

令和 6 年 6 月 3 日現在

機関番号：12501

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K15627

研究課題名（和文）植物の機能性向上のためのUV-B多方向照射技術の開発

研究課題名（英文）Development of UV-B multi-directional irradiation technology to increase the concentration of functional components in plants

研究代表者

吉田 英生（Yoshida, Hideo）

千葉大学・大学院園芸学研究院・助教

研究者番号：40729852

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：植物の機能性成分の一部はUV-B照射により増加する。この仕組みを利用することで植物工場などの施設栽培で高付加価値な植物の生産が可能と考えられる。植物体全体の機能性成分濃度を高めるためには、UV-Bが届きにくい下の方の葉にも照射可能な照射技術の開発が必要であった。本研究では、植物体の上方からだけでなく、下方からもUV-B照射が可能ないように機能性成分が向上する適切な強度の検討を行った。本研究の結果より、葉の裏側へのUV-B照射でも機能性成分が増加することが示され、上方、下方からのUV-B照射の組み合わせにより、植物体全体の機能性成分が可能となると試算された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年の植物工場の世界的な広がりと共に、様々な生産手法の開発が求められている。具体的には、植物工場の生産効率の向上のための、生育促進技術、電気エネルギー使用量の削減技術などと共に高付加価値な作物の生産技術の開発が求められる。本研究では、これまでのUV-B照射による機能性成分濃度の増加に関する研究結果を元に、植物体の一部の葉だけでなく、植物体全体の葉の機能性成分濃度を増加させる照射方法の検討を行ったことで、より実用的な照射が可能となることが示され、高付加価値植物生産のためのUV-B照射技術の社会実装に繋がる結果が得られた。

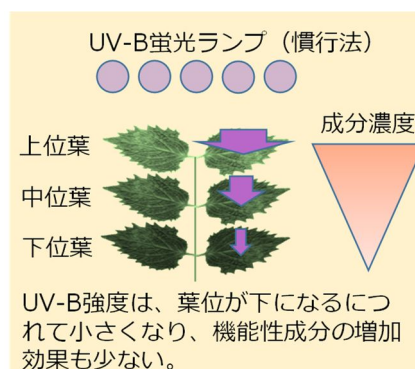
研究成果の概要（英文）：Some of the functional components of plants are increased by UV-B irradiation. This mechanism could be used to produce high-value-added plants in plant factories and greenhouses. In order to increase the concentration of functional components in the whole plant, it was necessary to develop an irradiation technique that could irradiate the lower leaves, which are difficult for UV-B to reach. In this study, we investigated the appropriate intensity of UV-B irradiation that improves functional components so that UV-B irradiation can be applied not only from above the plant canopy but also from below. The results of this study showed that UV-B irradiation to the underside of leaves also increased functional components, and it was estimated that a combination of UV-B irradiation from above and below would enable functional components in the whole plant.

研究分野：植物環境工学

キーワード：植物工場 環境ストレス 紫外線 機能性物質 ファイトケミカル

1. 研究開始当初の背景

近年、人の健康に有用な野菜の機能性成分や薬草の薬効成分が紫外線を用いたストレス処理により濃度を高められることが、多くの研究で明らかとなっている。特に、波長が 280 nm ~ 315 nm の UV-B はその効果が顕著である。光合成が促進される環境条件と多くの機能性成分の生合成が促される条件は異なる。そのため、光合成に基づく成長の促進と機能性成分の生合成・蓄積を高める条件を融合することで、機能性物質を高含有する植物を効率的に生産できると考えられる。このような考え方に基づいて短期間(数日程度)の UV-B 処理を試みた研究はいくつかみられるが、生産現場で応用されている例は皆無である。一因として、これまでの UV-B ランプは蛍光管を用いたものが主流で、



上方から照射するので植物体の中位・下位葉への効果が安定せず、上位葉への効果は高いものの植物体全体の機能性成分の増加につながらない場合があるためと考えられる。

LED の登場により植物工場において、光波長の選択だけでなく照射方法も多様化している。特に、400 nm 以下の波長の短い光を発する LED も登場し始め、今後高性能化が見込まれる。UV-B LED を用いれば、これまで群落の上方から行っていた UV-B 照射を、中位・下位葉の葉にも行うことが可能となると考えられ、より効率的かつ短期間に UV-B による紫外線ストレスにより高機能性の葉菜類の生産ができると考えられる。しかし、上層の若い葉と、中層・下層の成熟した葉では機能性成分の生合成を誘導するのに必要な UV-B 強度や照射期間は異なると考えられる。そのため、各葉位の葉で、UV-B 強度、照射時間等を任意に制御可能な装置を開発し、機能性成分の生合成・蓄積と UV-B 強度や照射時間等の照射条件との関係解明を行う必要があった。

2. 研究の目的

本研究では、植物体の上位の一部の葉の機能性成分だけでなく、植物体全体の葉の機能性成分濃度を増加させる UV-B 照射技術の開発を行うことを目的とする。本研究では、対象植物として機能性成分が豊富なシソ科の植物を選び、その中でもアカジソを主に用いて、アカジソの機能性成分であるロズマリニン酸(以下、RA)の濃度を増加させる照射技術の開発を行った。

3. 研究の方法

(1) UV-B 照射光源の光質、UV-B の照射時間の検討

異なる波長組成を持つ UV-B 光源を用いて、照射時間、照射強度の検討を行った。試験は人工気象室、温室を用いて行い、明期中、暗期中に照射時間を変えて UV-B 照射を行った。ロズマリニン酸濃度を HPLC により測定した。その他、葉の乾物重、色彩値を測定した。

(2) 下方からの UV-B 照射の検討

下方からの UV-B 照射が上方からの UV-B 照射と同様な RA 濃度の増加効果を得られるか確認を行った。UV-B 照射は、上方または下方から 6 W m^{-2} 、 12 W m^{-2} で照射を行った。また、葉の両側から 3 W m^{-2} または 6 W m^{-2} で照射を行う試験区も設け、片側から照射を行う場合との比較を行った。

(3) UV-B 照射のタイミングの検討

葉の重なる指標である葉面積指数(LAI)の大きい群落では、UV-B 照射をどの方向から行っても受光できない葉が生じてしまうことが課題としてあった。そこで、植物の生育段階ごとに UV-B 照射を複数回に分散して行う照射方法の検討を行った。

(4) 下方からの UV-B 照射を行うことによる、RA 増加効果の試算

(1) ~ (3) の結果を元に、上方からの照射を行う場合、と下方からの照射を加えた場合の植物体全体での RA 含有量の増加割合の試算を行った。

4. 研究成果

(1) UV-B 照射光源の光質、UV-B の照射時間の検討

適切な UV-B の照射強度は光源の種類により異なり、UV-C 領域に近い波長を多く含む光源の場合、RA 濃度を増加させる強度は少なくても済むものの、葉の退色や萎縮等の影響が大きいことが明らかとなった。RA 濃度はどの成熟段階の葉においても UV-B 照射による高濃度化が可能であることが示された。RA 濃度は明期中、暗期中、どちらの照射でも増加したが、明期中に照射した

方が、葉の退色は抑えられた。照射時間は光源の種類によって変わり、例えば、UV-C 領域に近い波長を多く含む光源であれば、暗期中の 3 時間で RA の増加効果が確認されたが、UV-A に近い領域を多く含む光源では、4 時間では効果が不安定であり、安定した効果を得るためには 8 時間以上の照射が必要になることが示唆された。以上より、UV-B 照射の際の照明設計に必要な基礎的な知見を得ることができた。RA 濃度は、葉の成熟段階によらず、UV-B 照射により増加可能であったことから、高濃度化に必要な UV-B 曝露量にて各葉位に照射することができれば、株全体の RA の高濃度化は可能であると見込まれた。

(2) 下方からの UV-B 照射の検討

UV-B の照射強度が 6 W m^{-2} の場合、葉の表側（向軸側）裏側（背軸側）のどちらからの照射であっても、UV-B 照射によって RA 濃度は増加することが明らかとなった。 12 W m^{-2} の場合は葉の表側からの照射の場合は、 6 W m^{-2} の照射時と同様な RA 濃度の増加効果が得られたものの、裏側から照射した場合は、増加効果が低くなった。したがって、葉の裏側への UV-B 照射は表側よりも照射強度が高過ぎると効果が抑制されてしまうことが明らかとなった。葉の両側から行った照射では、 3 W m^{-2} の場合は、葉の片側から 6 W m^{-2} で照射した場合と同様な RA 濃度の増加となった。 6 W m^{-2} の両側照射の場合も葉の片側から 6 W m^{-2} で照射した場合と同様な RA 濃度であった。UV-B 照射は、葉の表皮組織に含まれる RA 濃度を増加させると考えられ、葉の表側から照射の場合は葉の表側の表皮組織中の RA 濃度が、葉の裏側からの照射の場合は葉の裏側の表皮組織中の RA 濃度がそれぞれ独立に RA 濃度が高まると予想された。しかし、そうであれば、両側照射した場合の RA 濃度は、片側照射の 2 倍に増えても良いはずであるので、片側照射の場合も、葉の両側の RA 濃度が増加していることが示唆された。

(3) UV-B 照射のタイミングの検討

分散して照射を行う場合、UV-B 照射によって増加した RA が時間の経過と共に減少してしまうことが予想されたが、今回調査した範囲では RA 濃度が高く維持されることが確認でき、収穫前のタイミングだけでなく、LAI の増加に応じて UV-B を照射することで、それぞれの葉層の機能性成分濃度を高く維持できる可能性が示された。しかしながら、未成熟な段階で UV-B 照射を受けた葉の成熟後にもう一度 UV-B 照射を行うと RA 濃度が高くないことも明らかとなった。この理由として、未成熟な葉では UV-B 照射による RA の蓄積量が増えたとしても、葉が大きくなるに従いその効果が薄まってしまふことと、一度 UV-B 照射を受けた葉では機能性成分の生合成に関わる遺伝子発現が何らかの制御により抑制されてしまうことが考えられた。したがって、照射タイミングを分散する場合は、茎頂付近を避けて成熟葉にだけ照射を行えるように UV-B 照射の配光を調節する必要があると考えられた。加えて、栽培途中の植物に UV-B を照射すると、照射による葉の萎縮などの生理障害の発生によってその後の成長が抑制され、葉の収穫量が減少してしまうことが課題であったが、栽培に用いる光源の波長や UV-B 強度の調節によって、葉の収穫量は UV-B 非照射区と遜色のないレベルを維持できることが明らかとなった。

(4) 下方からの UV-B 照射を行うことによる、RA 増加効果の試算

上方からの UV-B 照射では上位の 2 節の葉の RA 濃度が無照射に比べ約 2.5 倍となり、3 節目以降の葉には効果が少ないことが明らかになっている。各節から出葉した葉の大きさが変わらないと仮定し試算すると、葉が 3 節から展開している植物体の株あたりの RA 含有量は無照射の 2 倍となる。実際に UV-B 照射を葉が 4 節ある植物体（ただし、試算の仮定と異なり、葉の大きさは下位の葉で小さい）に対して行ったところ、照射を行った植物体の RA 含有量は無照射の 2 倍以上になった。他方、試算では節数が増加するに従いその増加率は減少し、6 節ある植物体では 1.5 倍まで低下してしまう。しかし、(2) の成果より、葉の裏側から UV-B 照射を行っても、表側から照射するのと同様の RA の増加効果が確認されているため、上方からの照射と共に下方からの照射を行うことで、6 節の葉を持つ LAI の高い植物体でも 2 倍近い RA 含有量になると試算された。実際の栽培においては、UV-B 照射の有無によらず、節数の多い植物体の下位の葉は老化して商品価値を失うので、栽培条件にもよるが、6 節以上の節数を持つ植物体での照射条件の確立の必要性は低いと考えられる。以上より、UV-B 照射を植物体の上部、下部から行うことによって植物体あたりの RA 含有量を葉面積指数の高い群落でも 2 倍ほどに高めることができることが示された。これに加えて、(3) にて行った分散照射技術の確立ができれば、植物体あたりの RA 含有量はより大となることが予想されるが、分散照射による未熟葉の UV-B 照射への順化と考えられる RA 濃度の増加効果の打ち消しについては、そのメカニズムも含め未解明であり、今後の研究を通して照射条件の確立が求められる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Yoshida Hideo, Shimada Kanae, Hikosaka Shoko, Goto Eiji	4. 巻 8
2. 論文標題 Effect of UV-B Irradiation on Bioactive Compounds of Red Perilla (<i>Perilla frutescens</i> (L.) Britton) Cultivated in a Plant Factory with Artificial Light	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Horticulturae	6. 最初と最後の頁 725 ~ 725
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/horticulturae8080725	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yoshida Hideo, Nishikawa Tatsuru, Hikosaka Shoko, Goto Eiji	4. 巻 10
2. 論文標題 Effects of Nocturnal UV-B Irradiation on Growth, Flowering, and Phytochemical Concentration in Leaves of Greenhouse-Grown Red Perilla	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Plants	6. 最初と最後の頁 1252 ~ 1252
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/plants10061252	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yoshida H., Ishigami Y., Hikosaka S., Goto E.	4. 巻 1337
2. 論文標題 Changes in the levels of bioactive compounds in red perilla at various leaf positions and ages under different photosynthetic photon flux densities	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Acta Horticulturae	6. 最初と最後の頁 179 ~ 186
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.17660/actahortic.2022.1337.24	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 吉田英生・彦坂晶子・後藤英司
2. 発表標題 UV-B照射時の光質がアカジソの生育に及ぼす影響
3. 学会等名 日本農業気象学会2023年全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hideo Yoshida, Akari Kojima, Hikosaka Shoko, Eiji Goto
2. 発表標題 Effect of upward and downward UV-B irradiation on bioactive compounds concentration in red perilla leaves
3. 学会等名 The XX CIGR World Congress 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉田英生・角晴香・彦坂晶子・後藤英司
2. 発表標題 UV強度および PPFdがレモンバームの生育および生理活性物質濃度に及ぼす影響
3. 学会等名 日本農業気象学会2021年全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hideo Yoshida, Hikosaka Shoko, Eiji Goto
2. 発表標題 Changes in bioactive compounds content at various leaf positions and leaf ages in red perilla under different PPFds
3. 学会等名 IX International Symposium on Light in Horticulture (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------