

青色および赤色蛍光ランプの光質が セントジョーンズワート (*Hypericum perforatum* L.) の生長に及ぼす影響

Effect of Light Quality of Blue and Red Fluorescent Lamps
on Growth of St. John's Wort (*Hypericum perforatum* L.)

西村徹郎, Sayed M. A. Zobayed, 古在豊樹, 後藤英司

Tetsuro NISHIMURA, Sayed M. A. ZOBAYED, Toyoki KOZAI, Eiji GOTO

千葉大学園芸学部 〒271-8510 千葉県松戸市松戸648

Faculty of Horticulture, Chiba University, 648 Matsudo, Chiba 271-8510, Japan

ABSTRACT

St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.) is a medicinal plant widely used for treatments of neurological disorders, depression, etc. Recently, studies have reported the production of St. John's wort plants under controlled environments with artificial light as a promising technique to standardize and enhance the growth and medicinal contents. The present study investigated the effect of the light quality of fluorescent lamps on the growth of St. John's wort plants. The seedlings with 6-8 unfolded leaves were grown for 28 days under blue and red lamps in growth chambers under controlled environments. Dry weight of plants grown under the red lamps was greater compared with that of plants grown under the blue lamps. The CO₂ absorption rate of plants grown under the red lamps was similar to that under the blue lamps. Absorption of red light (600-700 nm) by leaves was lower than that of blue light (400-500 nm). Leaf area, number of unfolded leaves, number of branches from the main stem, and number of nodes of plants grown under the red lamps were greater than those of plants grown under the blue lamps. These findings demonstrated that the difference in dry weight of plants grown under these conditions was not due to the spectral characteristic or photosynthetic ability of leaves but due to the amount of light actually absorbed by the leaves. In conclusion, controlling the light quality can be an important technique for enhancing production of St. John's wort plants.

Keywords: Artificial light, controlled environment, *Hypericum perforatum*, medicinal plant, photomorphogenesis

緒言

世界保健機関(WHO)によると、世界人口の約80%が伝統的な植物製剤を一次医療に利用している。薬用植物および植物製剤の需要は開発途上国、先進国ともに増加しており、

その国際貿易が盛んになっている(Saxena, 2000)。

しかし、伝統的に利用されている薬用植物の多くは野生であり、栽培方法はほとんど確立されていない(Kohda, 2001)。また、野生の薬用植物の乱獲により、その採取が困難と

なることが危惧されている (Ministry of Health, Labour and Welfare, 2002)。したがって、薬用植物の栽培技術が確立されれば、現在および将来における植物製剤の需要を満たすことが可能となり、野生の薬用植物の乱獲緩和にも役立つと考えられている (Leaman, 2001)。

薬用植物の自然条件下での栽培には、害虫、バクテリア、菌類および環境汚染物質が植物の薬効成分濃度に影響する (Murch *et al.*, 2000) などの問題点がある。他方、環境制御が可能な施設栽培は、生産性の向上、寒冷地や不毛地などの不適地での栽培を可能とし、減農薬などの点でも導入が期待されている (Kohda, 2001; Zobayed *et al.*, 2005a)。

薬用植物の一つに、欧米を中心に主に抗鬱薬として利用されているセントジョーンズワートがある。その1998年における世界の市場取引額は、5億7千万ドルに達している (Gruenwald, 1999)。

人工光を用いる制御環境下でのセントジョーンズワートの栽培は、温室を用いた栽培に比べて、薬効成分濃度を高め、生長を促す (Zobayed and Saxena, 2004) ことが報告されている。このような制御環境において、薬効成分濃度を高め、かつ、生長を促す最適な環境条件を調査することは重要である。現在までに、人工光を用いる制御環境下での栽培において気温 (Couceiro *et al.*, 2005; Zobayed *et al.*, 2005b)、CO₂濃度および光強度 (Mosaleeyanon *et al.*, 2005) などの環境要因がセントジョーンズワートの薬効成分濃度および生長に影響を及ぼすことが明らかになっている。しかし、光質が薬効成分濃度および生長に及ぼす影響について調査した例は見当たらない。

薬用植物であるカンゾウ (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch.) を赤色蛍光ランプ下で育成すると、青色および白色蛍光ランプ下に比べて、薬効成分であるグリシルリジンの濃度が高まり、生長が促進される (Afreeen *et al.*, 2005) ことが報告されている。そのため、セントジョーンズワートにおいても、適切な光質を持つ光源を採用することにより生産性が

向上する可能性がある。

しかし、光質が生育に及ぼす影響は植物種により異なる (Goto, 2003)。そこで、本研究では閉鎖型植物生産システムなどにおいて、光質制御によりセントジョーンズワートの生長を増大させる技術を開発するための基礎的知見を得ることを目的とし、単色の蛍光ランプを用いて青色光および赤色光の効果を調べた。

材料および方法

1. 供試材料および育成条件

供試植物は、セントジョーンズワート (*Hypericum perforatum* L. cv. Standard, 株ムラカミシード) とした。72穴のセルトレイ (プラグトレイ72角、タキイ種苗株) に培養土 (ナブラ養土、ヤンマー農機株) を充填し、数粒ずつ播種した。播種後14日目に、培養土を充填した口径6cmのポリポットに1個体ずつ移植し、21日目まで育成した個体 (乾物重: 約9.7mg、展開葉数: 6-8枚) を材料とした。育成は、閉鎖型植物生産施設内で行い、環境条件は気温28/26℃ (明期/暗期)、相対湿度70%、CO₂濃度1500 μmol mol⁻¹、明期16h d⁻¹、光合成有効光量子束 (以下、PPF) 300 μmol m⁻² s⁻¹ とした。光源には、3波長型白色蛍光ランプ (FHF32-EX-N-H, 松下電器産業株) を用いた。

2. 栽培試験

試験区は、青色光処理 (以下、B区) および赤色光処理 (以下、R区) の2区とした。試験には、グロースチャンバ (MIR-553, 三洋電機バイオメディカ株) を使用した。B区の光源には、青色蛍光ランプ (FPL55EB, 松下電工株)、R区には赤色蛍光ランプ (FPL55ER, 松下電工株) をそれぞれ用い、ランプ直下5cmの位置にB区は400nm以下の波長域をカットするフィルタ (L-39, 株ケンコー) を、R区は500nm以下の波長域をカットするフィルタ (L-52, 株ケンコー) を取り付けた。光質処理に用いた光源の波長特性をTable 1に示す。PPFに対する青色光および赤色光の割合は、B区で83.8%および2.4%、R区で0.4%および82.5%である。また、B区およびR区のR/FR比 (600-700nmと

と700-800nmの光量子束比)の値は異なるが、R/FR比に対するフィトクロム応答の指標であるフィトクロム光平衡(Pfr/P)の値の差は0.1程度である。グロースチャンバ内の環境条件は気温27/24℃(明期/暗期)、CO₂濃度1000μmol mol⁻¹、明期16 h d⁻¹、生長点部分のPPFを250μmol m⁻² s⁻¹とした。試験区間で草丈が異なると光強度の影響が異なってしまうため、光源から生長点部分までの距離を一定にした。また、株ごとのPPFの値のばらつきを小さくするため、供試材料の配置を毎日換えた。灌水は毎日行い、ポリポット底面よりEC1.2mS m⁻¹およびpH6.0に調整した液肥(大塚ハウス肥料A処方、大塚化学株)を与えた。試験は2回行った。試験開始後7、14、21および28日目に各試験区4個体の乾物重、展開葉数、主茎からの分枝数、葉面積、茎長および節数を測定した。主茎からの分枝は、側枝の第1展開葉の基部から主茎までの長さが1mmに達したものと定義した。比葉面積は、葉面積と葉の乾物重の値から算定した。試験区間の平均値間の差は、t検定を用いて5%レベルで検定した。

3. 葉の分光特性およびCO₂吸収速度の測定

葉の分光特性(吸収率、透過率および反射率)を、青色赤色混合光下で播種後68日間育成した個体を材料として、積分球装置(ISV-469、日本分光株)を取り付けた分光光度計(V-550、日本分光株)を用いて測定した。この反復数は8とした。青色赤色混合光は、青色蛍光ランプおよび赤色蛍光ランプを同数組み合わせることで作成した。

葉の乾物重あたりのCO₂吸収速度の測定には、閉鎖式同化箱法を用いた。青色赤色混合光下で播種後49日目まで育成した個体をB区およびR区の条件下において測定した。供試個体を入れたグロースチャンバ内のCO₂減少速度から、供試個体を除いた時のグロースチャバ内のCO₂減少速度を減じて、植物によるCO₂減少速度を求めた。それを葉の乾物重で除してCO₂吸収速度を算出した。この反復数は5とした。

Table 1: Spectral characteristics of light sources with sharp cut filters.

	Blue fluorescent lamp	Red fluorescent lamp
Photon flux (μmol m ⁻² s ⁻¹)		
300-400 nm (UV)	0.8	0.2
400-500 nm (B)	209.6	1.0
500-600 nm (G)	34.4	42.8
600-700 nm (R)	6.0	206.2
700-800 nm (FR)	6.4	27.3
R/FR (600-700nm/ 700-800nm)	0.9	7.5
Phytochrome photoequilibrium*	0.7	0.8

*The value of phytochrome photoequilibrium was calculated using the equation proposed by Hanyu *et al.* (1996).

結果および考察

R区の葉および茎の乾物重は、試験開始後7日目以降、B区に比べてそれぞれ有意に大となった(Fig. 1)。R区の根の乾物重は、試験開始後14日目以降B区に比べて有意に大となった。試験開始後7、14、21および28日目において、R区の葉、茎および根の乾物重はそれぞれB区のその1.3-1.6倍、1.3-1.9倍、および1.2-1.7倍となった。R区の総乾物重は、B区に比べて1.3-1.7倍になった。これらの結果は、赤色光に富んだ光質下で育成したレタスおよびハツカダイコン(Inada and Yabumoto, 1989)、ダイズ、ソルガムおよび白クローバー(Warrington and Mitchell, 1976)、トマト、キクおよびレタス(Mortensen and Stromme, 1987)の生長は、青色光に富んだ光質下に比べて促進されるという従来の報告と一致した。

次に、異なる光質下に移植して育成すると、R区の乾物重がB区に比べて大きくなる理由が、光合成能力の差によるものなのか、光形態形成の違いによるものなのかを検討した。

葉の分光特性をFig. 2に示した。400-500nmの青色光と500-600nmの赤色光を多量に吸収し、500-600nmの緑色光の吸収は相対的に少ないという一般的な緑色葉の分光特性とほぼ同様の傾向がみられた。多くの作物の550nm付近の透過率は約20%であるのに対して、セントジョーンズワートのそれは約40%と高かった。これは、葉が薄く淡緑色であり、また葉に色素のない明点が多数存在するた

めと考えられる。葉の光の吸収率は、青色光域(400-500nm)に比べて赤色光域(600-700nm)で低かった。R区のCO₂吸収速度はB区と有意差がなかった(Fig. 3)。以上のことから、個葉レベルで見ると、R区がB区に比べて光を多く吸収し効率よく光合成を行っていたとはいえないため、個葉の光合成能力の差異が乾物重の差を引き起こしたのではないことが確かめられた。

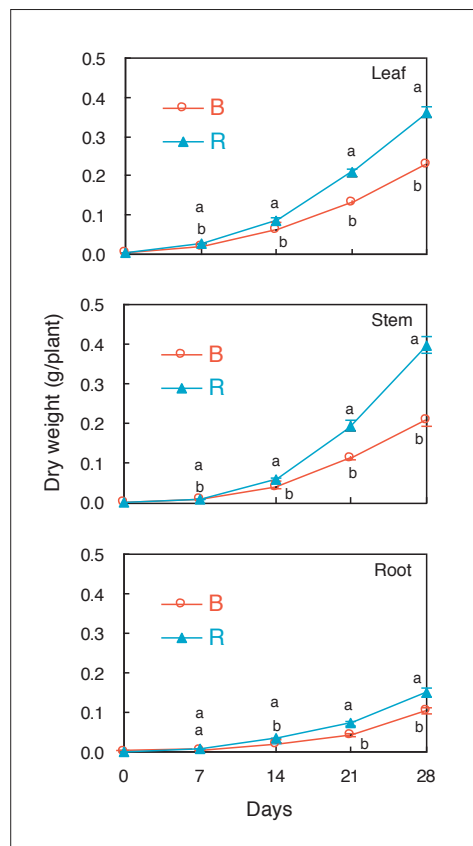


Fig.1 : Leaf, stem and root dry weights of St. John's wort grown under blue and red lights. Different letters indicate significant differences between the treatments at P<0.05 as determined by T-test. Each symbol represents mean±SE of 8 replicates.

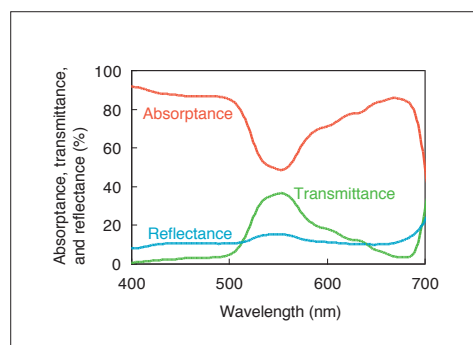


Fig.2 : Spectral characteristics of St. John's wort leaves. The data are expressed as the average value of 8 replicates.

R区の葉面積は、試験開始後7日目以降B区に比べて有意に大となった(Fig. 4)。比葉面積は、試験開始後7から21日目まで試験区間に有意差はなく、播種後28日目にB区に比べてR区で有意に大となった(Fig. 5)。言い換えると、播種後7から21日目までR区とB区の葉の厚さに有意差がなかった。

試験開始後28日目の展開葉数、主茎からの分枝数、茎長および主茎の節数は、B区に比べ

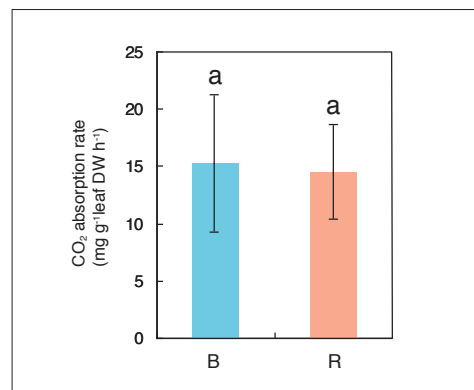


Fig.3 : CO₂ absorption rate of St. John's wort plants grown under blue and red lights. Different letters indicate significant differences between the treatments at P<0.05 as determined by T-test. Each bar represents mean ±SE of 5 replicates.

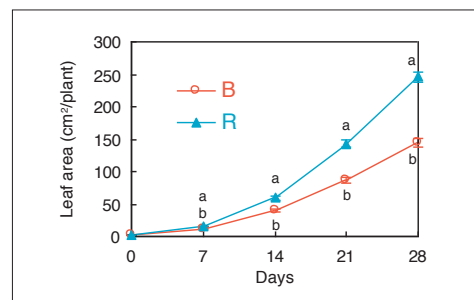


Fig.4 : Increases in the leaf area of St. John's wort over time under blue and red lights. Different letters indicate significant differences between the treatments at P<0.05 as determined by T-test. Each symbol represents mean ±SE of 8 replicates.

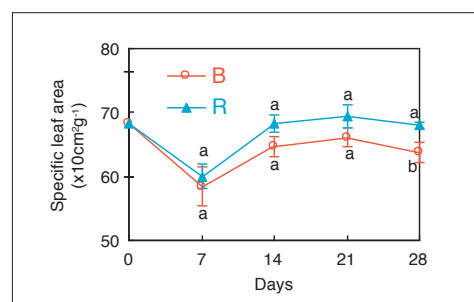


Fig.5 : Specific leaf area of St. John's wort grown under blue and red lights. Different letters indicate significant differences between the treatments at P<0.05 as determined by T-test. Each symbol represents mean ±SE of 8 replicates.

R区で有意に大となった(Fig. 6)。これらの経日変化は乾物重のそれとほぼ同様の傾向を示した(データ未提示)。セントジョーンズワートは1節あたり2枚出葉し、それぞれの葉腋から1本の側枝が形成され伸長する。R区の茎長はB区に比べて約8cm長くなった。この結果は、インゲンマメにおいて、PPFに対する青色光の割合が高くなると茎長は小となる(Hanyu and Shoji, 2000)という報告と一致した。R区の分枝数がB区に比べて約10多くなったのは、R区の節数がB区に比べて約3多かったためと考えられる。また、R区の展開葉数はB区に比べて約175枚多いことから、R区はB区に比べて側枝の伸長が促進され、側枝の節数が増

加し、展開葉数が増加したと考えられる。

以上より、R区の乾物重がB区に比べて大となったのは、R区で個葉の光合成能力が高いためではなく、光形態形成の違いにより株あたりの受光量が増加したためであると考えられる。

本研究において、青色光下に比べて赤色光下でセントジョーンズワートの生長が大となることが示された。セントジョーンズワートにおいても、閉鎖型植物生産システムなどでの栽培において、光源の光質を変えることで薬効成分の生産性を向上させることが可能であると考えられる。今後は光質がセントジョーンズワートの薬効成分濃度に及ぼす影響についても調査し、報告する予定である。

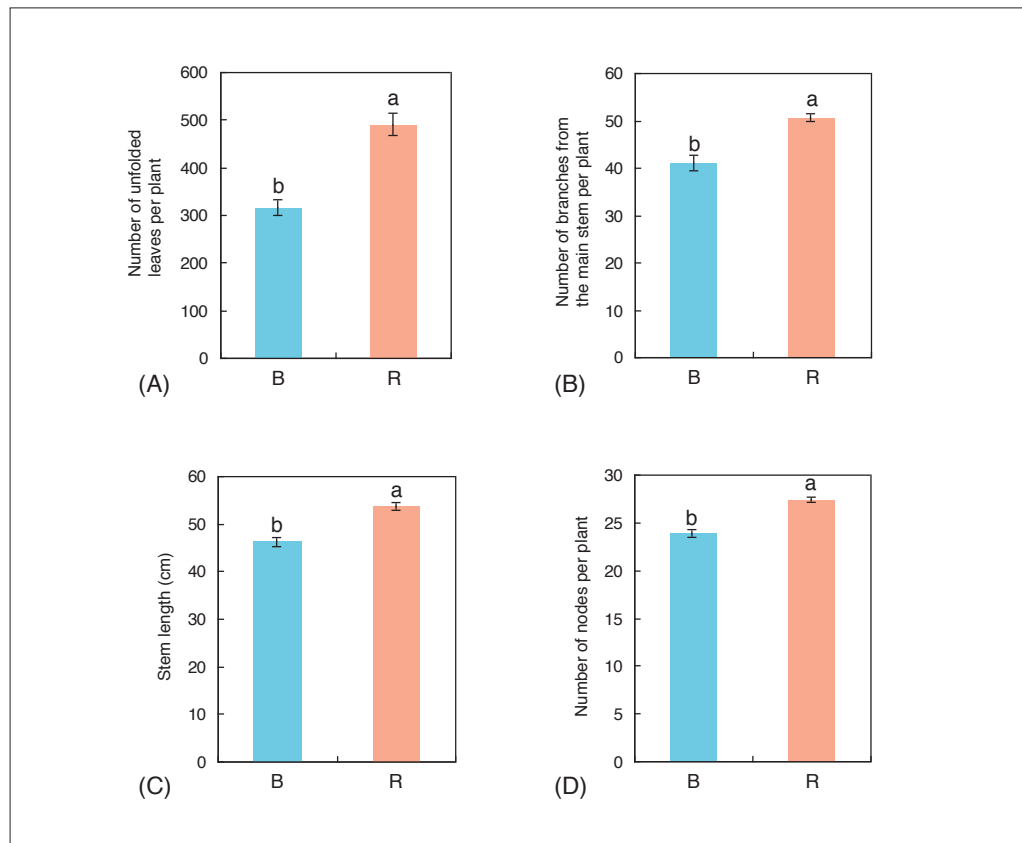


Fig.6 : Number of unfolded leaves per plant (A), number of branches for the main stem per plant (B), stem length (C) and number of nodes (D) of St. John's wort plants grown for 28 days under blue and red lights. Different letters indicate significant differences between the treatments at $P < 0.05$ as determined by T-test. Each bar represents mean \pm SE of 8 replicates.

引用文献

- Afreen, F., Zobayed, S. M. A., Kozai, T. 2005. Spectral quality and UV-B stress stimulate glycyrrhizin concentration of *Glycyrrhiza uralensis* in hydroponic and pot system. *Plant Physiol. Biochem.* 43: 1074-1081.
- Couceiro, M. A., Afreen, F., Zobayed, S. M. A., Kozai, T. 2005. Variation in concentrations of major bioactive compounds of St. John's wort: Effects of harvesting time, temperature and germplasm. *Plant Sci.* 170: 128-134.
- Goto, E. 2003. Effects of light quality on growth of crop plants under artificial lighting. *Environ. Control in Biol.* 41: 121-132.
- Gruenwald, J. 1999. The world market for hypericum products. *Nutraceuticals World*, May/June: 22-25.
- Hanyu, H., Shoji, K., Ji, S. (羽生 広道, 庄子 和博, 嵯 世宝) 1996. Evaluation of light quality variation through supplement of far-red light and the difference in the effects on growth of a pole-type and a bush-type kidney bean, *Phaseolus vulgaris* L. (In Japanese) (遠赤色光の付加による光質変化の評価と蔓性および蔓なしインゲンマメの生長変化). *Environ. Control in Biol.* 34(4): 267-275.
- Hanyu, H., Shoji, K. 2000. Effects of blue light and red light on kidney bean plants grown under combined radiation from narrow-band light sources. *Environ. Control in Biol.* 38(1): 13-24.
- Inada, K., Yabumoto, Y. 1989. Effects of light quality, daylength and periodic temperature variation on the growth of lettuce and radish plants. *Japan. Jour. Crop Sci.* 58: 689-694.
- Kohda, H. (神田 博史). 2001. Factory production of medicinal plants. (In Japanese) (薬草の工場生産). In: *Plant factory system (植物工場システム)*, ed. by Takatsujii, M. CMC Publishing CO., LTD., Tokyo, 87-96.
- Leaman, D. J. 2001. Conservation, trade, sustainability and exploitation of medicinal plant species. In: *Development of plant-based medicines: conservation, efficacy and safety*, ed. by Saxena, P. K. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 1-15.
- Ministry of Health, Labour and Welfare (厚生労働省). 2002. Discussion about utilization and development of medicinal plant (midterm summary) (in Japanese) (薬用植物の利用開発等に関する検討について(中間まとめ)). (<http://www.mhlw.go.jp/shingi/2002/03/s0312-1.html>).
- Mosaleeyanon, K., Zobayed, S. M. A., Afreen, F., Kozai, T. 2005. Relationships between net photosynthetic rate and secondary metabolite contents in St. John's wort. *Plant Sci.* 169: 523-531.
- Mortensen, L. M. and Stromme, E. 1987. Effects of light quality on some greenhouse crops. *Scientia Hort.* 33: 27-36.
- Murch, S. J., KrishnaRaj, S., Saxena, P. K. 2000. Phytopharmaceuticals: problems, limitations and solutions. *Sci. Rev. Altern. Med.* 4: 33-38.
- Saxena, P. K. 2000. Preface. *Plant Cell Tiss. Organ Cult.* 62: 167.
- Warrington, I. J. and Mitchell, K. J. 1976. The influence of blue- and red-biased light spectra on the growth and development of plants. *Agric. Meteorol.* 16: 247-262.
- Zobayed, S. M. A. and Saxena, P. K. 2004. Production of St. John's wort plants under controlled environment for maximizing biomass and secondary metabolites. *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant* 40: 115-118.
- Zobayed, S. M. A., Afreen, F., Kozai, T. 2005a. Necessity and production of medicinal plants under controlled environments. *Environ. Control Biol.*, 43(4): 243-252.
- Zobayed, S. M. A., Afreen, F., Kozai, T. 2005b. Temperature stress can alter the photosynthetic efficiency and secondary metabolite concentrations in St. John's wort. *Plant Physiol. Biochem.* 43: 977-984.

人工環境下における 出穂後の限界日長より長い明期が イネの生育に及ぼす影響

Effect of Light Period Longer than Critical Day Length after
Heading on the Growth and Development of Rice under
a Controlled Environment

丸山真一, 石神靖弘, 後藤英司

Shinichi MARUYAMA, Yasuhiro ISHIGAMI, Eiji GOTO

千葉大学大学院園芸学研究科 〒271-8510 千葉県松戸市松戸648
Graduate School of Horticulture, Chiba University, 648 Matsudo, Chiba 271-8510, Japan

ABSTRACT

Rice varieties have been genetically modified to produce pharmaceutical proteins in seeds. Such production requires pharmaceutical proteins to be expressed in high concentrations and to remain stable. This can be achieved by controlling the growth environment by using a closed plant production system. In order to produce large amounts of pharmaceutical proteins, one must determine the environmental condition required to increase the growth of plants or the concentration of pharmaceutical proteins in seeds. The present study focused on determining the conditions for optimizing the growth of plants. Rice is a short-day plant. When the light period is constantly controlled such that it becomes longer than the critical day length, flower formation is delayed and growth period is prolonged, with no effect on the promotion of photosynthesis. Therefore, if the light period is regulated to exceed the critical day length only after the heading stage, enhanced photosynthesis would be achieved without the inhibition of flowering. The present study investigated the effect of light period on the growth and development of rice after heading. Rice plants at 65 d after germination—just after heading—were grown in growth chambers for 46 d under 3 different light periods (12, 16, and 20 h d⁻¹) under controlled environments. The number of tillers observed when the plants were grown under 16 and 20 h light d⁻¹ was greater than that observed when the plants were grown under 12 h light d⁻¹, but the highest number of ears were observed when the plants were grown under 12 h light d⁻¹. The shoot dry weight of plants grown under 12 and 16 h light d⁻¹ was greater than that of plants grown under 20 h light d⁻¹. The ratio of seed dry weight to shoot dry weight and the number of ripe seeds also increased when the plants were grown under a shorter light period. These findings suggested that when the light period became increasingly longer than the critical day length, the rice plants showed a tendency to promote vegetative growth over reproductive growth even after the heading stage. In conclusion, after the heading stage, a light period shorter than the critical day length is suitable for the growth and development of rice.

Keywords: artificial light, controlled environment, hydroponics, seed production

緒言

近年、医療用原材料物質を可食部に蓄積する遺伝子組換え植物による医薬品生産技術が開発されている。植物を用いた医療用物質生産は、低コスト性、拡大生産性、保存性、経口利用等の利点がある¹⁾。

粳にコレラワクチンタンパクを蓄積する遺伝子組換えイネが開発されている²⁾、医薬品という性質上、医療用原材料物質が安定的に高濃度で蓄積することが求められる。また、遺伝子組換え作物の栽培は遺伝子拡散による生態系に及ぼす影響を考慮する必要がある。これらの課題は、外界から遮断した人工環境で高度な環境制御ができる閉鎖型植物生産システムを用いることで解決できる¹⁾。医療用原材料物質を大量に生産するためには収量を増加させる、または高濃度に粳に医療用原材料物質を蓄積させる必要がある。しかし、閉鎖型植物生産システムでのイネの商業的な栽培実績は少なく、有効な環境条件および栽培方法は明らかになっていない。本研究では収量の増加に焦点を当て、成長が促進する環境条件を明らかにすることを目的とした。

閉鎖型植物生産システムの長所の1つとして自然界にない環境を創造できる点が挙げられる。たとえば、明期を長くすることによって積算光量を増加させ、成長の促進が期待できる³⁾。しかし、イネは短日植物であるため、明期が限界日長よりも長くなると出穂が遅延する。イネの発芽から出穂までの生育期間は、発芽直後の日長に反応しない基本栄養成長相、長日に反応して花成を抑制させる、あるいは短日に反応して花成を促進させる感光相、および幼穂分化から出穂までの生殖成長相に分けられる⁴⁾。品種によっては生殖成長相にも日長感受性が存在するものがある。本研究で用いる品種(日本晴)の日長感受性は、生殖成長相の減数分裂期まで存在する⁵⁾。また、粳に蓄積される乾物の7割は出穂以降の光合成産物に由来する⁶⁾。以上より、出穂後であれば限界日長よりも長い明期にしても、日長感受性がないため花成は明期の影響を受けず、積算光量の増加により光合成量が増加し、収量増加

ならびに栽培期間の短縮が期待できると考えた。そこで本研究では、人工環境下において出穂後の限界日長よりも長い明期がイネの生育に及ぼす影響を調査した。

材料および方法

供試材料

供試植物は、非組換えイネ(*Oryza sativa* L. 品種:日本晴)とした。堀江・中川⁷⁾は日本晴の限界日長を15.6hとしている。種子をベンレート水和剤(住化タケダ園芸(株))1000倍液に浸して気温30℃で24h殺菌後、水道水を張ったシャーレに入れかえ、気温30℃で24hインキュベートし催芽処理した。27×20cmの木枠に網戸用ネットを張り、その上に発芽した種子を配置した。それをpH5.0-5.5に調節した水道水を満たしたプラスチックコンテナ(内寸310×220×95mm)に浮かべた。明期16h d⁻¹、気温23℃、培地表面上の光合成有効光量子束(以下、PPF)250 μmol m⁻² s⁻¹、CO₂濃度1500 μmol mol⁻¹に設定した千葉大学園芸学部内の閉鎖型植物生産施設で20日間育成した。光源には、3波長型白色蛍光ランプ(FHF32-EX-N-H、松下電器産業(株))を用い、培養液は7日ごとに全量交換した。

その後、縦180mm、横320mmに切断した水耕栽培用パネル(M式水耕用パネル、(株)エム式水耕研究所)に1穴に1個体ずつ移植した。栽植密度は413個体/m²とした。培養液を満たしたプラスチックコンテナ(内寸335×195×225mm)に移植したパネルを浮かべた。移植したイネは明期12h d⁻¹、気温(明期/暗期)28℃/24℃、群落面上のPPF 600 μmol m⁻² s⁻¹、CO₂濃度1000 μmol mol⁻¹に設定したグロースチャンバ(MIR-553、三洋電機バイオメディカ(株))で45日間育成し、主茎が出穂した個体(播種後65日目、草丈76cm、個体当たりの茎数3.9、地上部乾物重1.7g)を供試材料とした。光源には55W白色蛍光ランプ(FPL55EX-L、岩崎電機(株))を用いた。培養液は前⁸⁾の培養液組成(Table 1)を標準濃度とした。培養液濃度管理

は前³⁾の方法に従い、移植時の培養液は標準濃度の1/4倍濃度とし、移植後7日ごとに標準濃度の1/2、3/4倍、21日目以降は標準濃度とした。また培養液は7日ごとに全量交換した。

Table 1: Composition of the standard nutrient solution.

Element	Chemical compound	Element concentration (mg/L)
N	NH ₄ NO ₃	42.0
P	NaH ₂ PO ₄ · 2H ₂ O	27.9
K, S	K ₂ SO ₄	35.1, 24.8
Ca	CaCl ₂ · 2H ₂ O	18.0
Mg	MgCl ₂ · 6H ₂ O	22.2
Fe	Fe-EDTA	3.8

栽培試験

試験区は明期12、16および20h d⁻¹の3区とした。光源としてセラミックメタルハライドランプ(MT150FCEH-WW/BUD、岩崎電機(株))を設置したグロースチャンバ(コイトロン3HM-MLA1型、小糸工業(株))内に栽植密度を153個体/m²にしたコンテナを移動した。グロースチャンバ内の環境条件は気温(明期/暗期)28℃/24℃、群落面上のPPF 800 μmol m⁻² s⁻¹、CO₂濃度1000 μmol mol⁻¹とした。培養液濃度管理は前³⁾の方法に従い、試験開始時の培養液は標準濃度の1/2倍とし、試験開始後7日目に1/4倍、14日目以降は水道水とした。培養液管理は7日を1サイクルとし、4日目に培養液を追加し、7日目に全量交換した。

試験開始後32、39および46日目に各試験区10個体の茎数、穂数、地上部・稔実籾乾物重、稔実籾数および不稔籾数を測定し、籾/地上部比(稔実籾乾物重/地上部乾物重)を算定した。試験区の平均値間の差は、LSD法を用いて5%レベルで検定した。

結果および考察

出穂後32~46日目の個体当たりの茎数は明期16および20hで大となったが、穂数は12hで大となり(Fig. 1AおよびB)、出穂後

46日目の有効茎歩合は12、16および20hそれぞれ72.7、30.8および23.2%となり、12hで大となった。出穂後46日目の12、16および20hの穂数はそれぞれ、8.9、4.5および3.8であった。試験開始時の茎数は3.9であったため、12hは出穂後に発生した分けつも穂をつけたが16および20hは発生した分けつはほとんど穂をつけなかったことを示している。以上より、出穂後に発生した分けつには日長感性が存在したと考えられる。各明期の出穂後32日目以降の茎数および穂数は経日変化が見られなかった。出穂後14日目までは培養液に生育に必要な栄養素が存在するため光合成が旺盛に行われ、分けつが増加したと考えられる。出穂後32日目以降は培養液が水道水になってから18日以上経過しており、長日条件である16および20hでも培養液中の栄養素の枯渇により生殖成長が優先され、分けつが増加しなかったと考えられる。また、生殖成長が優先され始めるのが遅かったこと、またそのときの培養液中の栄養素が枯渇していたことから、出穂後32~46日目の16および20hの穂数が増加しなかったと考えられる。

出穂後32~46日目の個体当たりの地上部乾物重は12および16hで大となる傾向があった(Fig. 2A)。各明期の出穂後32日目以

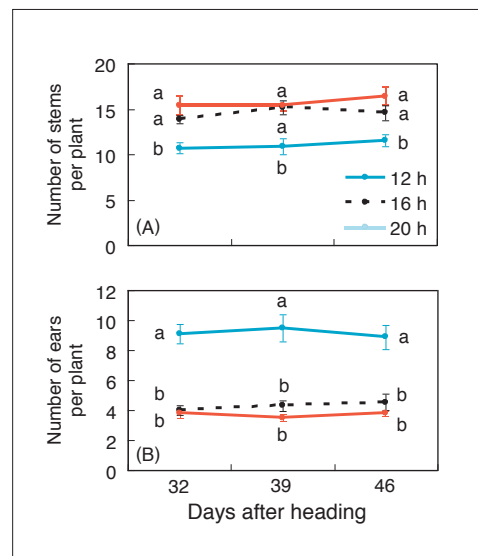


Fig. 1 : Number of tillers (A) and ears (B) of rice plants at 32, 39, and 46 d after heading. Different letters indicate treatments that were significantly different based on the LSD test (P < 0.05). Each symbol represents mean ± SE of 10 plants.

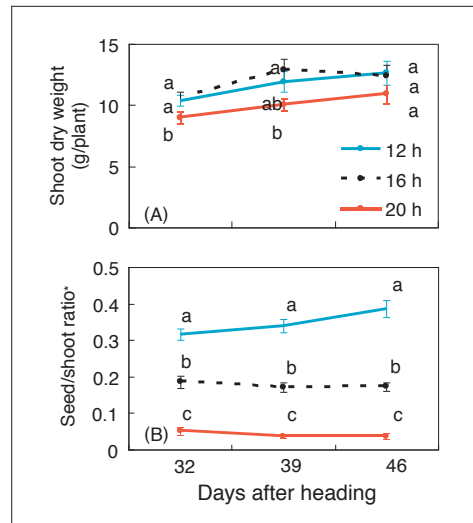


Fig.2 : Shoot dry weight (A) and seed/shoot ratio (B) of rice plants at 32, 39, and 46 d after heading. *The ratio of seed dry weight to shoot dry weight. Different letters indicate treatments that were significantly different based on the LSD test ($P < 0.05$). Each symbol represents mean \pm SE of 10 plants.

降の地上部乾物重は経日的に増加する傾向があり、各明期の増加量は同程度であった、これは培養液中の栄養素が枯渇しており、各試験区の光合成量が同程度であったためと考えられる。したがって、出穂後32~46日目の各試験区の地上部乾物重の大小関係は32日目以前に決定され、光合成が旺盛に行われていた出穂後14日目までの光合成量の依存が大きいと考えられる。積算PPFは明期が長いほど大であったにもかかわらず、地上部乾物重は12hに比べ16hで同程度、20hで小となったことから、出穂後14日目までの明期中の光合成速度が明期が長いほど低下したと推測される。イネの葉身に光合成産物が蓄積すると光合成速度が低下する⁹⁾ことから、本実験では明期が長いほど葉に光合成産物が蓄積し、光合成速度が低下した可能性がある。

出穂後32~46日目の籾/地上部比は、12hで大、20hで小となった(Fig. 2B)。これは地上部乾物重が3試験区で同程度であったにもかかわらず、個体あたりの稔実籾数が12hで大、20hで小となった(Fig. 3)ためであり、光合成産物の部位別の分配割合が明期によって大きく異なることを示している。整粒歩合も12、16および20hそれぞれ72.7、63.9および14.5%で12hで大、20hで小となっており、こ

れらのことから明期が長くなるほど光合成産物の籾への転流が減少し、生殖成長より栄養成長が優先されることを示している。出穂後32日目以降において、12hは穂数が増加しておらず、籾が増加しなかった。しかし、籾/地上部比が経日的に増加しており、他の器官から籾への転流が進んでいると考えられる。一方、16および20hは地上部乾物重が経日的に増加しているが、茎数および籾/地上部比は増加していないことから、各分げつの発達に光合成産物が使用されたと考えられる。

本研究では自然界にない明期を含めた12、16および20hの3水準の明期がイネの生育に及ぼす影響を調査した結果、出穂後も明期が限界日長より長くなるほど生殖成長より栄養成長が優先されるため、収量は増加しないこと、また、明期が短いほど稔実籾数が増加することが示された。本研究では12hで有効茎数歩合および整粒歩合が大となり、収量が最も大になった。12hよりも短い明期にすることで稔実籾数が増加する可能性があるが、同時に光合成量が減少することにより、稔実籾数が減少する可能性もある。今後は12hよりも短い明期が出穂後のイネの生育に及ぼす影響を調査し、出穂後の最適な明期を見出したい。

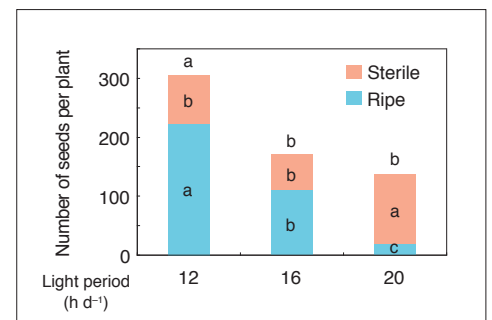


Fig.3 : Number of ripe and sterile seeds of rice plants at 46 d after heading. Different letters indicate treatments that were significantly different based on the LSD test ($P < 0.05$). Each bar represents mean of 10 plants.

摘要

人工環境下において、出穂後に3水準の明期(12、16および20h d⁻¹)でイネ(*Oryza sativa* L. cv. *Nipponbare*)を育成して、成長量を調査した。

イネの限界日長よりも長い明期で莖数は増加したが、穂数は減少した。また、地上部乾物重に対する稔実籾の乾物重の割合および稔実籾数は明期が短くなるほど増加した。これらの結果から明期が長くなるほど栄養成長である分けつ増加に光合成産物が利用され、穂および稔実籾の形成が抑制されることが示された。地上部乾物重は20hで減少し、出穂後は明期を延長しても光合成量が増加しないことが示された。

以上より、出穂後でも明期が限界日長より長くなるほど生殖成長より栄養成長が優先されること、また、明期が短いほど稔実籾数が増加することが示された。

引用文献

- 1) Yasuno R, Matsumura K. Plant factory for GM plant (in Japanese). *Bio Industry* 24(2): 92-99. 2007.
- 2) Nochi T, Takagi H, Yuki Y, Yang L, Masumura T, Mejima M, Nakanishi U, Matsumura A, Uozumi A, Hiroi T, Morita S, Tanaka K, Takaiwa F, Kiyono H. Rice-based mucosal vaccine as a global strategy for cold-chain- and needle-free vaccination. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 104(26): 10986-10991. 2007.
- 3) Sato K. Growth responses of rice plant to environmental conditions. III. The effect of photoperiod and temperature on the growth and chemical composition (in Japanese). *Japan. Jour. Crop Sci.* 43(3): 402-409. 1974.
- 4) Vergara BS, Chang TT. The flowering response of the rice plant to photoperiod. 4th ed. IRRI, Manila. 1-61. 1985.
- 5) 中川博視, 堀江武. イネの発育過程のモデル化と予測に関する研究(6). 栄養生長相と生殖生長相の日長応性の品種間差異の実験的解析. *日本作物学会紀事.* 58(別号1): 20-21. 1989.
- 6) Cock JH, Yoshida S. Accumulation of ¹⁴C-labelled carbohydrate before flowering and its subsequent redistribution and respiration in the rice plant. *Japan. Jour. Crop Sci.* 41: 226-234. 1972.
- 7) Horie T, Nakagawa H. Modeling and prediction of developmental process in rice (in Japanese). *Japan. Jour. Crop Sci.* 59(4): 687-695. 1990.
- 8) Mae T. Laboratory-scale culture of rice (in Japanese). *Plant Cell Technology* 5(3): 63-67. 1993.
- 9) Weng J, Chen C. Effect of accumulated nonstructural carbohydrates on photosynthesis of rice leaves (in Japanese). *Japan. Jour. Crop Sci.* 60(2): 320-321. 1991.

Effects of Ultraviolet Light on Growth, Essential Oil Concentration, and Total Antioxidant Capacity of Japanese Mint

Shoko Hikosaka, Kasumi Ito and Eiji Goto

Graduate School of Horticulture Chiba University
Matsudo 648, Matsudo, Chiba 271-8510 Japan

ABSTRACT

To study the effects of ultraviolet (UV) light on the essential oil concentration in Japanese mint (*Mentha arvensis* L. var. piperascens), we exposed the plants to different combinations of irradiation with a white fluorescent lamp (W), UV-A fluorescent lamp (UVA; peak wavelength, 360nm), and UV-B fluorescent lamp (UVB; peak wavelength, 306nm). Japanese mint transplants hydroponically grown from a rhizome in a controlled environment were used as the plant material. Young plants were cultivated in growth chambers [air temperature, 25/23°C; photosynthetic photon flux, 250 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$; CO₂ concentration, 1000 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$] under the following light conditions: W, W + UVA (2.0 $\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$, 315–400nm), W + UVB (0.5 $\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$, 280–350 nm), and W + UVA + UVB (2.5 $\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$, 280–400nm). The UV irradiation period was 2 h per day during the light period (12 h). After 7 days of irradiation, the plants grown in different light conditions showed no difference in the number of leaves and leaf area. The *l*-menthol and limonene concentrations and the total antioxidant capacity (TAC) of the upper leaves of plants grown under the W + UVB and W + UVA + UVB conditions were significantly higher than those in the upper leaves of plants grown under the W condition. The upper leaves unfolded after the initiation of UV irradiation; further, supplemental UV-B irradiation seemed to increase the essential oil concentration and the TAC of the leaves. These results suggest that longer supplemental UV-B irradiation of Japanese mint plants may increase the yield of essential oils per plant by increasing the number of leaves that contain high concentrations of essential oils.

Keywords : controlled environment, fluorescent lamp, irradiation, *l*-menthol, limonene

INTRODUCTION

Mint oil, known as 'menthol', is one of the most commonly used essential oils in the world. It is widely used in the food and drug industries and in Kampo medicine. Because of its analgesic, antimicrobial, and cooling effects, this oil is also frequently used in the flavouring and pharmaceutical industries (Sugaya and Sugaya, 2001). *l*-Menthol is also one of the major components in some Kampo medicines. Japanese mint (*Mentha arvensis* L. var.

piperascens) plants produce the highest concentration of essential oils among all *Mentha* species. This oil is produced in the leaves and contains *l*-menthol, *l*-menthone, pulegone, and limonene (Toriizuka, 2000). The surface of mint leaves is covered by trichomes that synthesize and accumulate the essential oil. In Japanese mint leaves, *l*-menthol is produced as a secondary metabolite from limonene and pulegone (Akhila, 1987). Further, several antioxidant substances in mint species are known to perform free radical-

scavenging functions similar to those performed by compounds such as ascorbic acid, α -tocopherol, trolox, and β -carotene (Pyo et al., 2004). The total antioxidant capacity (TAC) can be measured as the total activity of antioxidant substances, and high TAC values are thought to reduce the risk of cancer (Pyo et al., 2004).

Some previous studies on members of the *Lamiaceae* family have reported that light intensity, light period, and air temperature influence the essential oil content of peppermint (Clark and Menary, 1980) and Japanese mint (Duriyaprapan and Britten, 1982a; 1982b; Nishioka et al., 2008; Malayeri et al., 2010), while ultraviolet (UV) irradiation increases the accumulation of medicinal compounds in sweet basil (Johnson et al., 1999), rosemary (Luis et al., 2007), and many other plants (Zhang and Björn, 2009). However, there is little information on the effect of UV irradiation on the growth, essential oil content, and TAC of Japanese mint plants. To determine whether UV irradiation can increase the essential oil yield and TAC of Japanese mint, we studied the effects of UV irradiation on Japanese mint under artificial conditions in this study.

MATERIALS AND METHODS

Japanese mint plants, including both mother plants and experimental (daughter) plants, were grown in a controlled environment (photosynthetic photon flux (PPF), $250 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$; light period, 12h; air temperature

dark), $25/23^\circ\text{C}$; CO_2 concentration, $1000 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$) using a hydroponic system. Otsuka-A nutrient solution (Otsuka AgriTechno Co., Ltd.) with pH 5.8 and EC of $1.2\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ was used to propagate the plants. To ensure that the experimental plants showed uniform growth at the start of the experiment, we propagated plantlets from pieces of rhizome before the experiment. The rhizome of the mother plant was cut into pieces of equal weight (fresh weight, 0.5–0.9g) and cultivated in the hydroponic containers until 10 leaves (5 nodes) per plant had unfolded.

To provide supplemental UV irradiation to the Japanese mint plants, we used 2 types of fluorescent UV lamps— a UV-A (peak wavelength, 360 nm) (FL20SBLB, Sankyo Denki Co., Ltd.) and a UV-B (peak wavelength, 306 nm) (GL20SE, Sankyo Denki Co., Ltd.). In all the treatments (Table 1), the main light source during the light period (12 h) was a white fluorescent lamp (W) (FPL55EX-L, IWASAKI ELECTRIC CO., LTD.) with a photosynthetic photon flux (PPF) of $250 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ that was positioned at the top of the plants. At the beginning of each light period, the plants were exposed to UV-A and/or UV-B irradiation for 2 hours. Young plants were cultivated in growth chambers (the environmental conditions in the growth chambers were identical to those used in the propagation stage) under the following light conditions: W, W + UV-A (WA; $2.0 \text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$, 315–400 nm), W + UV-B (WB; $0.5 \text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$, 280–350 nm), and W + UV-A + UV-B (WAB; $2.5 \text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$,

Table 1. Light conditions employed in the experiment

Code	Main light condition ^z	Supplemental UV light condition ^{z,y} (7 days)	
	Quality/Intensity (PPF)	Quality	Intensity ($\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$)
W		---	
WA	White/250	UV-A	2
WB	($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	UV-B	0.5
WAB		UV-A + UV-B	2.5

z: We used fluorescent lamps providing white, UV-A (lamp peak, 360 nm) and UV-B (lamp peak, 306 nm) light. Intensity was measured at the top of the plant.

y: Supplemental UV irradiation for 2 hours at the beginning of each light period.

280–400 nm). In all the treatments, the plants were exposed to supplemental UV-A and/or UV-B irradiation for 7 days. We measured the number of unfolded leaves and the total leaf area on the main shoot after 7 days of treatment.

Essential oil concentration (concentrations of limonene, pulegone, *l*-menthone, and *l*-menthol) was determined by a gas chromatograph (GC-2014; Shimadzu Corp., Kyoto, Japan) with a flame ionization detector and a 60 m × 0.25 mm capillary column (Stabilwax; Restek Corp., Bellefonte, PA). The samples were obtained by hexane extraction of leaves at nodes 3 (H), 6 (M), and 9 (L) from the top (Fig. 1). The injector and detector temperature was 240°C. The gas chromatograph apparatus was operated under the following temperature sequence: 70°C for 10 min, temperature

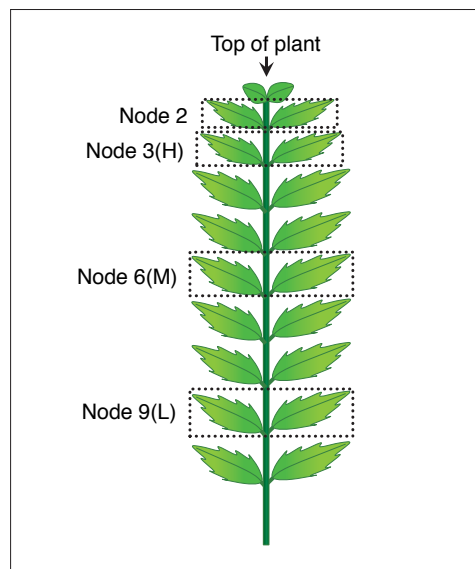


Fig. 1: Mint leaves used for the measurements.

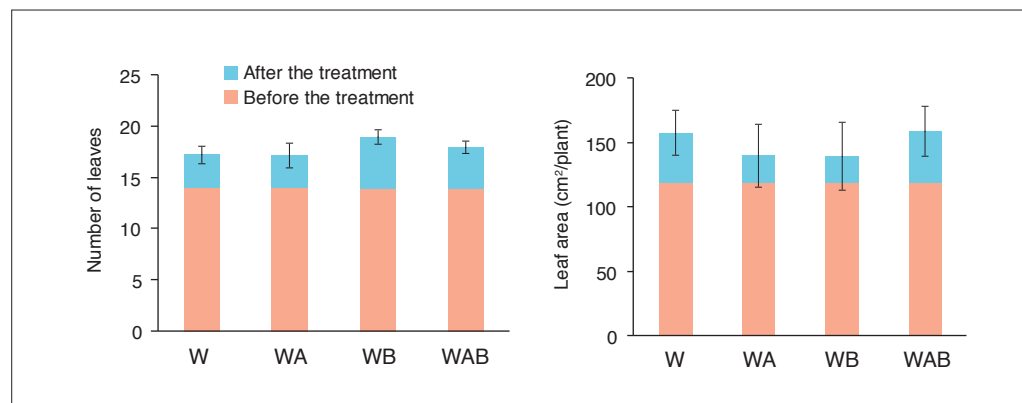


Fig. 2: Effects of UV light on the growth of Japanese mint plant (n = 8). Vertical bars indicate mean ± SE.

increase from 70°C to 180°C at the rate of 11°C·min⁻¹, 180°C for 25 min, temperature increase from 180°C to 220°C at a rate of 4°C min⁻¹, and 220°C for 5 min. The carrier gas was He, and the flow rate was 0.8 ml·min⁻¹.

The TAC assay was performed using the TAS kit (Randox Laboratories Ltd., Antrim, UK), which measured the antioxidant capacity in terms of Trolox equivalents. This assay is based on the ability of the antioxidant molecules to quench the long-lived ABTS [2,2'-azinobis-(3-ethylbenzothiazolone-6-sulfonic acid)], which shows absorbance at 734 nm, with Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid), a water-soluble vitamin E analogue, used as a standard. The results for TAC are expressed as μmol of Trolox equiv·g⁻¹. For this assay, the sample was extracted with 70% methanol from the leaf at node 2 from the top.

RESULTS AND DISCUSSION

After 7 days of irradiation, the plants exposed to different light conditions showed no differences in the number of leaves and the leaf area (Fig. 2). In all treatments, the upper leaves (H) at nodes 2 and 3 unfolded after the start of the treatment. The limonene and *l*-menthone concentrations in the M and L leaves did not differ in the plants grown under different light conditions (Fig. 3). However, in the case of the H leaves (node 3), limonene concentrations in the plants exposed to WB and WAB conditions were significantly higher than those in the plants exposed to the W

condition; the *l*-menthone concentration in the H leaves showed the same tendency. The *l*-menthol concentrations in the M and L leaves did not differ among the treatment groups (Fig. 4). However, in the case of the H leaves, the *l*-menthol concentrations in the plants exposed to WB and WAB treatments were significantly higher than those in the plants exposed to W treatment. The TACs at node 2 from the top of the plants in the WB and WAB treatment groups were significantly higher than those in the W and WA treatment groups (Fig. 5).

The limonene and *l*-menthol concentrations and TACs in the upper leaves (H) in the plants exposed to supplemental UV-A and/or UV-B irradiation were significantly higher than those in the plants exposed to the W treatment. Consistent with these results, previous studies have reported that UV treatment causes an increase in the concentration of secondary

metabolites such as the essential oils of *Mentha spicata* (Karousou et al., 1998), sweet basil (Johnson et al., 1999), and rosemary (Luis et al., 2007). These and our results suggest that UV irradiation stimulates not only the production of *l*-menthol, which is the target substance, but also the production of intermediate products (limonene and *l*-menthone) in H leaves. However, UV-B irradiation did not increase the TAC of rosemary plants (Luis et al., 2007). This finding suggests that the responses to UV irradiation of different wavelengths or the rates of TACs in the essential oils were different for different plants.

In a previous study on Japanese mint, the concentration of essential oils increased with an increase in the light intensity; however, the essential oil content per plant did not change (Duriyaprapan and Britten, 1982b). Maffei et al. (1999) also reported that the leaf area and essential oil concentration of

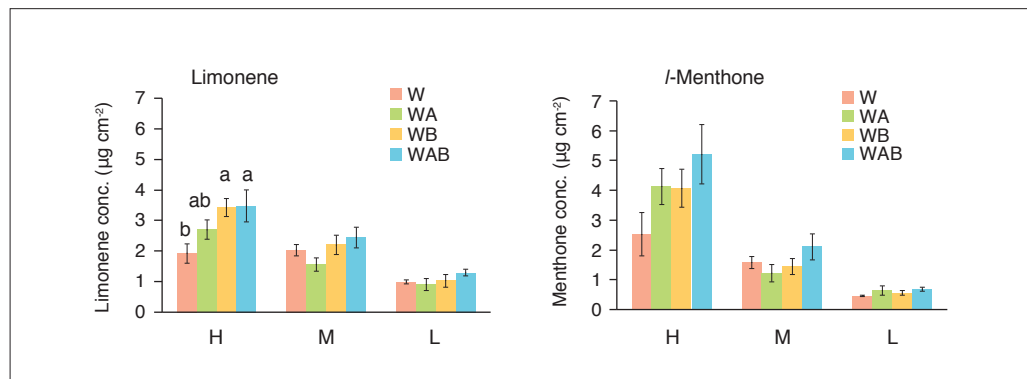


Fig. 3: Effects of UV light on the concentrations of limonene and menthone of Japanese mint plant. Vertical bars indicate mean ± SE. Different letters indicate significant differences among the treatments at $P < 0.05$ by Tukey-Kramer's test ($n = 8$).

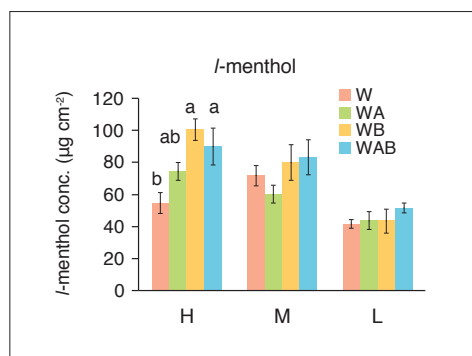


Fig. 4: Effects of UV light on the concentration of *l*-menthol of Japanese mint plant. Vertical bars indicate mean ± SE. Different letters indicate significant differences among the treatments at $P < 0.05$ by Tukey-Kramer's test ($n = 8$).

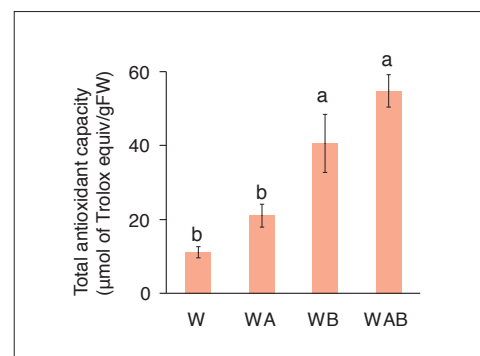


Fig. 5: Effects of UV light on the TAC of Japanese mint plant. Vertical bars indicate mean ± SE. Different letters indicate significant differences among the treatments at $P < 0.05$ by Tukey-Kramer's test ($n = 8$).

pepper mint (*Mentha piperita* L.) plants grown under white fluorescent lamps with supplemental UV-A (W+UV-A) were 1.6 and 1.2 times higher, respectively, than those of the control (W); however, in pepper mint plants exposed to supplemental UV-B (W+UV-B), the leaf area and essential oil concentration were 1.2 or 1.1 times higher, respectively, than that of the control (W). (Maffei and Scannerini, 2000). An assessment of these results suggests that the light intensity of supplemental UV irradiation may affect the essential oil concentration of mint plants; however, an optimal range of light intensity may exist to maintain sufficient plant growth and leaf area.

In our study, the intensity and total dose of UV irradiation seemed to be within the optimum range for promoting plant growth, essential oil production, and TAC. However, only the H leaves showed a significant increase in the *l*-menthol and limonene concentrations and the TAC values under the W + UVB and W + UVA + UVB conditions. The upper leaves unfolded after the initiation of UV irradiation. Most of the essential oil in Japanese mint leaves is reported to be synthesized during the early period of leaf growth (Duriyaprapan and Britten, 1982c). Therefore, supplemental UV irradiation treatments for 7 days increased the essential oil content and TAC only in the growing organs or the leaves that were directly irradiated by UV light. Additionally, these results suggest that a longer cultivation period with supplemental UV irradiation of the optimal intensity range may increase the number of unfolded leaves and the biomass that contains high concentrations of essential oil, thereby increasing the oil yield per plant. Therefore, the plants should be exposed to different combinations of intensity and duration of UV light irradiation in order to determine the ideal conditions for irradiation.

CONCLUSIONS

UV irradiation treatments for 7 days increased the essential oil content and TAC in the upper leaves of Japanese mint plants. These results suggest that longer supplemental UV-B irradiation of Japanese mint plants at an optimal intensity may

increase both plant growth and the yield of essential oils per plant by increasing the number of leaves that contain high concentrations of essential oils.

REFERENCES

- Akhila, A. 1987. Biosynthesis of menthol and related monoterpenes in *Mentha arvensis*. J. Plant Physiol. **126**:379-386.
- Clark, R. J., Menary, R. C. 1980. Environmental effects on peppermint (*Mentha piperita* L.). I. Effect of daylength, photon flux density, night temperature and day temperature on the yield and composition of peppermint oil. Aust. J. Plant Physiol. **7**:685-692.
- Duriyaprapan, S., Britten, E. J. 1982a. The effect of temperature on growth, oil yield and oil quality of Japanese mint. Ann. Bot. **53**:729-736.
- Duriyaprapan, S., Britten, E. J. 1982b. The effect of solar radiation on plant growth, oil yield and oil quality of Japanese mint. J. Exp. Bot. **33**:1319-1324.
- Duriyaprapan, S., Britten, E. J. 1982c. The effect of age and location of leaf on quantity and quality of Japanese mint oil production. J. Exp. Bot. **33**:810-814.
- Johnson, C. B., Kirby, J., Naxakis, G., Pearson, S. 1999. Substantial UV-B-mediated induction of essential oils in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). Phytochem. **51**:507-510.
- Karousou, R., Grammatikopoulos, G., Lanaras, T., Manetas, Y., Kokkini, S. 1998. Effects of enhanced UV-B radiation on *Mentha spicata* essential oil. Phytochem. **49**:2273-2277.
- Luis, J. C., Marti ´ n, R., Gonza ´ lez, P. F. V. 2007. UV-B radiation effects on foliar concentrations of rosmarinic and carnosic acids in rosemary plants. Food Chemistry **101**:1211-1215.
- Maffei, M., Canova, D., Bertea, C. M., Scannerini, S. 1999. UV-A effects on photomorphogenesis and essential-oil composition in *Mentha piperita*. J. Photochem. Photobiol. B: Biol. **52**:105-110.
- Maffei M., Scannerini S. 2000. UV-B effect on photomorphogenesis and essential oil composition in peppermint (*Mentha piperita* L.). J. Essential Oil Research **12**:523-529.
- Malayeri, S. H., Hikosaka, S., Goto, E. 2010. Effects of light period and light intensity on essential oil composition of Japanese mint grown in a closed production system. Environ. Control in Biol. **48**: 141-149.
- Nishioka, N., Nishimura, T., Ohyama, K., Malayeri, S. H., Goto, E., Sumino, M., Inagaki, N., Morota, T. 2008. Light quality affected growth and contents of essential oil components of Japanese mint plants. Acta Horticulturae **97**:431-436.
- Pyo, Y. H., Lee, T. C., Logendra, L., Rosen, R. T. 2004. Antioxidant activity and phenolic compounds of Swiss chard (*Beta vulgaris* subspecies *cycla*) extracts. Food Chemistry **85**: 19-26.
- Sugaya, E., Sugaya, A. 2001. Comprehension and prospect of kampo. (for medical, pharmaceutical and dental students and for the people engaged in medical treatment) (in Japanese). Gakkenn Syoin. Tokyo.
- Toriizuka, K. 2000. Series of pharmacology of crude drug (in Japanese). 36 Hakka (Japanese mint), Kampo Kenkyuu. **342**: 202-205.
- Zhang, W. J., Björn, L. O. 2009. The effect of ultraviolet radiation on the accumulation of medicinal compounds in plants. Fitoterapia **80**:207-218.

プロフィール



後藤 英司 (ごとう えいじ)

千葉大学 教授

大学院園芸学研究科

環境園芸学専攻 環境調節工学研究室

- 学 位 農学博士(1992年東京大学農学部)
 題名:Environmental control for letuss production under artificial light
 (レタスの人工光栽培のための環境調節に関する研究)
- 学 歴 1979年4月 東京大学理科2 類入学
 1983年3月 東京大学農学部農業工学科卒業
 1983年4月 東京大学大学院農学系研究科修士課程(農業工学専攻)入学
 1985年3月 同修了
 1985年4月 東京大学大学院農学系研究科博士課程(農業工学専攻)進学
 1986年5月 同中退
- 職 歴 1986年6月 東京大学農学部助手
 1996年4月 東京大学大学院農学生命科学研究科助手
 1997年4月 東京大学大学院農学生命科学研究科助教授
 2004年3月 千葉大学園芸学部助教授
 2005年4月 千葉大学園芸学部教授
 2007年4月 千葉大学大学院園芸学研究科教授
- 受 賞 日本農業気象学会学術賞(日本農業気象学会2001年7月)
 「人工環境下における葉菜類の生育環境制御に関する基礎的研究」
 日本植物工場学会学術賞(日本植物工場学会2004年9月)
 「植物工場および閉鎖生態系における植物の生育制御」
 他
- 勤務先住所 千葉大学 大学院園芸学研究科 環境園芸学専攻 環境調節工学研究室
 〒271-8510 千葉県松戸市松戸648
 電話/FAX: 047(308)8841
 Email: goto@faculty.chiba-u.jp