

光で花の病虫害を抑制する

紫外線 (UV-B) 光源の利用の可能性

紫外線光源の特性と病虫害抑制効果を理解するために



2014年3月

農林水産省委託プロジェクト研究
「国産農産物の革新的低コスト実現プロジェクト」
「光花きコンソーシアム」 編

序

植物は光を、光合成を行うためのエネルギー源として、または自分の周囲の環境を認識するためのシグナルとして活用しています。人はそれらの植物の生理反応について研究を進め、実際の栽培技術に活用してきました。キク栽培においては、夜間の照明により花芽分化を抑制できることが昭和初期に明らかになりました。

最近では、植物の生育に深刻な影響を与えない程度の UV-B 照射によって病虫害を抑制できることが報告され、病害防除への利用が試みられています。UV-B によるイチゴうどんこ病の抑制がその一例です。しかし、花き類においては、その利用については手つかずに近い状況でした。

そこで、UV-B による花き類の病害防除の可能性とメカニズムを明らかにすることを目的として、UV-B を花き類に照射し病害防御関連遺伝子の発現を調べるとともに、防除効果の検討を行いました。

今回、UV-B による病害防除技術開発の参考となるよう本書を作成しました。研究者、農業指導者の方々が、この情報を参考として、実用化に向けた技術開発に取り組まれるとともに、近い将来、生産者の方々へ普及される技術の一助となることを願っています。

「光花きコンソーシアム」

本誌は、農林水産省委託プロジェクト研究「国産農産物の革新的低コスト実現プロジェクト」の一環として作成されました。

「光花きコンソーシアム」は以下の機関で構成されています

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構

国立大学法人香川大学

兵庫県立農林水産技術総合センター

山形県

長野県野菜花き試験場

和歌山県

パナソニック株式会社 エコソリューションズ社

鹿児島県農業開発総合センター

Contents

はじめに

- 1 紫外線とは何だろう？ 1

病虫害抑制事例

- 1 バラうどんこ病の事例 3
- 2 キク白さび病の事例 4
- 3 カーネーションのハダニの事例 5
- 4 切り花でのバラ灰色かび病の事例 6

病虫害抑制のメカニズム

- 1 植物の応答 8
- 2 病原の応答 10

紫外線計測にあたっての留意点

- 1 センサーの特徴 12
- 2 注意 13

総合的に考えよう

- 総合的病害虫管理の一手段との認識を持とう！ 15

【用語集】 16

【参考資料】 17

紫外線とは何だろう

●光は“波”と“粒子”の性質を持っている

「光」とは、「電磁波の一種で、波の性質とエネルギーの固まりとしてふるまう粒の性質の両方を持つ」とされています。



●光の性質は“波長”によって決まる

光の波の周期を「波長」といい国際照明委員会では波長1nm（ナノメートル、1mmの百万分の1）から1mmの範囲を「光放射」と定義しています。ヒトが目で感じる光は「可視光」です。その波長域については複数の定義がありますが、概ね400～700nmの範囲です。この可視光より短い波長域に紫外線があります。特に近紫外線の中でもUV-A（315～400nm）は地表に到達する紫外線のほとんどを占めています。UV-B（280～315nm）は、いわゆる日焼けを引き起こすとされ、UV-C（200～280nm）は強い殺菌作用があり殺菌灯などとして利用されています。

本てびきでは波長280-315nmのUV-Bを多く含む光を利用した病害虫の抑制の可能性について解説していきます。

病虫害抑制事例

実際に、試験研究所内～現地ハウスにおいて、UV-B 照射による病害の防除効果を検討いたしました。

ここに示した試験事例は、あくまでもその条件における UV-B 照射が、その病害に対して効果が認められたことを示すものであり、その使用方法を推奨するものではありません。

あくまでも「効果の認められた事例の一つである」ということをご理解願います。

1. バラうどんこ病の事例

バラでは、UV-B 照射によって、うどんこ病で被害を受ける葉の発病葉率が低下し、防除効果が認められた試験事例がありました。

→ 3 ページ

2. キク白さび病の事例

キクでは、UV-B 照射によって、白さび病で被害を受ける葉の病斑数が減少し、防除効果が認められた試験事例がありました。

→ 4 ページ

3. カーネーションのハダニの事例

カーネーションに寄生するダニでは、UV-B の作用により、その数が抑制される現象が確認されました。

→ 5 ページ

4. 切り花でのバラ灰色かび病の事例

バラの切り花では、UV-B 照射によって、灰色かび病で被害を受けた切り花の発病度が低下し、防除効果が認められた試験事例がありました。

→ 6 ページ

病虫害抑制事例

1

バラうどんこ病の事例



〔兵庫県的事例〕

- ・ 2010年11月30日 'バレリー' 及び 'ローテローゼ' にUV-B 6.5~14 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 照射開始。
- ・ 45日後と57日後うどんこ病の発生の有無を調査

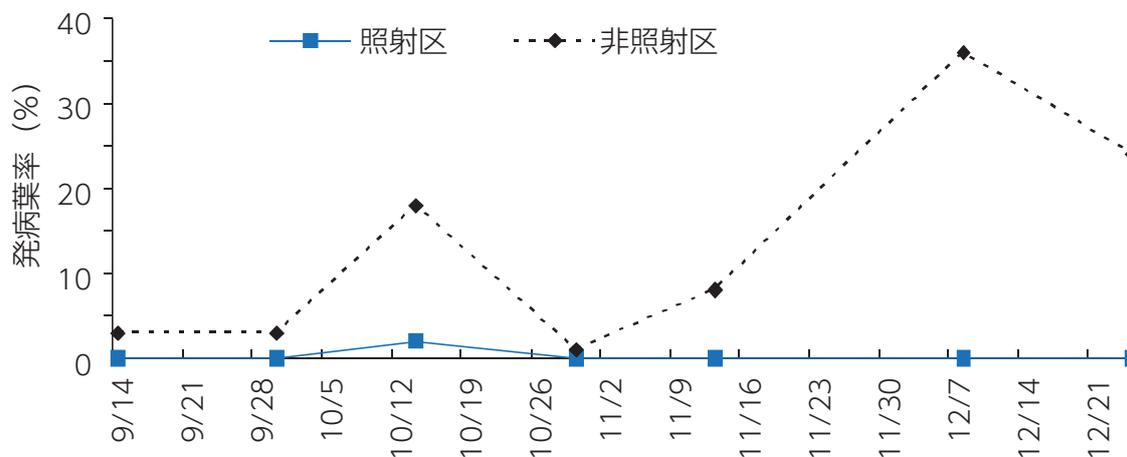
UV-B照射 時間帯	うどんこ病発生株数／調査株数				UV-Bに起因する 葉の傷害 ^a
	バレリー		ローテローゼ		
	1月14日	1月26日	1月14日	1月26日	
無し	6/10*	6/10*	5/10*	6/10*	—
3:00- 5:00	1/10	1/10	0/10	0/10	±
10:30-14:30	2/10	2/10	2/10	5/10	+
9:00-15:00	0/18	1/18	0/18	0/18	++

^a — 傷害無し、± 傷害は認められるが実用上問題なし、+~++ 葉が巻き込み実用上問題あり

* χ^2 検定により有意差あり。

〔山形県的事例〕

- ・ 2012年9月上旬 'ローテローゼ' にUV-B 2.5~15.6 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ (22:00-3:00) 照射開始。
- ・ 10株 (1株5葉) の発病葉率について、12月下旬まで経時変化を調査。



UV-B照射区では、発病葉率は低かった。

病虫害抑制事例

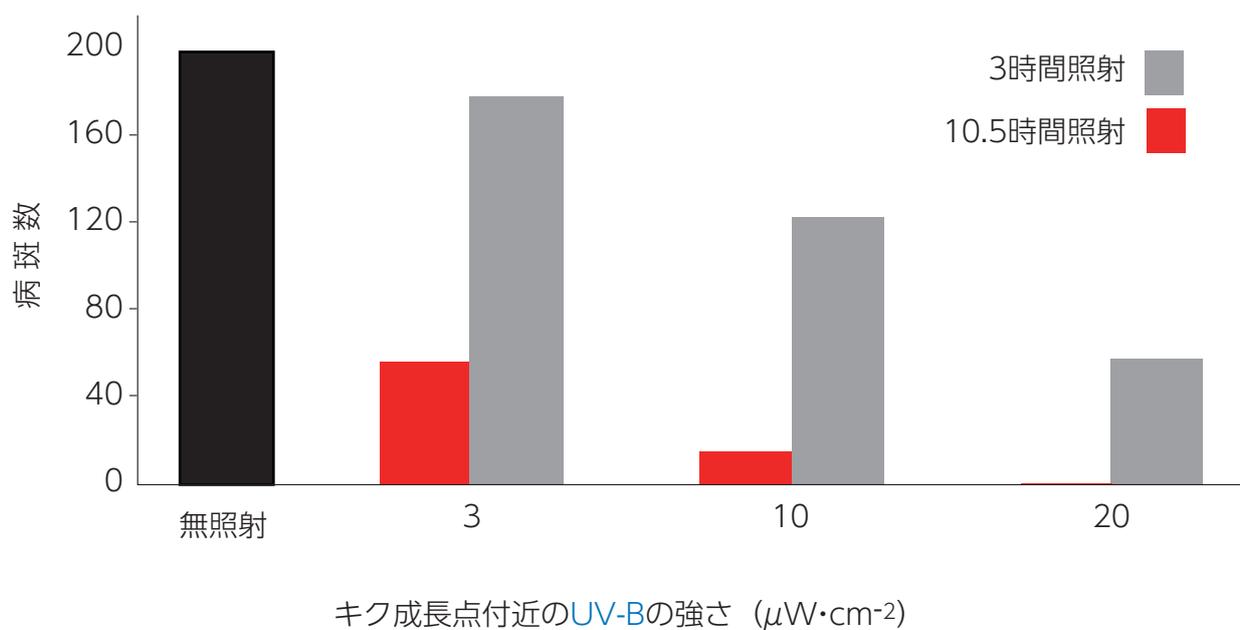
2

キク白さび病の事例



「鹿児島県の事例」

- ・ 2012年5月10日、'岩の白扇' に、UV-B 3、10、20 $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ (0:00~3:00の3時間または19:00~5:30の10.5時間) 照射開始。
- ・ 照射開始20日後に4葉当たりの白さび病の病斑数を調査。



キク成長点付近のUV-Bの強さ ($\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$)

UV-B照射区では、発病度は低かった。

病虫害抑制事例

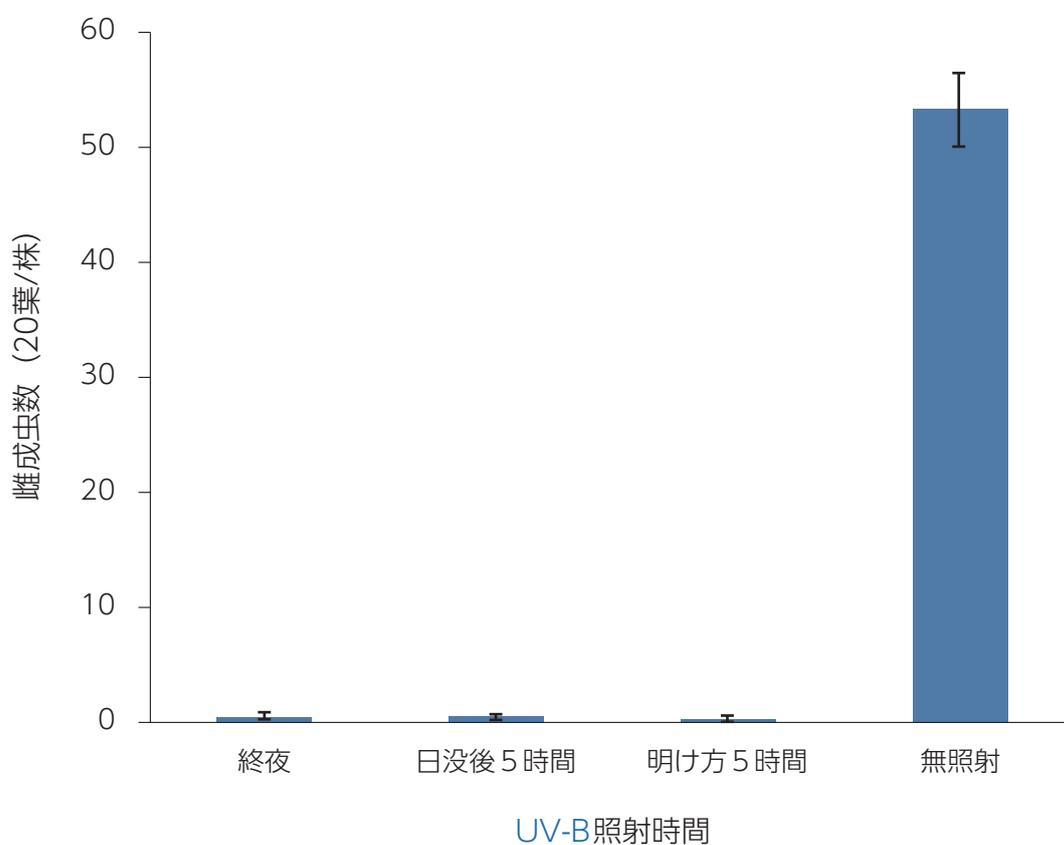
3

カーネーションのハダニの事例



〔長野県の事例〕

- ・ 2012年6月20日、‘マスター’にUV-B $10 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ を照射開始。
- ・ ナミハダニの雌成虫を1株当たり5頭放飼。70日後、雌成虫数等を調査。



UV-B照射区では、雌成虫数は少なかった。

病虫害抑制事例

4

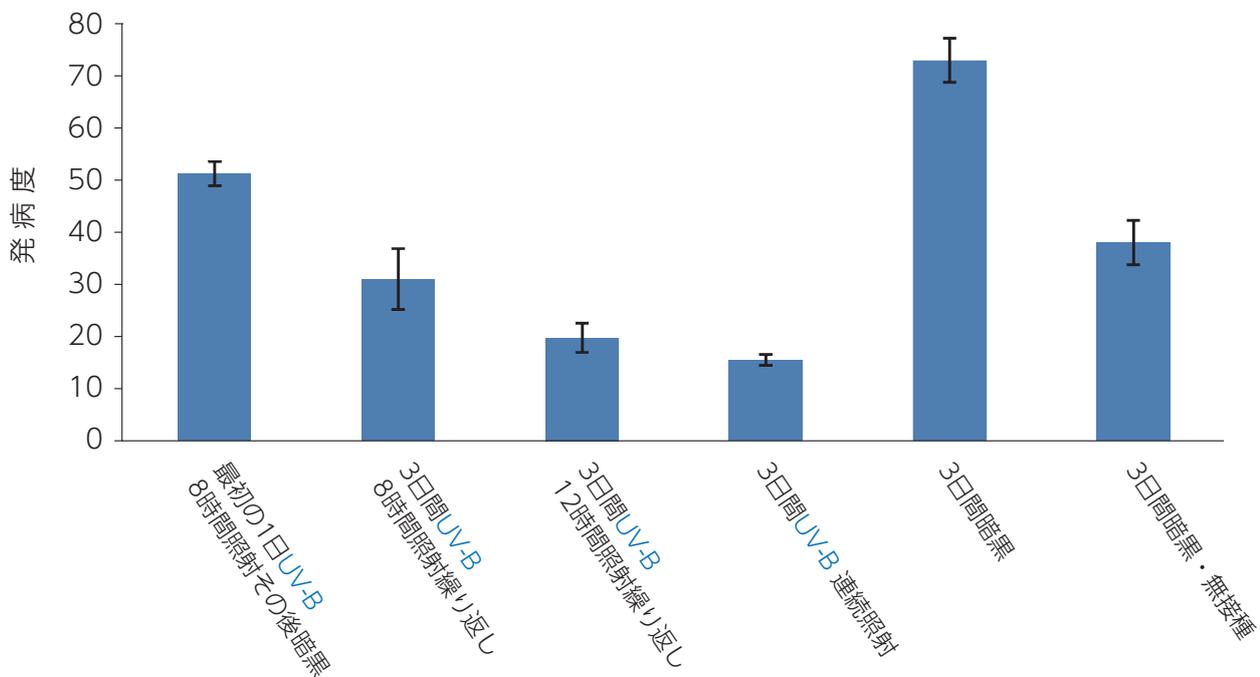
切り花でのバラ灰色かび病の事例

〔山形県の事例〕

‘アバランチェ’の切り花に灰色かび病菌を接種後、UV-B $30 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ を照射。

- ・ 3日後に、50株について発病度を調査。
- ・ 発病度は以下に示す発病指数により算出。
- ・ 発病指数 0：褐変なし。1：わずかに褐点を生じる（1～2個）。2：褐点が多数でき、容易に確認できる。3：褐点が全体に見えるか、水浸状病斑が確認できる。4：水浸状病斑が拡大する。
- ・ 発病度 = $\sum (\text{発病指数} \times \text{個体数}) / (\text{調査数} \times 4) \times 100$

矢印は発病箇所、3日間暗黒は全体が発病。



UV-B照射区では、発病度は低かった。

病虫害抑制のメカニズム

営利生産されている花き類において、UV-B を照射することによる病虫害の発生の抑制については、全く不明でした。そこで、基礎的知見を得るため、UV-B 照射に応答した反応を、花きでは遺伝子発現レベルにおいて、病虫害においては UV-B 照射における反応を試験しました（下図参照）。

これらの試験は、UV-B 照射の効果が認められた条件下において、植物の抵抗性が高まったことによるものであるのか、直接の病虫害の抑制によるものであるのかを見極めることに主眼を置いています。

1. 植物の応答

植物では、UV-B 照射によって、防御関連遺伝子の発現が確認されました。UV-B 照射が病虫害に対して何らかの抵抗性付与に関与しているのではないかと予想されます。

→ 8 ページ

2. 病原の応答

かび（糸状菌）による病害の病原菌では、UV-B の直接の作用により、生育が抑制される現象が確認されました。

→ 10 ページ



病虫害抑制のメカニズム

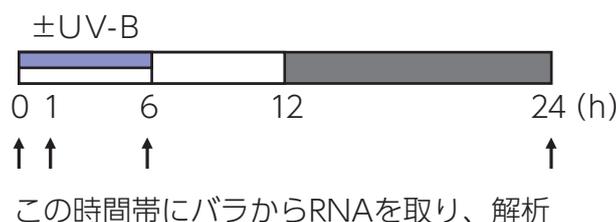
1

植物の応答

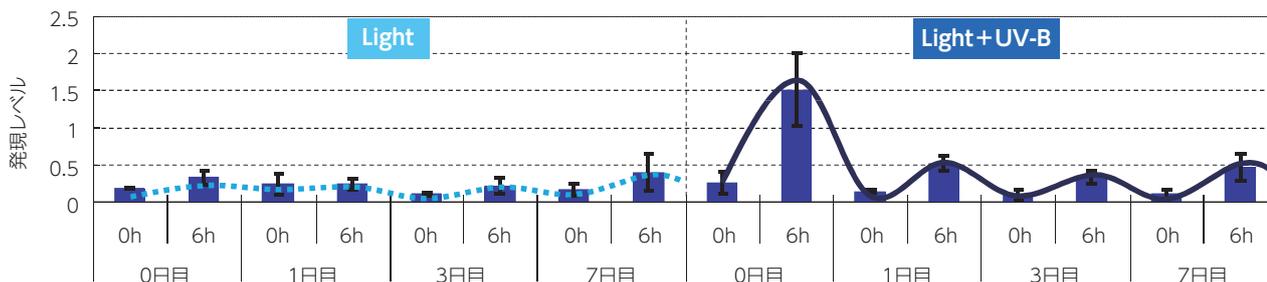


バラでの防御関連遺伝子の発現

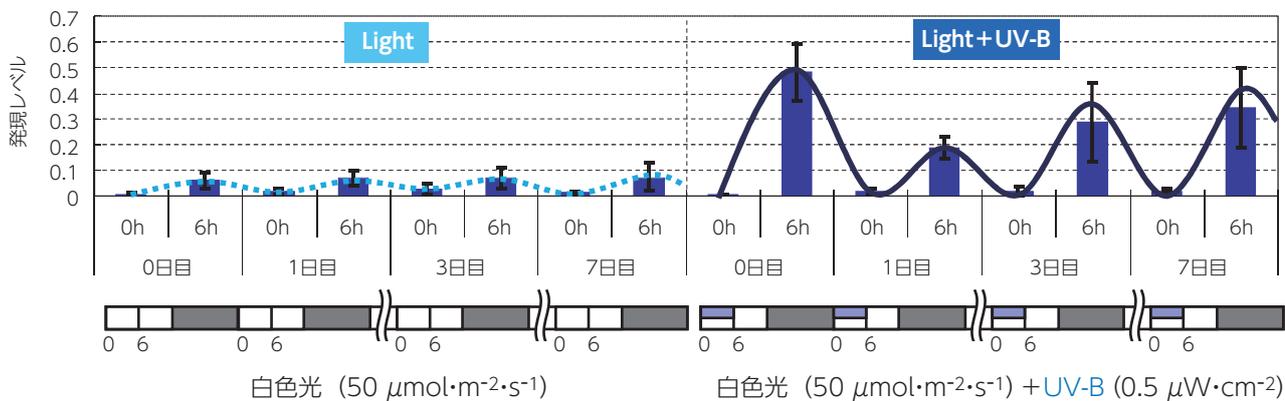
- ・‘サムライ08’ に明期12時間、0~6時間は白色光とUV-Bを同時に照射。
- ・発現レベルは一般的な伸長因子-1 α に対して標準化した。



防御関連遺伝子：フェニルアラニンアンモニアリアーゼ遺伝子（PAL）の発現



防御関連遺伝子：カルコン合成酵素遺伝子（CHS）の発現



UV-B照射に应答して、防御関連遺伝子の発現が誘導された



トレニア及びトルコギキョウでの防御関連遺伝子の発現

- ・トレニア ‘クラウンバイオレット’ 及びトルコギキョウ ‘キャンディマリリン’ に、次の条件で1日12時間照射。

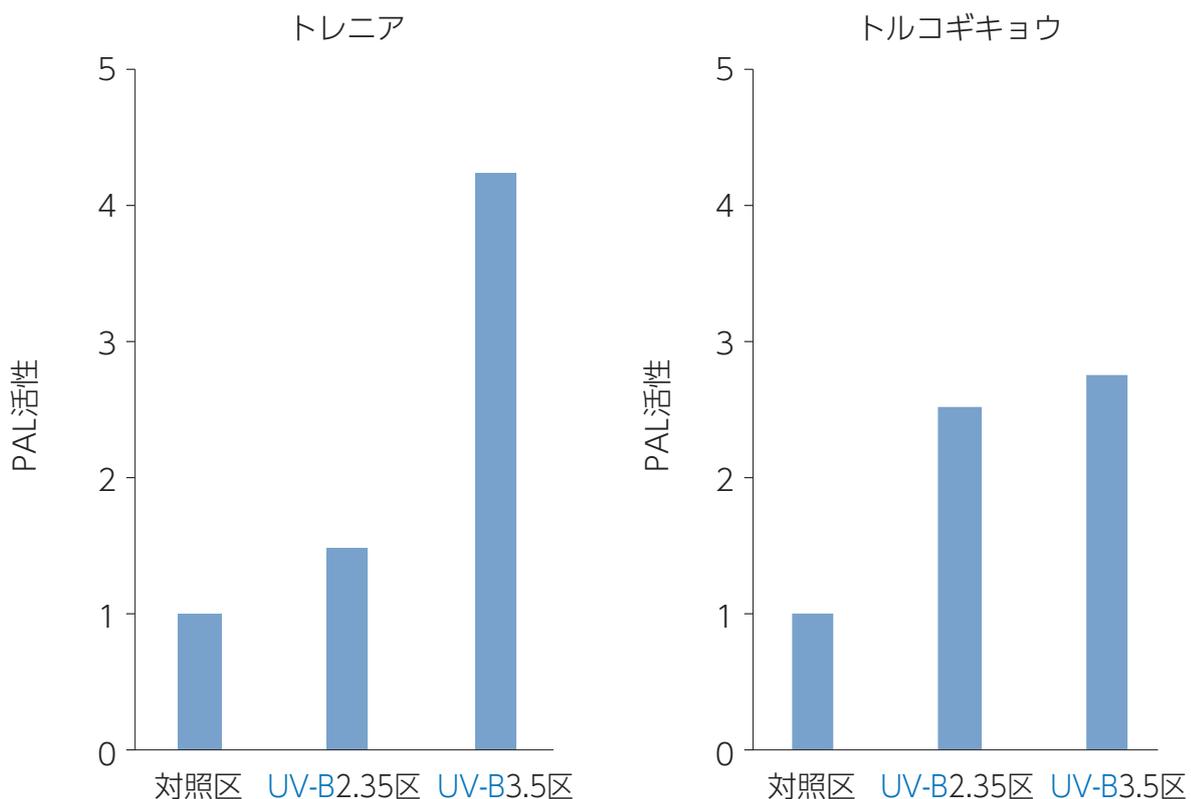
対照区：白色光 $1.5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

UV-B2.35区：白色光 $1.5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ + UV-B $2.35 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$

UV-B3.5区：白色光 $1.5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ + UV-B $3.5 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$

- ・照射後7日目に葉のPAL活性を解析。

各植物の対照区（白色光のみ）を1として表示。

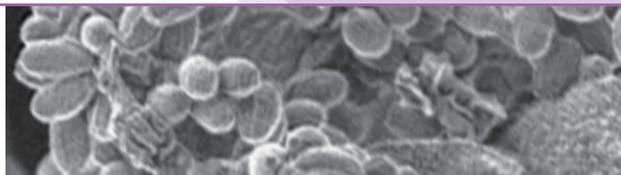


UV-B照射により、トレニア、トルコギキョウでも防御関連遺伝子の発現が誘導された

病虫害抑制のメカニズム

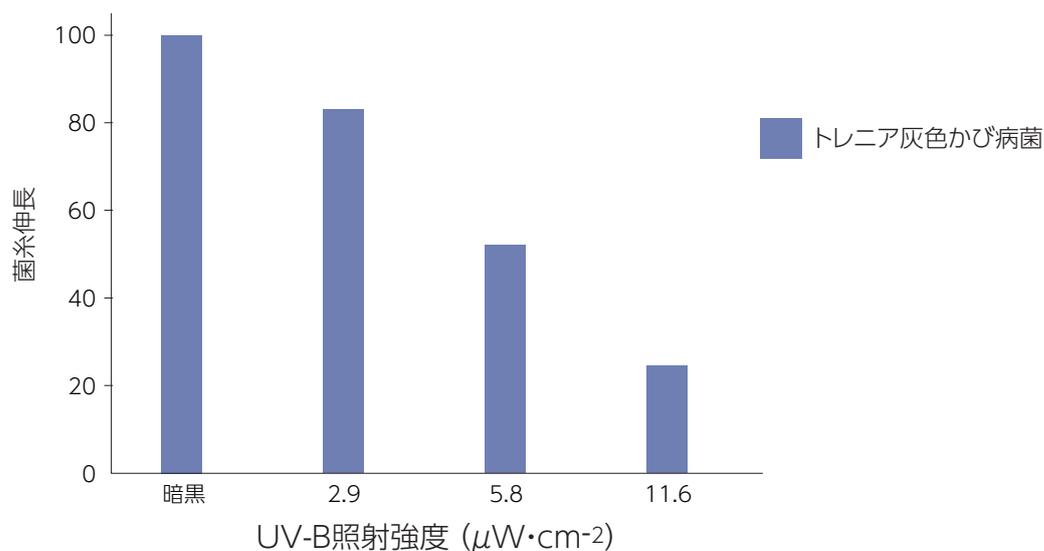
2

病原の応答



灰色かび病菌の生育

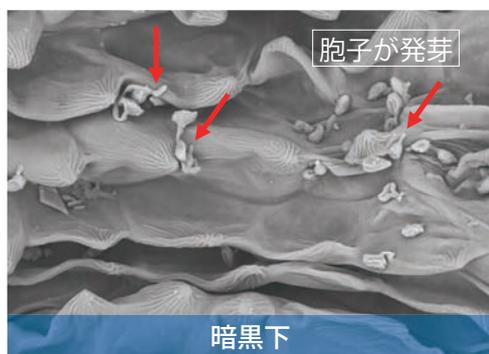
- ・ ジャガイモ煎汁寒天培地にトレニア灰色かび病菌の菌そうを置床し、25℃で培養。
- ・ 暗黒下における菌糸伸長を100として、各UV-B照射強度下での菌糸伸長を計測。



UV-B照射下では、菌糸生育が抑制された

灰色かび病菌の分生子の発芽

- ・ トルコギキョウ切り花 'ボレロホワイト' の花に灰色かび病菌を接種し、UV-Bを24時間照射後に花弁を調査。

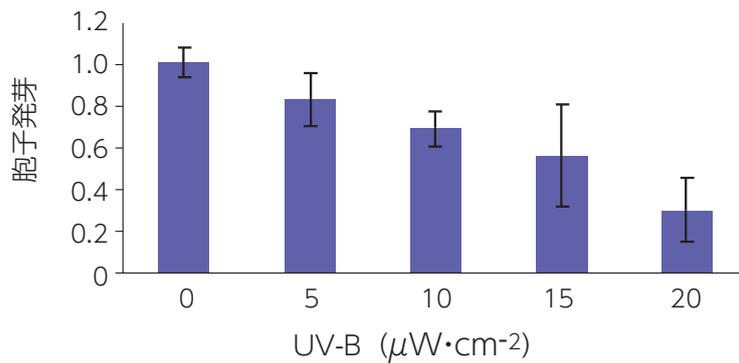


UV-B照射下では、孢子の発芽が抑制された



バラうどんこ病菌の生育

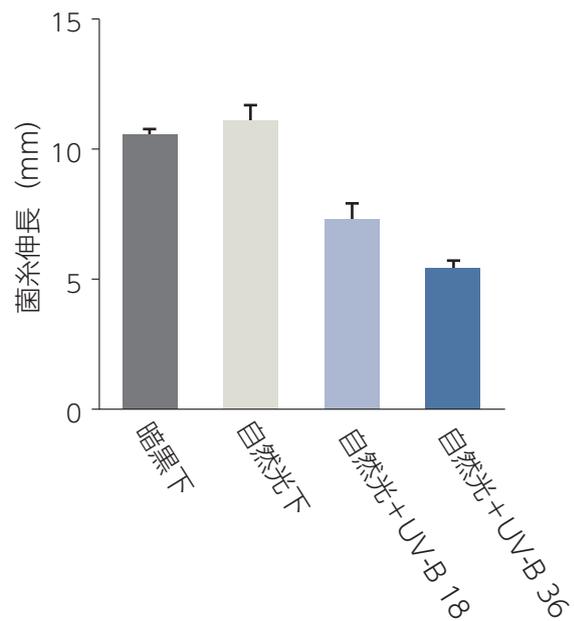
- ・うどんこ病菌をそれぞれのUV-B照射強度下に置く。
- ・孢子発芽はUV-B照射強度0のときの発芽率を1.0として補正。



UV-B照射下では、孢子の発芽が抑制された

トルコギキョウ炭疽病菌の生育

- ・ガラス温室内自然光下で、UV-B (18または36μW・cm⁻²) を8:00~14:00の6時間照射して培養。
- ・3日後に菌糸伸長を計測。



自然光下でも、UV-Bの補光で菌糸伸長は抑制された

紫外線計測にあたっての留意点

1

センサーの特徴

UV を計測するセンサーには、統一した規格がないため、その感度、計測波長域が、製造メーカーや型番によって異なります。そのため、同じ光源からの光を計測しても、センサーが異なれば紫外線放射照度は異なることを意識しなければなりません。

この状況への対策として、どの計測器を使用して、どのような光環境に設定すべきかをセットで考える必要があります。基本的に、本書や論文等に記載されている紫外線の放射照度は、どの計測器を使用してその光環境を設定したかが説明してありますので、必ずその値を参考にするようにして下さい。

参考までに、代表的な計測器を以下に記します。

1) 紫外線放射照度計

メーカー: Gigahertz-Optik社

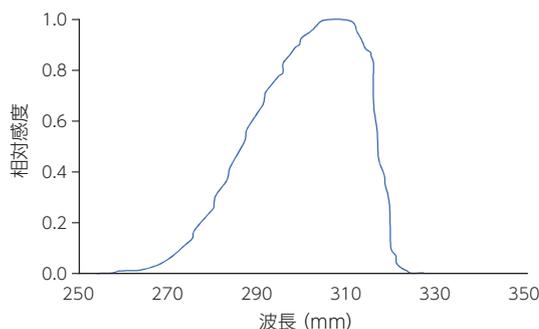
型番: 表示部 X1

型番: 受光部 (UV-A) UV-3701-4

感度波長域: 315~400nm

型番: 受光部 (UV-B) UV-3702-4

感度波長域: 280~315nm



紫外線放射照度計 (Gigahertz-Optik社) の受光部 (UV-B) の感度

2) 高性能デジタルUVメーター

メーカー: Macam Photometrics社

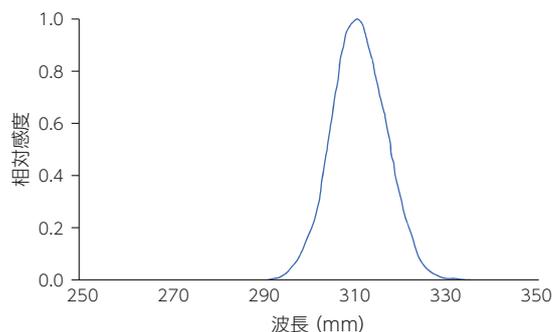
型番: 表示部 UV203X

型番: 受光部 (UV-A) SD223 UVA Cos-113

感度波長域: 320~390nm

型番: 受光部 (UV-B) SD223 UVB2 Cos-113

感度波長域: 290~340nm



高性能デジタルUVメーター (Macam Photometrics社) の受光部 (UV-B) の感度

同じ UV-B を対象としたセンサーでもメーカーや型番によって感度が異なるので注意

2

注意



紫外線が照射された光環境を正確に把握するためには、分光放射計を用いて、波長ごとのエネルギー量（スペクトル）を測定する必要があります。しかし、分光放射計の多くは大きいため持ち出すのが困難であり、また振動による精度低下が著しいため、通常は、前頁に記載したような小型の紫外線放射照度計（または紫外線放射強度計）を用いて、特定の紫外線波長域におけるエネルギーの積分値を計測します。

一般的に紫外線は、その波長域によって3種類に分類されます。

波長の長い方から UV-A、UV-B、UV-C と呼ばれ、各波長域は国際照明委員会 (the International Commission on Illumination : CIE) で次のように定義されています。

UV-A…315nm から 400nm (光医学、光生物学分野では、320nm から 400nm)

UV-B…280nm から 315nm (光医学、光生物学分野では、280nm から 320nm)

UV-C…100nm から 280nm (光医学、光生物学分野でも、100nm から 280nm)

上記3種類の紫外線に対応して、計測器の方も各紫外線専用のものがあります。通常、各紫外線専用の紫外線放射照度計は、上記波長域より広い範囲に感度のあるセンサーに、フィルタを付加することで当該紫外線のエネルギーだけを選択的に計測できるように設計されています。しかしながらその感度は波長ごとに一定ではなく、波長域の中心付近にピークを有する形となっています。そのため実際にランプから放射されるエネルギーの合計が同じでも、ランプから放射される波長のピークが異なると計測値は同じになりません。

ミニ知識

太陽光に含まれる UV-A、UV-B、UV-C の波長域の紫外線のうち UV-A、UV-B はオゾン層を通過し、地表に到達します。UV-C は、物質による吸収が著しく、通常は大気を通過することができません。地表に到達する紫外線の99%がUV-Aです。また、UV-Bは透明なガラスはほとんど透過しません。農業用ビニールでは、加工処理によりUV-Bの透過率は異なります。

紫外線計測にあたっての留意点

注意



UV-A ランプと UV-B ランプはそれぞれ種類によってランプから放射されるスペクトルが異なるので注意が必要です。

主に UV-A の蛍光ランプは、ブラックライトと呼ばれるものや捕虫器用蛍光ランプと呼ばれるものがあり、どちらも 350nm 付近に放射ピークがあります。UV-A の LED は、高出力のものはいませんが、350nm ~ 400nm の範囲で 5nm ごとにピークを有する製品を製造しているメーカーもあります。

UV-B の蛍光ランプは、本書で取り上げている植物病害防除用のものや医療用のものがあり、どちらも 310nm 付近に放射ピークがあります。しかしこれらは半値幅（光スペクトル分布におけるエネルギーがピーク値の 50%となる波長の幅）が病害防除用では ±15nm、医療用では ±5nm と大幅に異なります。

各農業現場において正確な紫外線放射照度を知りたい場合は、予め実験室において分光放射計を用いて測定した各紫外線域の値と紫外線放射照度計で計測した値を比べれば、それらの比はランプの出力によらず概ね一定であるため、変換係数を導いて、現場で計測した値を変換して求めることができます。

ただし、各紫外線の放射照度を直接計測できる分光放射計は少ないため、多くの場合、得られた波長ごとの放射照度値を自分で表計算ソフトなどで足し合わせる等の手間がかかります。

分光放射計でスペクトルの計測ができない状況で、本書で取り上げているような実験条件を設定する場合は、少なくとも使用したランプと紫外線放射照度計のメーカー名と型番を記録するよう心掛けて下さい。

本書では、UV-B 蛍光ランプにはパナソニック株式会社【タフナレイ (YGRFX21701GH)】を、紫外線放射照度計には、Gigahertz-Optik 社の型番：表示部 X1 受光部：UV-3702-4 を使用し、280 ~ 315 nm (UV-B) の波長域を計測して試験を行っています。

総合的に考えよう

総合的病害虫管理の一手段との認識を持つよう!

- ・より防除効果を安定させ、環境への負荷も少ない防除方法として、**IPM**（総合的病虫害管理）が注目されています。この方法は、病虫害が発生しにくい栽培体系やほ場条件、在来天敵が活動しやすいほ場環境づくり、病虫害の侵入を防ぐ耕種的防除法の活用などと農薬による防除法とを上手に組み合わせて総合的に防除していこうというものです。

具体的には

- ・病気や虫害が発生しにくい環境づくり
- ・ほ場環境の整備
- ・排水・高うね
- ・通風良好
- ・損傷の回避
- ・適正な施肥
- ・過乾・過湿の排除
- ・伝染源保毒植物の除去
- ・ほ場内外の雑草の除去
- ・未熟な有機物の過剰施用の回避 等



これらに、本手引きで掲げている UV-B や農薬（薬剤のローテーション散布）をうまく組み合わせて防除に努めましょう。

- ・**防除法をうまく組み合わせ**、経済的被害を生じるレベル以下に病虫害を減少させ、かつその低いレベルを持続させることが大切です。
- ・**自分の畑の情報**は、自分で記録し、常に把握しておくことが大切です。いつ、どんな作業をしたか、消毒（使った薬剤と量）、植え付け時期、施肥等を、やったときに記録しておくとい良いでしょう。

RNA：DNA と同じく核酸の一つ。DNA は主に核の中で情報の蓄積・保存の役割に対して、RNA は情報の一時的な処理を担い、必要に応じて合成・分解される。

カルコン合成酵素 (CHS)：防御関連遺伝子によって誘導された病害抵抗性発現酵素の一つ。

過敏反応：非親和性の病原菌が侵入しようとするとき、宿主植物が急激に示す反応のこと。侵入部位の周りが自発的に細胞死を起こす。

キク白さび病：キクの葉、茎、総苞に発生する。葉では乳白色の小斑点を生じ黄色みを増しながら直径2～3mm となり、裏面は隆起する。

抗菌性物質：微生物が作り出し、他の微生物の生育や機能を抑制する物質。

スペクトル：各波長成分の強さの分布。

トルコギキョウ炭疽病：トルコギキョウの茎葉に発生する。茎では葉の分岐部付近に多く、淡褐色のややへこんだ楕円形病斑を生ずる。葉では類円形の病斑となる。

灰色かび病：様々な花き、野菜などに発生する。茎葉および花卉に発生することが多い。病勢がすすむと軟化腐敗し、大量の分生子（かび）を生ずる。

ハダニ：葉裏に寄生して汁を吸う。吸われた部分の葉緑素が抜けて、白い小斑点を生じる。数が多くなると白くカスリ状にまとまって見える。

バラうどんこ病：バラの茎葉、蕾に発生する。うどんこをふりかけたように白い斑点症状がみられる。発病は若い柔らかい組織が中心だが、激発すると植物全体に及ぶ。

非親和性：病原菌が植物に侵入・感染できないこと。

フェニルアラニンアンモニアリアーゼ (PAL)：防御関連遺伝子によって誘導された病害抵抗性発現酵素の一つ。

分生子：病原菌などのかびが作る胞子のこと。

防御関連遺伝子：光、病害、傷害などの刺激に対して植物が抵抗性を高めようとする遺伝子。

【ホームページ】

- ・農林水産省ホームページ 農業新技術 2010 p.7
www.s.affrc.go.jp/docs/pdf/2010.pdf
- ・Panasonic ホームページ 病害防除システム タフナレイ
<http://www2.panasonic.biz/es/lighting/okugai/tafna-ray/>
- ・農研機構 花き研究所 花き類病害の診断・防除ホームページ
<https://www.naro.affrc.go.jp/flower/kakibyو/index.html>

【論文等】

- ・紫外光照射 (UV-B) によるバラうどんこ病の発病抑制、植物防疫. (2014) 68: 53-57. 小林光智衣他
- ・Supplemental UV radiation controls rose powdery mildew disease under the greenhouse conditions. Environmental Control in Biology. (2013) 51: 157-163. Kobayashi M. 他
- ・紫外線 B 波 (UV-B) 照射によるトルコギキョウ炭疽病の発病軽減、関東病虫研報. (2013) 60: 78-80. 佐藤衛他
- ・UV-B Radiation for control of strawberry powdery mildew. Acta Hort., (2009) 842:359-362. Kanto T. 他
- ・ナスにおける紫外光 (UV-B) 照射による病害抵抗性誘導とすすかび病の防除効果、日植病報. (2011) 77: 23-27. 岡久美子他

執筆担当者

山形県農業総合研究センター園芸試験場	酒井友幸・佐藤貴裕
山形県庄内総合支庁 庄内産地研究室	菅原 敬
長野県野菜花き試験場	由井秀紀・大島洋一
兵庫県立農林水産技術総合センター	神頭武嗣
鹿児島県農業開発総合センター	郡山敬作・白山竜次
パナソニック株式会社エコソリューションズ社	石渡正紀
農研機構 花き研究所	佐藤 衛



問い合わせ

(独)農業・食品産業技術総合研究機構 花き研究所

TEL 029-838-6801(代表)

本資料は、「私的使用」又は「引用」など著作権法上認められた場合を除き、無断で転載、複製、放送、販売などの利用をすることはできません。転載、複製、放送、販売などの利用の場合には、事前に（独）農業・食品産業技術総合研究機構花き研究所の許可を得てください。