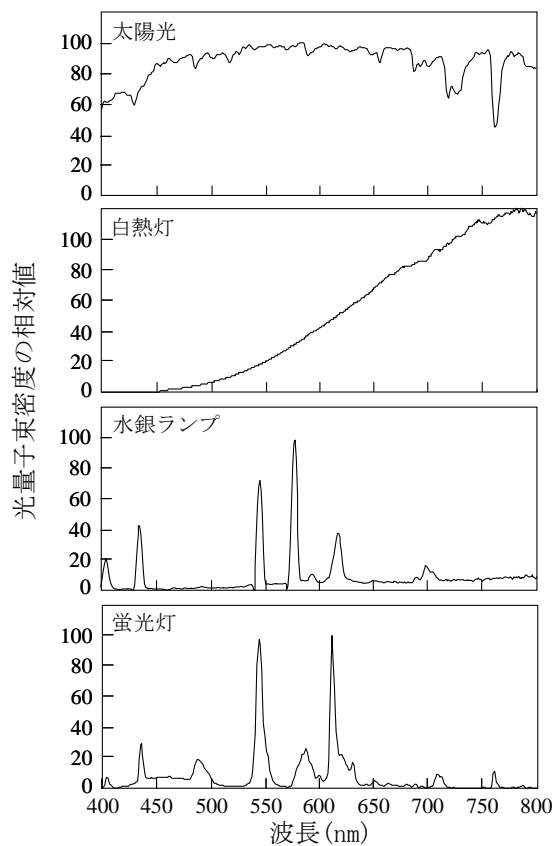


図2 光源別の分光スペクトル分布

最大値を 100 としたときの相対値で示す。

3. 光計測の基礎

日射、紫外放射、光合成有効放射などの放射強度は、単位時間、単位面積が受ける放射エネルギー量、すなわち放射束密度として表される。単位には W m^{-2} が用いられる。他方、植物の光合成には波長域 400~700 nm の光量子が関与することから、光合成に関する研究においては、単位時間、単位面積が受ける波長域 400~700 nm の光量子量、すなわち光合成有効光量子束密度 (photosynthetic photon flux density、PPFD と略される) を測定することが多い。単位には $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ が用いられる。照度の単位として用いられる lx (ルクス) は、人間の目が感じる明るさを示す尺度であり、エネルギー密度や光量子束密度を表すものではない。人間の目の感度は黄緑色で高く、青および赤色で低い。従って、照度と放射束密度または光合成有効光量子密度との関係は照射光の分光スペクトルの特性によって異なるので、植物を対象とした光強度の指標に照度を用いない方がよい。

光環境計測に使用するセンサは、その動作原理から熱型と量子型に大別される。熱型は放射を熱エネルギーに変換して、熱エネルギーによる温度上昇を電気信号として検出する。このタイプは広い波長域の放射を検出できるが、感度が低く、応答時間が長い。一方、量子型は入射する放射エネルギーで電気エネルギーを直接作り出して検出する。このタイプは感度が高く、応答時間が短い、使用できる波長域が限定される。以下に、日射計、光量子計および照度計の特徴を述べる。

日射計

日射計は日射のエネルギー密度 (または日射束密度) を計測する測器で、一般に熱型と量子型 (太陽電池型) の 2 種類がある。熱型日射計は日射による物質の温度変化に基づいて日射のエネルギー密度を検出する。熱型日射計はドーム状のガラスで覆われているが、これは計測器周囲の風の影響を防ぐとともに、全天および周辺からの長波放射がドーム内へ入射することを防ぐ役割を果たす。熱型は放射源の分光特性が日射計出力に影響しない。

量子型日射計はフォトダイオードと呼ばれる半導体を検出部として、光量子束密度の大小を電流の大小に変換することによって日射のエネルギー密度を検出する。量子型は熱型に比べて感度が高く、また応答時間が短い。一般に測定波長は 1100 nm までであり、放射源の分光特性によって感度が異なるので注意が必要である。量子型は基本的には検出面での光量子束密度に基づいて日射量を検出していることから、放射源の分光特性の違いによって、光量子束密度と日射量との換算係数が変化した場合には日射計出力に誤差が生じる。

光量子計

植物に関する研究に用いられる光量子計は、光学フィルターによって波長域 400~700 nm のみの光量子をフォトダイオードによって検出するものがほとんどである。光量子あたりのエネルギーは波長の短いほど大きく、波長 400 nm における光量子あたりエネルギーは波長 700 nm における光量子あたりのエネルギーの約 1.75 倍になる。光量子計も日射計と同様に 2~3 年ごとに検定を行う必要がある。

照度計

照度計は人間の目が感じる明るさの尺度を測定する測器であることから、植物に関する研究に用いられることは少ない。しかし、照度計は日射計や光量子計に比べて微弱光における感度が高いことから、日射計や光量子計では検出できないような微弱光の測定に用いられることがある。その際には照度と日射エネルギー密度または光量子束密度との関係を同じ分光特性を持つ放射源において求める必要がある。

4. 実習内容

各光センサの換算係数の算定

白熱ランプ、水銀ランプおよび白色蛍光灯について、光量子（PPFD）計、日射計、照度計で光強度の測定を行う。水銀ランプ下で葉を透過した光についても測定する。各測器の受光面で光強度が同じになるように注意すること。測定値から、各光源について、PPFD 計、日射計、照度計の換算係数を求めよ。換算係数は下の例を参考にしてわかりやすく表記すること。

表 1 各光源における光合成有効光量子束密度、日射量、照度の換算係数

換算項目	白熱ランプ	水銀ランプ（葉透過後）	白色蛍光灯
PPFD から日射量 ($W\ m^{-2}/\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)		()	
PPFD から照度 ($lx/\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)		()	
日射量から PPFD ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}/W\ m^{-2}$)		()	
日射量から照度 ($lx/W\ m^{-2}$)		()	
照度から PPFD ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}/lx$)		()	
照度から日射量 ($W\ m^{-2}/lx$)		()	

光質および光強度が植物の成長におよぼす影響

白熱ランプ、水銀ランプ、または蛍光灯で植物に光照射をする試験区を図 3 のように設けて、それぞれ植物を育成する。各試験区における照射光の PPFD は同じにする。育成開始 1 週間後に、草丈、地上部生体重・乾物重、葉身生体重・乾物重、葉面積を測定する。測定手順は、別途配布する。乾物重は 80°C の恒温乾燥機で 3 日間以上乾燥させてから測定する。葉面積を乾物重で除することによって比葉面積を算定する。それぞれの試験区の照射光のスペクトル分布を測定する。育成する植物の種類、個体数、育成方法、育成日数などの詳細は実習スケジュールと学生の都合を確認してから決定す

る。

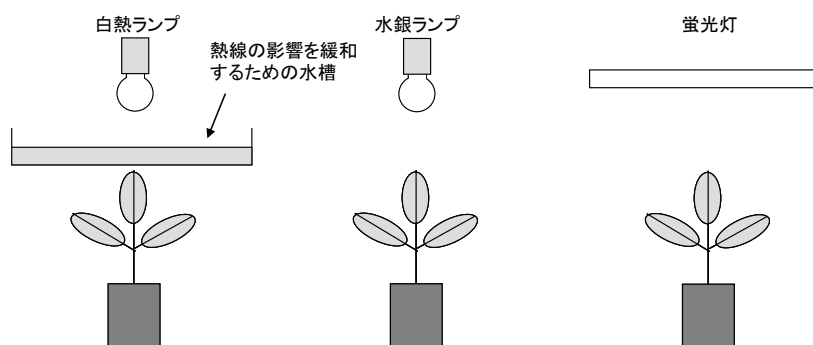


図3 試験区の概要

5. レポート

計測原理・計測方法を分かりやすく正確に記述すること。材料や測器、植物育成方法なども詳細に記載すること。このテキストに書いてある内容を写すだけでは不十分である。結果は図や表にまとめ、そこから読みとれることを文章で説明すること。図や表は何を伝えたいのかをよく考えて作成すること。単位は正確に記述すること。下記の内容について算定・考察すること。他の項目について考察しても構わない。

各光センサの換算係数について（1枚）

各光センサの換算係数の傾向について光源の種類別に説明し、そのような傾向になった理由を文章で説明せよ。この結果にもとづいて、各センサを使うときの注意点を述べよ。

光質が植物の成長におよぼす影響（2枚以内）

各試験区における各成長パラメータをグラフもしくは表で示し、その傾向を項目別に具体的に文章で説明せよ。そのようになった理由について、各試験区でのスペクトル分布から考察せよ。

レポートの書式

合計でA4用紙3枚以内。1頁あたりの文字数：45字×45行程度。図表は全体の半分以下に抑えること。表紙は必要ない。

6. 参考図書

- ・ 「新版生物環境調節ハンドブック」、生物環境調節学会編、養賢堂、1995年、13,000円
- ・ 「光と植物生育」、稲田勝美、1984年、養賢堂、4,900円
- ・ 「作物の生育と環境」、西尾道徳ら著、農文協、2000年、1,800円

- ・ 「環境応答」、寺島一郎編、朝倉書店、2001年、3,900円
- ・ 「樹木の生長と環境」、畑野健一・佐々木恵彦編著、養賢堂、1998年、5,500円
- ・ 「樹木生理生態学」、小池孝良編、朝倉書店、2004年、4,800円
- ・ 「光と水と植物のかたち」、種生物学会編、文一総合出版、2003年、3,800円
- ・ 「農学・生態学のための気象環境学」、文字信貴ら編、丸善、1997年、3,570円
- ・ 「農業気象・環境学」、長野敏英ら著、朝倉書店、1986年、3,700円
- ・ 「新版農業気象学」、堀口郁夫ら著、文永道出版、1992年、4,000円
- ・ 「最新施設園芸学」、古在豊樹ら著、朝倉書店、2006年、4,500円
- ・ 「新施設園芸学」、古在豊樹ら著、朝倉書店、1992年、3,900円
- ・ 「最新施設園芸の環境制御技術」、日本施設園芸協会編、誠文堂新光社、1997年、5,000円
- ・ 「施設園芸ハンドブック」、日本施設園芸協会編、園芸情報センター、1998年、6,000円
- ・ 「光の計測マニュアル」、照明学会編、日本理工出版会、1990年、6,200円
- ・ 「新訂農業気象の測器と測定法」、日本農業気象学会編、農業技術協会、1997年、4,300円
- ・ 「農業環境実験法」、渡部一郎編、サイエンスハウス、1987年、3,600円