

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6217980号  
(P6217980)

(45) 発行日 平成29年10月25日(2017.10.25)

(24) 登録日 平成29年10月6日(2017.10.6)

(51) Int. Cl. F I  
**AO1G 7/00 (2006.01)** AO1G 7/00 601C  
**AO1G 1/00 (2006.01)** AO1G 1/00 301Z

請求項の数 8 (全 16 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2014-131154 (P2014-131154)                  (22) 出願日 平成26年6月26日 (2014.6.26)                  (65) 公開番号 特開2016-7185 (P2016-7185A)                  (43) 公開日 平成28年1月18日 (2016.1.18)                  審査請求日 平成29年3月8日 (2017.3.8)</p> <p>早期審査対象出願</p>	<p>(73) 特許権者 591079487                  広島県                  広島県広島市中区基町10番52号                  (74) 代理人 100128277                  弁理士 専徳院 博                  (72) 発明者 松浦 昌平                  広島県東広島市八本松町原6869 広島                  県立総合技術研究所 農業技術センター内                  (72) 発明者 石倉 聡                  広島県東広島市八本松町原6869 広島                  県立総合技術研究所 農業技術センター内</p> <p>審査官 田辺 義拓</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 トマト育苗方法、育苗装置及び植物工場

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

LED光源を用いてトマト苗に光を照射する工程を有し、  
 当該工程は、有効波長成分として280nm以上290nm以下の光を1日当たり0.7kJ/m<sup>2</sup>以上1.4kJ/m<sup>2</sup>以下照射し、  
これによりUV障害を抑制しつつ、トマトのウイルス病の発病を抑制することを特徴とするトマト育苗方法。

【請求項2】

前記LED光源から放出する光は、280nm以上290nm以下の波長域のみからなることを特徴とする請求項1に記載のトマト育苗方法。

【請求項3】

前記LED光源は、280nm以上290nm以下の波長域のみからなる光を放出することを特徴とする請求項2に記載のトマト育苗方法。

【請求項4】

前記LED光源は、280nm以上290nm以下の波長域を含む光を放出する光源と、280nm以上290nm以下の波長域の光のみを透過する透過手段とからなることを特徴とする請求項2に記載のトマト育苗方法。

【請求項5】

トマト苗の育苗装置であって、  
 280nm以上290nm以下の波長域のみからなる光を、1日当たり0.7kJ/m

$2$  以上  $1.4 \text{ kJ/m}^2$  以下の照射量でトマト苗に照射可能な LED 光源を備えることを特徴とする育苗装置。

【請求項 6】

前記 LED 光源は、 $280 \text{ nm}$  以上  $290 \text{ nm}$  以下の波長域のみからなる光を放出することを特徴とする請求項 5 に記載の育苗装置。

【請求項 7】

前記 LED 光源は、 $280 \text{ nm}$  以上  $290 \text{ nm}$  以下の波長域を含む光を放出する光源と、 $280 \text{ nm}$  以上  $290 \text{ nm}$  以下の波長域の光のみを透過する透過手段とからなることを特徴とする請求項 5 に記載の育苗装置。

【請求項 8】

請求項 5 から 7 のいずれか 1 項に記載の育苗装置を備えることを特徴とする植物工場。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ウイルス病の発病を抑制可能なトマト育苗方法、育苗装置及び植物工場に関する。

【背景技術】

【0002】

トマトモザイクウイルス (T o M V) は、トマトに感染し、モザイク症状及び壊疽症状による減収被害をもたらす重要病原体である。近年、海外から抵抗性遺伝子を打破する新系統のウイルスが侵入し、トマトに減収被害をもたらしている。作物のウイルス病は、主に媒介虫や農作業中の手指を介して感染発病するため、ウイルス病を防除するには媒介虫を駆除すればよいが、害虫の薬剤抵抗性が発達しており完全ではない。作物の抵抗性遺伝子を利用する方法もあるが、遺伝子打破系のウイルスには効果がない。

【0003】

うどんこ病など糸状菌による病害に対しては、植物に  $280 \sim 340 \text{ nm}$  の UV - B を照射することで糸状菌の細胞形成や菌糸の成長を抑制し、植物の病害抵抗性を誘導可能にする技術がある (例えば特許文献 1 参照)。さらに  $280 \sim 340 \text{ nm}$  の UV - B を照射するだけでは、菌糸の成長抑制、植物の病害抵抗性の誘導が不十分であるとし、 $280 \sim 340 \text{ nm}$  の UV - B と  $255 \sim 280 \text{ nm}$  の UV - C とを重畳して照射することで、従来以上に、菌糸の成長を抑制し、植物の病害抵抗性を誘導可能にする技術が提案されている (例えば特許文献 2 参照)。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2005 - 328734 号公報

【特許文献 2】特許第 5162740 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献 1 及び 2 に記載の技術を含め、植物に紫外線を照射し発病を抑制する技術は、育苗装置、さらには植物工場での使用が期待される。発病抑制技術を、育苗装置あるいは植物工場で使用する場合には、発病抑制効果が高いことはもちろんのこと、安全性、経済性も重要である。

【0006】

特許文献 2 に記載の技術では、 $280 \sim 340 \text{ nm}$  の UV - B と  $255 \sim 280 \text{ nm}$  の UV - C とを重畳して照射するが、 $255 \sim 280 \text{ nm}$  の UV - C は人体に極めて有害であるので、好ましい方法とは言い難い。

【0007】

また従来の紫外線ランプを使用し発病を抑制する技術の場合、照射量が 1 日当たり  $5 \sim$

10

20

30

40

50

7 k Jであるためランニングコストが高くなる。

【0008】

特許文献2に記載の技術を含め、菌糸の成長を抑制する技術はこれまでに幾つか開発されているが、遺伝子打破系のウイルスによるウイルス病を防除する方法はこれまで開発されておらず、開発が待たれている。このウイルス病の防除方法が、安全で経済性に優れる方法であれば、実用上、非常に好ましいことは言うに及ばない。

【0009】

本発明の目的は、ウイルス病の発病を抑制可能な、安全で経済性に優れるトマト育苗方法、育苗装置及び植物工場を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明は、LED光源を用いてトマト苗に光を照射する工程を有し、当該工程は、有効波長成分として280 nm以上290 nm以下の光を1日当たり0.7 k J / m<sup>2</sup>以上1.4 k J / m<sup>2</sup>以下照射し、これによりUV障害を抑制しつつ、トマトのウイルス病の発病を抑制することを特徴とするトマト育苗方法である。

【0011】

本発明のトマト育苗方法において、前記LED光源から放出する光は、280 nm以上290 nm以下の波長域のみからなることを特徴とする。

【0012】

本発明のトマト育苗方法において、前記LED光源は、280 nm以上290 nm以下の波長域のみからなる光を放出することを特徴とする。

【0013】

本発明のトマト育苗方法において、前記LED光源は、280 nm以上290 nm以下の波長域を含む光を放出する光源と、280 nm以上290 nm以下の波長域の光のみを透過する透過手段とからなることを特徴とする。

【0014】

また本発明は、トマト苗の育苗装置であって、280 nm以上290 nm以下の波長域のみからなる光を、1日当たり0.7 k J / m<sup>2</sup>以上1.4 k J / m<sup>2</sup>以下の照射量でトマト苗に照射可能なLED光源を備えることを特徴とする育苗装置である。

【0016】

本発明の育苗装置において、前記LED光源は、280 nm以上290 nm以下の波長域のみからなる光を放出することを特徴とする。

【0017】

本発明の育苗装置において、前記LED光源は、280 nm以上290 nm以下の波長域を含む光を放出する光源と、280 nm以上290 nm以下の波長域の光のみを透過する透過手段とからなることを特徴とする。

【0018】

また本発明は、前記育苗装置を備えることを特徴とする植物工場である。

【発明の効果】

【0019】

本発明によれば、ウイルス病の発病を抑制可能な、安全で経済性に優れるトマト育苗方法、育苗装置及び植物工場を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】本発明のトマト育苗方法を実施可能な育苗装置1の構成図である。

【図2】図1の育苗装置1で使用する光源の配置を模式的に示す平面図である。

【図3】本発明のトマト育苗方法を実施可能な植物工場2の概略構成を示す模式図である。

。

【図4】本発明の実施例で使用したLEDパッケージの発光パターンを表した図である。

【図5】本発明の実施例で使用した照射モジュールの外観図である。

10

20

30

40

50

【図6】本発明の実施例に記載の各波長のLEDのT o M V抑制効果に関する実験で使用した実験装置の外観図である。

【図7】本発明の実施例に記載の各波長のLEDのT o M V抑制効果に関する実験結果である。

【図8】本発明の実施例に記載の各波長のLEDのT o M V抑制効果に関する実験結果である。

【図9】本発明の実施例に記載の接種前後のUV照射がT o M Vの発病抑制に及ぼす影響に関する実験結果である。

【図10】本発明の実施例に記載のT o M Vの発病を抑制する深紫外線LEDの最適照射量特定実験の結果である。

10

【発明を実施するための形態】

【0021】

本発明のトマト育苗方法は、LED光源を用いてトマト苗に光を照射する工程を有し、当該工程で使用するLED光源は、280nm以上290nm以下の波長域を含み、トマト苗に照射する光は、280nm以上290nm以下の波長成分の照射量が1日当たり0.7kJ/m<sup>2</sup>以上1.4kJ/m<sup>2</sup>以下であることを特徴とする。

【0022】

本発明のトマト育苗方法は、本質的にはトマト苗に対して、LED光源を用いて、280nm以上290nm以下の波長成分の照射量が1日当たり0.7kJ/m<sup>2</sup>以上1.4kJ/m<sup>2</sup>以下となるように照射することでウイルス病の発病を抑え、病害抵抗性を誘導するものである。

20

【0023】

本発明のトマト育苗方法において、照射される光は、280nm以上290nm以下の波長成分のみに限定されるものではなく、280nm以上290nm以下の波長域の光がトマト苗に及ぼす効果を阻害しない範囲、あるいはトマト苗に障害など悪影響を与えない範囲で他の波長域の光を含んでいてもよい。

【0024】

後述の実施例に記すように、295~305nmの波長域の光をトマト苗に照射した場合、トマト苗に障害が発生しなかった。一方でT o M Vの発病を抑制する効果はなかった。このことから280nm以上290nm以下の波長域の光と295~305nmの波長域の光とを含む光をトマト苗に照射しても、トマト苗に悪影響はないと考えられる。

30

【0025】

これに対して、後述の実施例に記すように260~270nmの波長域の光を照射すると、T o M Vの発病を抑制する効果がある一方でUV障害が発生した。また260~270nmの波長域の光は、UV-Cの領域の紫外線であり、人体にとって極めて危険である。よって260~270nmの波長域の光は含まれないことが望ましく、含まれる場合であっても可能な限り少ないことが好ましい。

【0026】

280nm以上290nm以下の波長域の光がトマト苗に及ぼす効果を阻害しない範囲、あるいはトマト苗に障害など悪影響を与えない範囲で他の波長域の光を含んでいてもよいことは既に記載の通りであるが、280nm以上290nm以下の波長成分の照射量が1日当たり0.7kJ/m<sup>2</sup>以上1.4kJ/m<sup>2</sup>以下となるように照射する必要があることを考えれば、280nm以上290nm以下の波長域の光のみを照射することが効率的であり、好ましい。

40

【0027】

光源には、LEDを使用する。上記の通り、トマト苗に照射する必要がある光は、280nm以上290nm以下の波長域の光であるから、当該波長域の光を放出するLEDを1個又は複数個使用すればよい。LEDは、半値幅が狭いため有害な波長255~280nmのUV-Cを含まない280~290nmのUV-Bを照射することが可能であり、特に280nm以上290nm以下の波長域の光のみを放出するLEDを好適に使用する

50

ことができる。ここで280nm以上290nm以下の波長域の光のみを放出するLEDとは、実質的に280nm以上290nm以下の波長域の光を放出するLEDであり、280nm未満及び/又は290nmを超える波長の光を全く放出しないことを意味するものではない。

【0028】

280nm以上290nm以下の波長域の光のみを放出するLEDとしては、例えば、後述の実施例で使用した日機装株式会社製の深紫外線LEDパッケージ(A285TO46FW、peak=285nm、発光強度1.25mW)がある。

【0029】

またLED光源として、280nm以上290nm以下の波長域を含む光を放射するLEDと、当該LEDが放出する光のうち280nm以上290nm以下の波長域の光のみを透過するフィルター等の透過手段とを用い、280nm以上290nm以下の波長域の光のみをトマト苗に照射するようにしてもよい。

【0030】

前記透過手段は、特定の手段に限定されるものではないがフィルター等が望ましい。ここで280nm以上290nm以下の波長域の光のみを透過する手段とは、実質的に280nm以上290nm以下の波長域の光を透過するものであり、280nm未満及び/又は290nmを超える波長の光を全く透過しないことを意味するものではない。

【0031】

トマト苗に照射する光の照射量は、280nm以上290nm以下の波長域の光が1日当たり0.7kJ/m<sup>2</sup>以上1.4kJ/m<sup>2</sup>以下となるように照射する。280nm未満及び/又は290nmを超える波長の光を含んでもよいが、その場合でも280nm以上290nm以下の波長域の光の照射量が、1日当たり0.7kJ/m<sup>2</sup>以上1.4kJ/m<sup>2</sup>以下となるように照射する。

【0032】

280nm以上290nm以下の波長域の光の照射量が1日当たり0.7kJ/m<sup>2</sup>未満では、ウイルス病の発病を十分に抑え、病害抵抗性を誘導することができない。一方、280nm以上290nm以下の波長域の光の照射量が1日当たり1.4kJ/m<sup>2</sup>を超えると、ウイルス病の発病を抑え、病害抵抗性を誘導することができるが、UV障害が大きくなるので好ましくない。

【0033】

トマト苗に280nm以上290nm以下の波長域の光を照射する時期は、特定の時期に限定されるものではない。一例を示せば、トマト苗に本葉が出てから3日間、1日8時間程度の照射を行えばよい。280nm以上290nm以下の波長域の光を照射するときは、同時に、トマト苗に可視光が照射されていることが好ましい。可視光は、自然光であっても人工光であってもよい。

【0034】

後述の実施例で示すようにトマト苗に3日間、1日8時間、280nm以上290nm以下の波長域の光を照射すると、照射期間も含め10日間程度の効果が持続することを確認済である。よって、3日間照射後、1週間程度の待機期間を設け、これを繰り返せばよい。

【0035】

また後述の実施例で示すように、TomMV接種前だけ、280nm以上290nm以下の波長域の光を1日当たり0.7kJ/m<sup>2</sup>の照射量で照射(以下、本発明UVを照射と記す)した場合でもTomMVの発病抑制効果は高かった。このことは予め本発明UVを照射することで獲得抵抗性が付与されたことを示している。一方、TomMV接種前照射よりは劣ったが、TomMV接種後の照射でも発病抑制効果が認められた。このことは、本発明UVの照射がウイルス感染だけでなく、植物体内でのウイルスの増殖抑制にも寄与していることを示唆している。以上から本発明UVの照射によってウイルス病を抑制するためには、感染前からの予防的な照射が重要であると考えられる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 6 】

育苗施設で育成したトマト苗を、本圃に移した後は、本発明UVを照射することは難しいが、閉鎖型施設、例えば完全制御型植物工場のような場合には、育苗室から栽培室に移設した後に、本発明UVを照射してもよい。

## 【 0 0 3 7 】

トマト苗に照射する光の照射位置は、トマト苗の上方からを基本とするが、上方からのみでは十分に照射することができない場合には、上方に加え横方向、あるいは下方からの照射を追加すればよい。

## 【 0 0 3 8 】

本発明のトマト育苗方法を使用することで、少ない照射エネルギーでかつ少ない副作用で、効率的にウイルス病の発病を抑え、かつ病害抵抗性を誘導することができる。本発明のトマト育苗方法は、農薬による防除が不可能なウイルス病害の抑制に好適に使用することができる。

10

## 【 0 0 3 9 】

従来から、うどんこ病など糸状菌による病害の抑制に紫外線照射が行われているが、本方法は、従来の方法に比較して一日当たりの光（紫外線）の照射量が1/5～1/7と小さいため、育苗施設、植物工場に好適に使用することができる。また本発明のトマト育苗方法は、UV-Cを含まない光を照射するため万一人間が浴びても被害は少なく、安全な方法といえる。

## 【 0 0 4 0 】

20

次に本発明のトマト育苗方法を実施可能な育苗装置及び植物工場について説明する。図1は、本発明のトマト育苗方法を実施可能な育苗装置1の構成図、図2は、図1の育苗装置1の育苗装置で使用する光源の配置を模式的に示す平面図である。

## 【 0 0 4 1 】

育苗装置1は、本発明のトマト育苗方法を使用した育苗装置であり、閉鎖施設3を有し、当該施設3内にトマト苗100を収容する育苗棚11と、トマト苗100に光を照射する照明装置15と、照明装置15を制御する照明制御装置21と、紫外線照射を報知する報知灯22と、空調装置23とを備える。

## 【 0 0 4 2 】

トマト苗100は、セルトレイ25内に収容された状態で、育苗棚11に収容される。育苗棚11は、セルトレイ25を2段収容可能に構成され、各段に4枚のセルトレイ25が収容される。また育苗棚11は、各段の上方にトマト苗100に光を照射する照明装置15が設置されている。ここでは2段の育苗棚11を示すが、育苗棚11の段数は2段に限定されるものではなく、1段であっても3段以上であってもよい。また育苗棚11の各段のセルトレイ25の収容枚数も4枚に限定されるものではない。

30

## 【 0 0 4 3 】

照明装置15は、可視光を放出する蛍光灯16と280nm以上290nm以下の波長域の光を放出するLED光源17とを有し、図2(A)に示すように蛍光灯16とLED光源17とが交互に配置されている。

## 【 0 0 4 4 】

40

蛍光灯16は、トマト苗100に生育に必要な可視光を照射可能であり、LED光源17は、280nm以上290nm以下の波長域の光を、1日当たり0.7kJ/m<sup>2</sup>以上1.4kJ/m<sup>2</sup>以下の照射量で照射可能である。

## 【 0 0 4 5 】

LED光源17は、280nm以上290nm以下の波長域の光のみを放出するLED、又は280nm以上290nm以下の波長域を含む光を放射するLEDと、当該LEDが放出する光のうち280nm以上290nm以下の波長域の光のみを透過する透過手段との組合せであってもよい。

## 【 0 0 4 6 】

本実施形態の照明装置15は、可視光を放出する蛍光灯16と280nm以上290nm

50

m以下の波長域の光を放出するLED光源17とで構成されるが、可視光を放出する蛍光灯16に代え、図2(B)に示すように可視光を放出するLED18を使用してもよい。なお、図2(A)、(B)の光源の配置は一例であり、これに限定されるものではない。

【0047】

可視光の光源には、蛍光灯17、LED18の他、高圧ナトリウムランプ、ハロゲン電球、水銀灯などを使用することができる。

【0048】

照明制御装置21は、照明装置15の点灯、消灯を制御する。照明制御装置21は、可視光を放出する蛍光灯16と280nm以上290nm以下の波長域の光を放出するLED光源17とを同時に、又は蛍光灯16のみを単独で点灯させることができる。照明制御装置21は、タイマーを有し、例えば、280nm以上290nm以下の波長域の光を放出するLED光源17と可視光を放出する蛍光灯16とを一緒に1日8時間点灯させるように制御する。

10

【0049】

報知灯22は、280nm以上290nm以下の波長域の光が放出されていることを育苗装置1内に居る人に報知するための手段であり、照明制御装置21がLED光源17を点灯させると同時に報知灯22も点灯させる。報知灯22は、育苗装置1内に居る人に280nm以上290nm以下の波長域の光が放出されていることを報知し、注意を喚起するためのものであるから、報知灯22の以外の機器、例えば音声を発するような機器であってもよい。

20

【0050】

また報知灯22に代え、育苗装置1内に人間を感知するセンサー、例えば動体センサー、赤外線センサーなどを設置し、当該センサーが人を感知している間は、LED光源17を点灯できないように制御してもよい。さらには、遮光板を設置し、作業員に直接、280nm以上290nm以下の波長域の光が当たらないようにすることも好ましい。LED光源17から放出される光には、UV-Cが含まれないが、上記対策により安全性がより向上する。

【0051】

空調装置23は、閉鎖施設3の温度、湿度を所定の値に制御する。この他、育苗装置1は、図示を省略した光合成を行わせるための炭酸ガス供給手段、トマト苗に養分を与える灌水装置を備える。

30

【0052】

以上からなる育苗装置1は、少なくともトマト苗100の生育に必要な可視光を照射可能な光源と、280nm以上290nm以下の波長域の光を、1日当たり0.7kJ/m<sup>2</sup>以上1.4kJ/m<sup>2</sup>以下の照射量で照射可能なLED光源とを備えるので、本発明のトマト育苗方法を実行することができる。これにより少ないエネルギーで効率的にウイルス病の発病を抑え、かつ病害抵抗性を誘導したトマト苗を得ることができる。

【0053】

図3は、本発明のトマト育苗方法を実施可能な植物工場2の概略構成を示す模式図である。植物工場2は、完全人工型植物工場(閉鎖型植物工場、完全制御型植物工場)であり、閉鎖された施設内4に育苗室6と栽培室8とを備える。図1及び図2に示す育苗装置1と同一の構成には、同一の符号を付して説明を省略する。

40

【0054】

育苗室6は、苗を集中的に育苗する場所であり、図1に示した育苗装置1と同様の照明装置15(図示省略)が設置された育苗棚11が複数設置され、照明制御装置21(図示省略)が照明装置15の点灯、消灯を制御する。栽培室8には、複数の栽培棚12が設置されている。栽培棚12も育苗棚11と同様に、照明装置が設置されているが、栽培棚12の照明装置は、可視光のみを放出する。

【0055】

植物工場2は、この他、施設内の温度、湿度を制御する空調装置(図示省略)、光合成

50

を行わせるための炭酸ガス供給手段（図示省略）、苗に養分を与える灌水装置（図示省略）を備える。

#### 【0056】

本植物工場も、少なくとも、トマト苗に生育に必要な可視光を照射可能な光源と、280 nm以上290 nm以下の波長域の光を、1日当たり0.7 kJ/m<sup>2</sup>以上1.4 kJ/m<sup>2</sup>以下の照射量で照射可能なLED光源とを備えるので、本発明のトマト育苗方法を実行することができる。これにより少ないエネルギーで効率的にウイルス病の発病を抑え、かつ病害抵抗性を誘導したトマト苗を得ることができる。

#### 【0057】

上記植物工場2では、育苗室6でのみ280 nm以上290 nm以下の波長域の光を照射可能に構成したが、栽培室8においても280 nm以上290 nm以下の波長域の光を照射可能に構成してもよい。また上記植物工場2においても、図1及び図2に示す育苗装置1と同様に、280 nm以上290 nm以下の波長域の光が放出されていることを植物工場2内、あるいは育苗室6に居る人に報知するための報知手段、人のいないときにのみ280 nm以上290 nm以下の波長域の光を放出すべく人を検知するセンサー、あるいは遮光板を設置することが好ましい。

#### 【0058】

また本実施形態では、植物工場として完全人工型植物工場を示したが、植物工場には、太陽光を使用する太陽光利用型植物工場、人工光源を併用する太陽光・人工光併用型植物工場があり、これら植物工場においても本発明のトマト育苗方法を適用することができる。

#### 【0059】

以上、本発明のトマト育苗方法、並びに本発明のトマト育苗方法を実施可能な育苗装置及び植物工場を説明したが、本発明のトマト育苗方法、育苗装置及び植物工場は、上記実施形態に限定されるものではなく、要旨を変更しない範囲で変更して使用することができる。特に、育苗装置、植物工場については、上記実施形態に示した以外の装備、設備を備える育苗装置、植物工場もあるが、本発明の要旨を含む限りこれら育苗装置、植物工場も本発明に含まれる。

#### 【実施例】

#### 【0060】

##### LEDモジュール

LEDには、260 - 270 nmの深紫外線LEDパッケージ（日機装株式会社製、A265 TO46FW、peak = 265 nm、発光強度0.4 mW）、280 - 290 nmの深紫外線LEDパッケージ（日機装株式会社製、A285 TO46FW、peak = 285 nm、発光強度1.25 mW）、295 - 305 nmの深紫外線LEDパッケージ（日機装株式会社製、A300 TO46FW、peak = 300 nm、発光強度1.25 mW）を使用した。各LEDパッケージの発光パターンを図4に示した。

#### 【0061】

##### 照射モジュール

図5に示すように、各深紫外線LEDパッケージを4個、基板上に5 cmピッチで正方形に配置し、照射モジュールを作成した。定電流ダイオードCRDを用いて電流を16 mAに設定した。なお、260 - 270 nmの深紫外線LEDパッケージの場合、個数を5個（一辺が5 cmの正方形の4角とその中央部に配置）とし、電流を12 mAに設定した。LEDの照射強度は、測定器X1-1（Gigahertz-Optik Inc.、ドイツ製）と、UV用検出デテクターUV3719-4を使用した。デテクターは265 nm、285 nm、300 nmで校正した（相対誤差5.5%）

#### 【0062】

##### 接種源ウイルス

接種源には広島県の施設トマトから分離した抵抗性遺伝子打破系統トマトモザイクウイルス（以下TomV）広島株を使用した。本ウイルスは、抵抗性遺伝子Tm-2aをヘテ

10

20

30

40

50



口に持つトマトに黄化、えそを引き起こし、Tm - 1を有するトマトでも増殖しモザイクを生じる。接種源を10倍量(V/W)の0.2Mリン酸緩衝液pH7で磨砕し、4倍量のカーボランダムを加え、本葉2葉期の実験用トマト品種桃太郎8(Tm - 2a/+ )の本葉1および2葉に汁液接種した。このウイルス濃度は、サムソンNNタバコに局部病斑を400 - 600個形成する濃度である。

【0063】

各波長のLEDのToMV抑制効果に関する実験(実験1~4)

【0064】

実験要領は、以下の通りである。桃太郎8(Tm - 2a/+ )を9cmのプラスチックポットに3粒播種し、22℃、湿度85%、照度220 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、16時間照明の人工気象器で栽培した。本葉2葉が展開した後、照射モジュールによりUVを明期に照射した。UVの照射は、図6に示すようにプラスチックポットの上方20cmに照射モジュールを配置し、上方から照射した。各波長のトマト葉面での1日当たり照射量は、260 - 270nm、280 - 290nm、295 - 305nmでそれぞれ、720J/m<sup>2</sup>、1440J/m<sup>2</sup>、1440J/m<sup>2</sup>(紫外線照射強度25mW/m<sup>2</sup>、50mW/m<sup>2</sup>、50mW/m<sup>2</sup>で1日8時間照射)とした。

【0065】

3日間の照射の後、本葉第1および2葉にToMVを機械的に汁液接種し、再び、同様の条件で7日間照射した。実験は、照射モジュールあたり1ポット(3株)を照射し、5反復(計15株)で行った。同一条件でUV照射をしない株を対照区とした。

【0066】

接種7日後の本葉第4葉期に発病程度を評価した。すなわち、0;無発病、1;僅かに黄化、えそあり、2;黄化、えそが明瞭、3;黄化、えそが全体に発生し、わい化、4;枯死。第4葉の葉を裁断し、35mgを凍結保存した。トマト植物体内のウイルス濃度は定量PCR法で測定した。

【0067】

凍結サンプルからQiagen社のキットで全RNAを抽出し、40 $\mu\text{L}$ の水で溶出した。そのうち2 $\mu\text{L}$ をReveTraA(登録商標)でcDNAを合成し、合成した鋳型を定量PCRに供試した。ToMVのCP領域からFプライマー、Rプライマー、Taqmanプローブを用いて増幅した。検量線作成には、ToMVのCP領域をRT-PCR後、切り出し精製した断片を10倍段階希釈したものを使用した。

【0068】

図7に各種波長のUVの照射がトマトにおける発病程度およびToMVの-RNA蓄積量に及ぼす影響を示した。図7中の縦棒は、標準誤差を表す。図8は、各種波長のUV照射がトマトにおけるToMVの発病とUV障害の発生に及ぼす影響を示す図である。

【0069】

UV無照射区ではウイルス接種7日後に上位葉(第3、4葉)に激しい、黄化とえそが発生し、株のわい化が認められた(図8(C))。波長260 - 270nm、280 - 290nmのLED照射区では、発病はほとんど認められなかった(図7(a)、図8(A)、図8(B))。一方、波長295 - 305nmにおける発病程度は無照射と同等であった(図7)。波長290nm以下のLED照射区における単位総RNA量あたり標的ToMV-RNA量は、無照射区に比べて、有意に低かった( $p < 0.001$ )(図7(b))。一方、波長295 - 305nmのLED照射区におけるウイルスRNA量は無照射区と有意差は認められなかった(図7(b))。波長260 - 270nmのLEDを照射したトマト植物体では、激しい縮葉とわい化を含むUV障害が発生した。波長280 - 290nmのLEDを照射したトマト株でも、縮葉と小形化の障害が発生したが、260 - 270nmの場合よりも軽度であった(図8(A)、(B))。

【0070】

290nm以下の波長のLEDを照射したトマト植物体内ではウイルス量が無照射に比べて著しく低かった。このことから、発病抑制効果はトマト体内でのウイルスの増殖が抑

10

20

30

40

50

制されたことに起因すると考えられた(図7(b))。以上から、トマトにおけるT o M V 発病を抑制するためには、U V 障害の比較的少ない280 - 290 nmの波長領域のL E D 照射モジュールを利用するのが適していると考えられる。

#### 【0071】

接種前後のU V 照射がT o M V の発病抑制に及ぼす影響に関する実験(実験5~7)

#### 【0072】

実験要領は、以下の通りである。L E D 照射モジュールには280 - 290 nm波長を用い、1日当たり1440 J / m<sup>2</sup>の照射量で照射した。接種前3日間のみ照射した区、接種後7日間のみ照射した区、紫外線照射を行わない区を設定し実験した。それ以外はすべて各波長のL E D のT o M V 抑制効果に関する実験と同様である。実験は、処理区あたり7反復(計21株)で行った。

10

#### 【0073】

結果を図9に示した。図9は、接種前または接種後の照射が発病程度およびウイルス蓄積量に及ぼす影響を示す図である。接種前にU V を照射した植物におけるウイルスR N A 量は、無照射に比べて有意に低かった(P < 0.001)。接種後に照射した植物におけるウイルスR N A 量は、無照射区に比べて有意に低かったが、その抑制効果は接種前照射と比べて僅かに劣った(P < 0.01)。接種後に照射した植物では軽いU V 障害が認められたが、接種前に照射した植物では、接種7日後の上位葉におけるU V 障害は認められなかった。

#### 【0074】

20

タバコにU V - C を照射すると照射から24時間後、または5日後にT o M V 感染に対する抵抗性が誘導されると報告されている。本実験でも、接種前だけ照射した場合でもT o M V の発病抑制効果は高かった。このことは予めU V を照射することでトマト植物に獲得抵抗性が付与されたことを示している。一方、接種前照射よりは劣ったが、ウイルス接種後の照射でも発病抑制効果が認められた。このことは、U V の照射がウイルス感染だけでなく、植物体内でのウイルスの増殖抑制にも寄与していることを示唆している。以上からU V 照射によってウイルス病を抑制するためには、感染前からの予防的な照射が重要であると考えられる。

#### 【0075】

30

T o M V の発病を抑制する深紫外L E D の最適照射量特定実験(実験8~11)

#### 【0076】

実験要領は、以下の通りである。L E D 照射モジュールにはウイルス抑制効果が高く、U V 障害が比較的少ない280 - 290 nmを用い、植物体表面での照射強度が50 mW / m<sup>2</sup>になるように設定し、接種前3日と接種後7日間照射した。1日あたり照射量は、1440 J / m<sup>2</sup>(照射強度50 mW / m<sup>2</sup>で1日8時間照射)、720 J / m<sup>2</sup>(照射強度50 mW / m<sup>2</sup>で1日4時間照射)、360 J / m<sup>2</sup>(照射強度50 mW / m<sup>2</sup>で1日2時間照射)および無照射とした。それ以外はすべて各波長のL E D のT o M V 抑制効果に関する実験と同様である。

#### 【0077】

40

図10に各照射量がトマトにおける発病程度とウイルス蓄積量に及ぼす影響を示した。1日単位m<sup>2</sup>当たり720 J以上の照射量で照射したトマトでの発病程度並びにウイルス濃度は無照射に比べて顕著に低かった(図10)。一方、360 Jの照射量では、無照射と比べて差は認められなかった(図10)。

#### 【0078】

以上から波長として280 - 290 nm、照射量として1日当たり0.7 - 1.4 k J / m<sup>2</sup>の範囲内に、トマトでT o M V を効果的に抑制できる最適値があると推察された。

#### 【0079】

照射量によるトマトのU V 障害評価実験(実験12~15)

#### 【0080】

50

実験要領は、以下の通りである。ウイルス病抑制効果の高い波長280 - 290 nmのLED照射モジュールを使用した。第2葉期のトマト(桃太郎8)に植物体表面での照射量が1日当たり1440 J/m<sup>2</sup>、720 J/m<sup>2</sup>および360 J/m<sup>2</sup>(それぞれ照射強度50 mW/m<sup>2</sup>で8時間、4時間および2時間照射)で7日間照射した。その後、地上部重量を計測した。巻葉は程度別に目視で評価した。クロロフィル含量は第3葉0.1 gを2.5 mMリン酸緩衝液で磨砕し、80%セトンで抽出後、Porraの方法で吸光度を測定した。クロロフィル蛍光(Fv/Fm)は、携帯クロロフィル蛍光測定器OS-30p(Opti-Sciences, Inc., NH, USA)で、30分間暗黒条件にした後、第3葉を計測した。これにより光化学反応IIの活性を評価した。実験は4反復(計12株)で実施した。

10

**【0081】**

各照射量で7日間照射したトマトにおけるUV障害程度を表1に示した。各照射エネルギーで地上部重量に有意差は認められなかった。1440 Jでは明瞭または激しい巻葉が観察されたが、720 J以下では巻葉はほとんど観察されなかった。いずれの照射エネルギーにおけるクロロフィル蛍光およびクロロフィル含量も無照射と比べて有意差は認められず、光化学系IIはUVで障害を受けていないと推察された。

**【0082】**

【表 1】

表1 波長 280-290nmのLEDを用いた照射エネルギーがトマトの UV 障害の発生に及ぼす影響 (平均±標準誤差)

UV 照射エネルギー	地上部重 (g)	巻葉程度 <sup>a</sup>	クロロフィル濃度(μg mL <sup>-1</sup> ) <sup>c</sup>		
			クロロフィル蛍光 <sup>b</sup>	クロロフィルa	クロロフィルb
1440 J m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	2.85 ± 0.16 a	2.25	0.818 ± 0.001 a	9.02 ± 0.20 a	2.28 ± 0.06 a
720 J m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	3.39 ± 0.20 a	0.17	0.813 ± 0.001 a	8.51 ± 0.20 a	2.20 ± 0.07 a
360 J m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	3.17 ± 0.13 a	0	0.815 ± 0.002 a	8.73 ± 0.19 a	2.28 ± 0.06 a
無照射	3.25 ± 0.14 a	0	0.815 ± 0.001 a	8.44 ± 0.26 a	2.14 ± 0.08 a

<sup>a</sup> 0 = 巻葉なし, 1 = 軽微な巻葉, 2 = 明瞭な巻葉, 3 = 激しい巻葉

<sup>b</sup> クロロフィル蛍光は携帯測定器 (OS-30p, Opti-Sciences, NH, USA) で計測.

<sup>c</sup> 第3葉 (0.1g) を3 mLの2.5 mMリン酸緩衝液で磨砕し, クロロフィルの変質を防いだ。その後80%アセトンで抽出し, 646.6, 663.6 および750 nm の吸光値を分光光度計で計測した.

<sup>d</sup> 異なる英文字はTukey検定で有意差あり (P < 0.05).

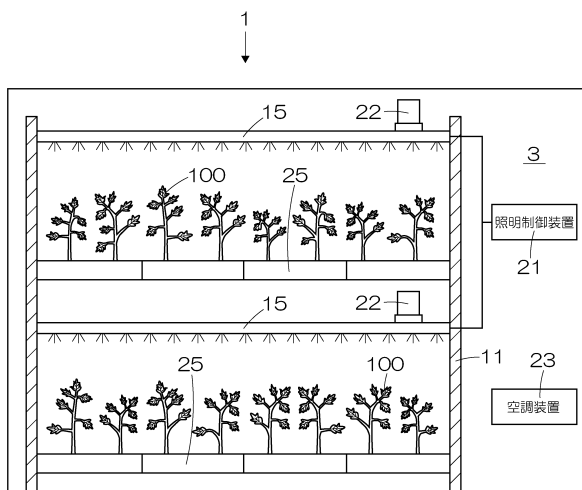
【符号の説明】

【 0 0 8 3 】

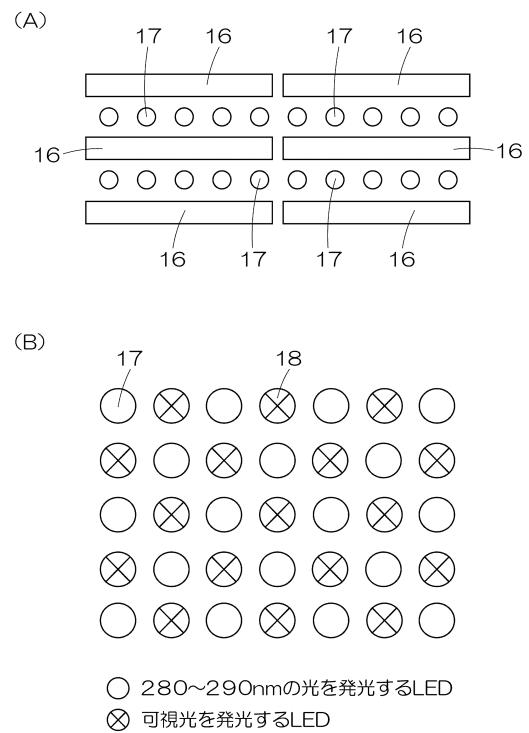
- 1 育苗装置
- 2 植物工場
- 3 閉鎖施設

- 4 閉鎖施設
- 6 育苗室
- 8 栽培室
- 11 育苗棚
- 12 栽培棚
- 15 照明装置
- 16 蛍光灯
- 17 LED光源
- 18 可視光LED
- 21 照明制御装置
- 22 報知灯
- 23 空調装置
- 25 セルトレイ
- 100 トマト苗

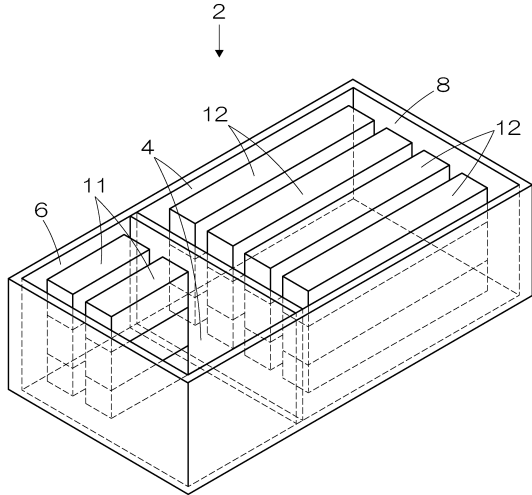
【図1】



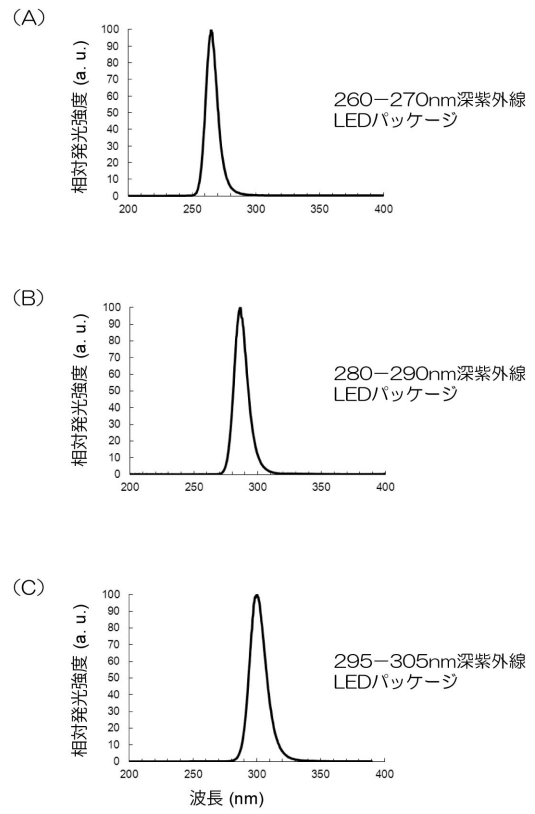
【図2】



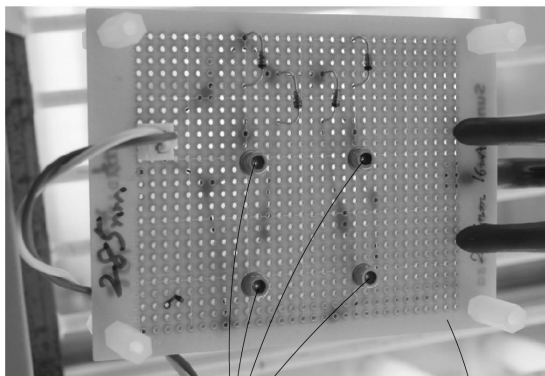
【図3】



【図4】



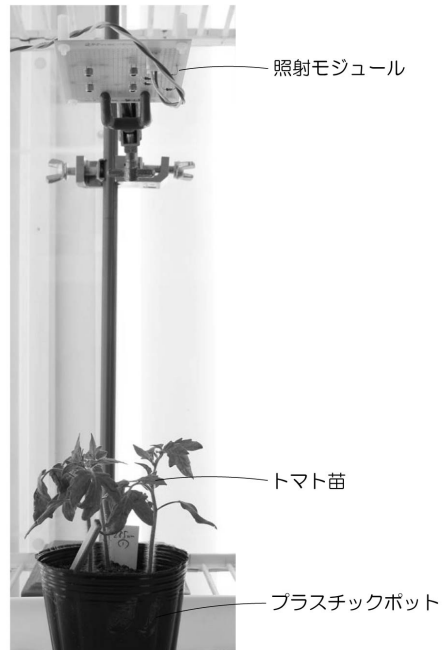
【図5】



深紫外線 LED パッド

基板

【図6】

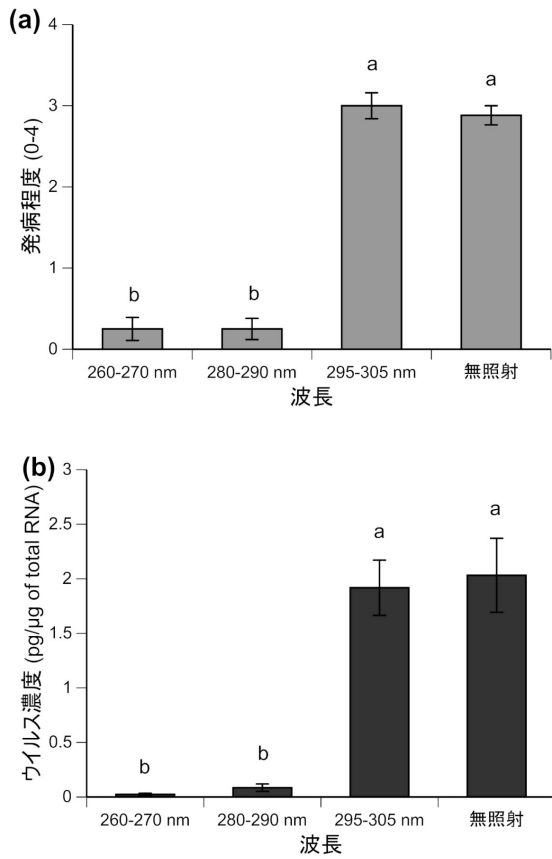


照射モジュール

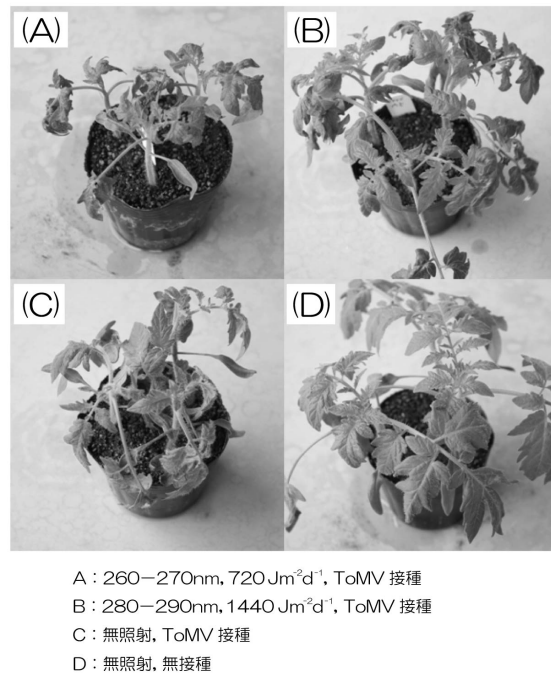
トマト苗

プラスチックポット

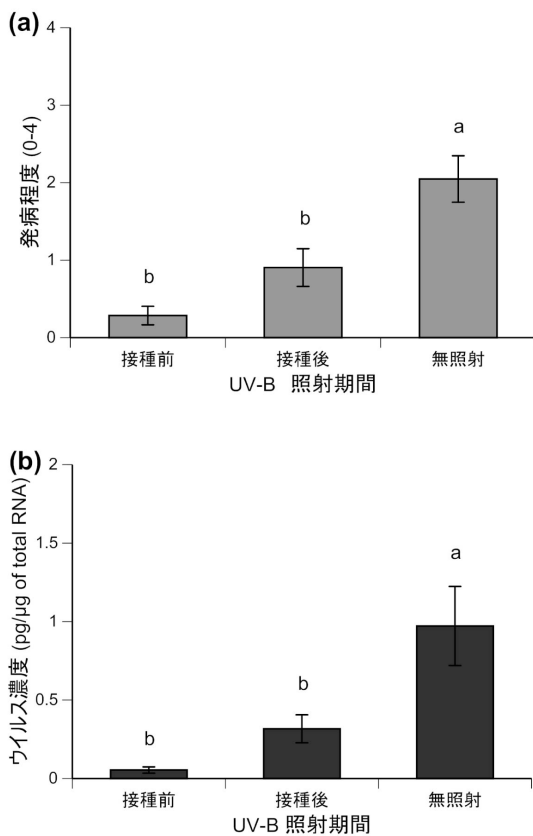
【 図 7 】



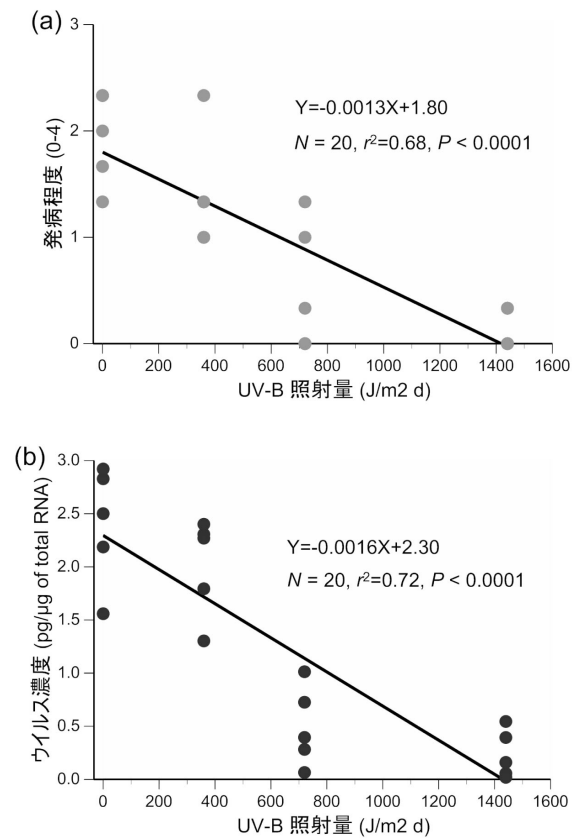
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2013-123417(JP,A)

特開2012-000061(JP,A)

森亮介,UV-Bランプ夜間照明によるトマトすかび病防除効果,関西病虫害研究会報,関西病虫害研究会,2012年,Vol.54,p.139-141

岡久美子,紫外光(UV-B)照射による施設野菜生産システムの開発,日本砂丘学会誌,日本砂丘学会,2009年,Vol.55 No.3,p.163-164

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

A01G 1/00

A01G 7/00