光質がレタス成長と野菜中硝酸イオン濃度に及ぼす影響

松本拓也・伊藤博通・白居祐希・白石齊聖・宇野雄一

神戸大学農学研究科 657–8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1–1

Effects of Light Quality on Growth and Nitrate Concentration in Lettuce

Takuya MATSUMOTO, Hiromichi ITOH, Yuki SHIRAI, Naomasa SHIRAISHI and Yuichi UNO

Graduate School of Agricultural Science, Kobe University, 1-1 Rokkodai, Nada-ku, Kobe, 657-8501, Japan

Abstract

The purpose of this research is to clarify the effects of light quality on growth and nitrate concentration of lettuce. The light quality was defined by R/B ratio, which was ratio of photon flux density of red light to that of blue one. Lettuces were cultivated in a growth chamber with 12 h/12 h of light/dark periods under 6 kinds of R/B ratio as follows; 0, 1, 5, 10, 20 and ∞ (all red). The sum of red and blue photon flux density was kept constant as $230 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ at each R/B ratio. In the cultivation 3 kinds of air temperature (20, 22 and 25 degrees centigrade) and 3 kinds of cultivation term (1, 2 and 3 weeks) were considered as experimental treatments. After the cultivation fresh weight, percentage dry matter and nitrate concentration were measured. The fresh weight at 5, 10 and 20 of R/B ratio was larger than that at other R/B ratios and it was found that the larger the percentage dry matter was, the lower the nitrate concentration was. The correlation coefficient between the percentage dry matter and the nitrate concentration became -0.816 . The lowest nitrate concentration and the largest percentage dry matter were realized when the R/B ratio was 1. The results of analysis variance did not show the significant difference among 1, 5, 10 of R/B ratio in relation to the percentage dry matter or the nitrate concentration. Then it was clarified that the R/B ratios of 1, 5 and 10 were adequate to realize the rapid growth and the low nitrate concentration.

Keywords: LED, lettuce, nitrate concentration, plant factory, R/B ratio

緒 言

食の安全安心が社会の要請となっている。硝酸イオンは窒素同化の初期段階において根から吸収され細胞内へと輸送される。自然環境では根圏の硝酸イオン濃度は一般に低く、能動的に細胞内に運ばれる。しかし水耕栽培が主に採用さ

れている植物工場では常に根圏の硝酸イオン濃度が一定に保たれているので過剰摂取することとなり野菜中硝酸イオン濃度が高くなりやすい。人体内に野菜を通して摂取された硝酸イオンは代謝により亜硝酸イオンへと変化する。亜硝酸イオンはメトヘモグロビン血症や発ガン性物質であるN-ニトロ化合物の生成の原因になるので、人体に有害であることがわかっている¹⁾。また、日本人の硝酸摂取量の約90%が野菜由来である²⁾。そこで野菜内硝酸イオン濃度の低減に適した栽培環境の解明が求められている。

現在、植物工場の光源として主に蛍光灯が使用されているが、新しい光源としてLEDが注目されている³⁾。LEDは小型、長寿命、高輝度であり発光波長を自由に調整できる特性

2009年12月25日受付

2010年5月24日受理

Corresponding author: Hiromichi Itoh

(hitoh@kobe-u.ac.jp)

がある^{4,5)}。そこでLEDを光源とした植物栽培に関する研究が数多くなされてきた。高辻ら⁶⁾、森ら⁷⁾はLEDを用いR/B比によるサラダナの生育を調査した。富士原ら⁸⁾、大橋ら^{9,10)}はR/B比によるトマト品質への影響を報告した。平井ら¹¹⁾はLED照明によるナス、リーフレタス、ヒマワリ節間伸長に及ぼす影響を報告している。このようにR/B比が植物成長に与える影響は多く研究されてきたが、光質(R/B比)が野菜内硝酸イオン濃度に与える影響は明らかになっていない。そこで、本研究では光環境に注目し光質(R/B比)の違いが植物成長および野菜内硝酸イオン濃度に与える影響の解析を行った。

材料および方法

1. 供試作物

供試作物としてレタスグリーンウェーブ (*Lactuca sativa* L., cv. “Greenwave”) を使用した。育苗はチャンバー (エスベック (株) BAC-130H, 蛍光灯: National 社製 FL40SS-W/37P) 内で行った。このチャンバーは室温、湿度および照度の制御が可能である。またエスベック社製 CO₂ 制御ユニット BAC-NC02 によって二酸化炭素濃度の制御を行った。栽培用土には園芸用土であるベルムライトとパーライトを体積比 1 対 1 で混合し、栽培用セルトレイに敷き詰めた後に播種を行った。育苗時の環境設定値は室温 23℃, 相対湿度 60%, 光量子束密度 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (LI-COR LI-250 Light Meter および LI-190SB Quantum Sensor により測定), CO₂ 濃度 400 ppm, 明暗周期 12 h である。2 週間育苗後、活着が良く 4 葉以上に成長している苗を供試苗として使用した。育苗環境を Table 1 に示す。

2. 実験方法

本研究では光質に加え栽培室温 (実験①) および栽培期間 (実験②) の影響を知るため 2 つの栽培実験を行った。

実験①では栽培時の室温による影響を解析するため、各 R/B 比試験区において 20℃, 22℃, 25℃と 3 種類の室温区を用意し、栽培期間は 2 週間とした。

また実験②では栽培期間が植物成長、硝酸イオン濃度お

よび乾物率に与える影響を解析するため、1, 2, 3 週間の 3 期間設定し、各期間別々に実験を行った。この 3 期間の室温は 22℃に設定した。

栽培実験は実験①、実験②共に三洋電機 (株) 製チャンパー MIR-553 内で行った。このチャンパーは温度のみ制御可能である。光源には LED (シーシーエス (株) 製光源植物育成研究用 LED ユニット IS-mini ISL-150X150-RB) を使用した。赤色 LED のピーク波長は 660 nm, 青色 LED のピーク波長は 470 nm である。光質に関する試験区設定として R/B 比 (赤色光と青色光の光量子束密度比) 0, 1, 5, 10, 20 および ∞ (赤色光 100%) の 6 試験区を設けた。光量は全試験区で光量子束密度の合計が 230 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ になるように設定した。明期 12 h, 暗期 12 h とした。全ての試験区においてサンプル数は 6 株である。水 1 L に対し大塚ハウス 1 号を 0.75 g, 大塚ハウス 2 号を 0.50 g 溶解した養液 (A 処方標準濃度の 1/2) を 12 L 使用した。養液交換は栽培期間 1 週間ごとに行った。Fig. 1 に栽培装置を示す。栽培用プレートに設けた穴に育苗で使用するセルトレイを個々のセルに分割して挿入し、セルの下部が溶液に浸っている状態で栽培を行った。また養液は循環していないが、エアーポンプ ((株) 安永 LP-30A) によって養液中に常に空気を供給した。

光量子束密度は栽培株頂点で常に一定になるように設定した。しかし株の成長に伴い株頂点の位置に変化が生じる。そこでジャッキを用いて栽培株頂点から光源までの距離を 2 cm とし、常に一定に保った。Table 2 に栽培実験における環

Fig. 1 Picture of cultivation experiment.

Table 1 The environmental condition at raising seedling.

environmental factor	set value
temperature (°C)	23
humidity (%)	60
photon flux density ($\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$)	100
CO ₂ density (ppm)	400
light and dark period (h)	12
raising seedling term (week)	2

Table 2 The environmental condition at cultivation.

environmental factor	set value
temperature (°C)	20,22,25
humidity (%)	70
photon flux density ($\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$)	230
CO ₂ density (ppm)	350
light and dark period (h)	12
cultivation term (week)	1,2,3

境設定を示す。

栽培期間中は各試験区の温度、湿度（共に新栄株式会社製温湿度変換機 THT-B121 にて測定）、養液の EC、pH（（株）堀場製作所 D-24（EC 測定センサ）および D-22（pH 測定センサ））を（株）ESD 製グリーンキット 201 並びにデータロガーソフトウェア DL-400 for Windows を使用し 1 時間毎に記録した。また毎日同じ時間にレタス各株を定植セルと共に取り出して（株）AND 社製上皿電子天秤 GF-3000 を用いて生体重を測定した。

生体重測定時、チャンバーからサンプルを取り出した直後にセルから水漏れが生じた。5 分の放置で確実に水漏れが止まったことから、チャンバーからサンプルを取り出し 5 分経過後に生体重の計測を行った。

生体重は地上部、根圏部およびセル重量を含み、セル中の用土の含水率が測定毎に異なるので、定植からちょうど 1 日経過した時点のセルと用土を含んだ重量を基準値とし、基準値からの増加重量をレタス生体重増加量とした。栽培最終日（収穫日）に野菜内硝酸イオン濃度、乾物重を測定した。

乾物重を測定するためにエスベック（株）製熱風乾燥機 LC-123 を用いた。80℃でレタス地上部を 3 日間乾燥させ乾物重を測定した。乾燥前の生重量で乾物重を除いた値を乾物率として扱った。乾物率は炭素同化量の目安として扱うことができる。乾燥後のサンプルから硝酸イオンを抽出し東亜 DKK（株）製イオン分析計 IA-300 により硝酸イオン濃度を測定した。

2. 解析方法

各試験区の測定データ間で分散分析を行った。分散分析にはサンプル数が少ないため確率分布の仮定を必要としないノンパラメトリック検定によるクラスカル・ウォリス検定を行った¹²⁾。また S 法による多重比較を行った¹³⁾。

結果および考察

1. レタスの生体重、乾物率および硝酸イオン濃度の計測結果

それぞれの R/B 比区における生体重増加量の経日変化を Fig. 2 から Fig. 4 に示す。Fig. 2 のグラフは栽培日数 1 日から 7 日までは 1, 2, 3 週間区の合計 18 株、8 日から 14 日までは 2, 3 週間区の合計 12 株、15 日から 21 日までは 3 週間区 6 株の測定値の平均値を示す。Fig. 3 および Fig. 4 はそれぞれ 20℃試験区、25℃試験区各 6 株の生体重増加量の平均値推移を示す。14 日目の生体重増加量に関する分散分析結果を Table 3 および Table 4 に示す。

Fig. 2, 14 日目までの結果から分かるように、R/B 比∞区、0 区では比較的生体重増加量が小さい。ついで R/B 比 1

Fig. 2 Time course of the increased fresh weight of lettuces at 22℃.

Fig. 3 Time course of the increased fresh weight of lettuces at 20℃.

Fig. 4 Time course of the increased fresh weight of lettuces at 25℃.

Table 3 The examination treatments of R/B ratio that showed significant differences as for increased fresh weight in each temperature at 14th day after transplanting.

Temperature district	Combinations that showed significant difference	significance level
20℃	20 vs. 0	5%
22℃	20 vs. 0	5%
	5 vs. 0	5%
25℃	∞ vs. 5	5%

Table 4 The examination treatments of temperature that showed significant differences as for increased fresh weight in each R/B ratio at 14th day after transplanting.

R/B ratio	Combinations that showed significant difference	significance level
∞	22°C vs. 25°C	5%
20	20°C vs. 25°C	5%
	22°C vs. 25°C	1%

区の生体重増加が大きく、R/B 比 20 区、10 区、5 区の 3 試験区では同様な成長曲線を描いており他の 3 試験区よりも大きい値を示している。Fig. 3 より室温 20°C における生体重増加量の傾向は 22°C 区における傾向と似ていることが分かる。しかし Fig. 4 に示す 25°C 区では R/B 比 0 が他の室温区に比べ生体重増加量が大きくなっており、逆に R/B 比 ∞ 区では小さくなっていることが分かる。Table 3 に示した結果からどの室温区においても R/B 比区間に生体重増加量平均値に有意差があることが示された。多重比較により 20°C 区および 22°C 区において R/B 比 20 と 0 区間に、さらに 22°C 区においては R/B 比 5 区と 0 区間に、また 25°C 区において R/B 比 ∞ 区と 5 区の間で有意差が認められた。Table 4 に示された結果から、R/B 比 ∞ 区と R/B 比 20 区において室温区の間で有意差が認められた。これらの結果から赤色光の多い区と少ない区および温度差のある試験区間で有意差が生じることが分かる。

LED 光そのものに熱放射は含まれないが LED 基板からの熱放射が存在する。室温 25°C の設定条件下では LED 基

Fig. 5 Pictures of sample lettuces. ((a)R/B ratio ∞ at 22°C, (b) R/B ratio 0 at 22°C, (c)R/B ratio ∞ at 20°C, (d)R/B ratio ∞ at 25°C) **Fig. 6** Time course of measured air temperature at 25°C condition.

板からの熱放射により葉面付近の気温が栽培適正温度の上限とされる 25°C を上回り成長阻害となった可能性がある。Fig. 5 に示した写真 (a) (c) (d) から高温障害の影響がみられた。また Fig. 6 にチャンパー内室温推移図を示す。また湿湿度センサはチャンパー内上部に設置した。気温は制御できていたが葉温が高くなっていたと考えられる。

次に全栽培期間と温度区における乾物率の測定結果を Fig. 7 および Fig. 8 に示す。図中のエラーバーは標準偏差を示している。また乾物率についての分散分析の結果を Table

Fig. 7 Mean value of percentage dry matter at each R/B ratio with relation to the air temperature at 14th day after transplanting. **Fig. 8** Mean value of percentage dry matter at each R/B ratio with relation to the cultivation term at 22°C.

Table 5 The examination treatments of R/B ratio that showed significant differences as for percentage dry matter in each temperature at 14th day after transplanting.

Temperature district	Combinations that showed significant difference	significance level
20℃	∞ vs. 10	5%
	∞ vs. 5	5%
	∞ vs. 1	1%
22℃	∞ vs. 1	5%
25℃	∞ vs. 1	1%

Table 6 The examination treatments of R/B ratio that showed significant differences as for percentage dry matter in each cultivation term at 22℃.

Cultivation term	Combinations that showed significant difference	significance level
1week	∞ vs. 1	1%
2weeks	∞ vs. 1	5%
3weeks	∞ vs. 1	1%

Table 7 The examination treatments of temperatures that showed significant differences as for percentage dry matter in each R/B ratio at 14th day after transplanting.

R/B ratio	Combinations that showed significant difference	significance level
10	20℃ vs. 25℃	1%
5	20℃ vs. 22℃	5%
	20℃ vs. 25℃	1%
1	20℃ vs. 22℃	1%
0	20℃ vs. 22℃	5%

Table 8 The examination treatments of cultivation term that showed significant differences as for percentage dry matter in each R/B ratio at 22℃.

R/B ratio	Combinations that showed significant difference	significance level
∞	1week vs. 3weeks	5%
20	1week vs. 3weeks	5%
10	1week vs. 3weeks	1%
5	1week vs. 3weeks	1%
1	1week vs. 3weeks	5%
0	1week vs. 3weeks	5%

5 から Table 8 に示す。室温区間の分散分析には 14 日目（栽培期間 2 週間区収穫）時の乾物率を、栽培期間区間の分散分析には室温 22℃ 区の乾物率を使用した。

栽培期間ごとの乾物率を比較すると 3 週間区、2 週間区、1 週間区の順に乾物率が大きくなり、栽培期間が長くなるほど乾物率が小さくなる傾向がみられた。

また室温ごとの乾物率を比較すると赤色光が多く含まれる試験区 (R/B 比 20, 10, 5) では 20℃ 区、22℃ 区、25℃ 区の順に乾物率が大きくなり、青色光の比率が大きい試験区 (R/B 比 1) では 20℃ 区、25℃ 区、22℃ 区の順に乾物率が大きくなる傾向がみられた。

R/B 比ごとの乾物率を比較すると、全ての栽培室温、栽培期間で R/B 比 ∞ 区から青色光の割合が増加するにつれ乾物率は徐々に増加する傾向がみられた。しかし赤色光を含まない R/B 比 0 区では R/B 比 1 と比較し乾物率が低下する傾向がみられた。

Table 5 と Table 6 の結果から、温度別あるいは栽培期間別に考えた場合に赤色の多い試験区と青色の多い試験区との間に乾物率の差が生じていることが明らかになった。Table 7 と Table 8 より、R/B 比別に考えた場合は、20℃ 区と 25℃ 区の間および 1 週間区と 3 週間区との間に乾物率の差が生じていることがわかった。

次に全栽培期間と温度区における硝酸イオン濃度の測定

Fig. 9 Mean value of nitrate concentration at each R/B ratio with relation to the air temperature at 14th day after transplanting.

Fig. 10 Mean value of nitrate concentration at each R/B ratio with relation to the cultivation term at 22℃.

Table 9 The examination treatments of R/B ratio showed significant differences as for nitrate concentration in each temperature at 14th day after transplanting.

Temperature district	Combinations that showed significant difference	significance level
20℃	∞ vs. 10	5%
	∞ vs. 5	5%
25℃	∞ vs. 1	5%
	20 vs. 1	5%

Table 10 The examination treatments of temperatures showed significant differences as for nitrate concentration in each R/B ratio at 14th day after transplanting.

R/B ratio	Combinations that showed significant difference	significance level
∞	22℃ vs. 25℃	1%
20	20℃ vs. 25℃	1%
	22℃ vs. 25℃	5%
10	20℃ vs. 25℃	1%
5	20℃ vs. 25℃	1%
0	20℃ vs. 25℃	1%

Table 11 The examination treatments of cultivation term showed significant differences as for nitrate concentration in each R/B ratio at 22℃.

R/B ratio	Combinations that showed significant difference	significance level
10	1week vs. 3weeks	5%
5	1week vs. 3weeks	5%
0	1week vs. 3weeks	5%
	2weeks vs. 3weeks	5%

Table 12 The examination treatments of R/B ratio showed significant differences as for nitrate concentration in each cultivation term at 22℃.

Cultivation term	Combinations that showed significant difference	significance level
3weeks	1 vs. 0	1%

値を Fig. 9 および Fig. 10 に示す。また硝酸イオン濃度についての分散分析結果を Table 9 から Table 12 に示す。

室温区間の分散分析には 14 日目（栽培期間 2 週間区収穫）時の硝酸イオン濃度を、栽培期間区間の分散分析には室温 22℃区の硝酸イオン濃度を使用した。

Fig. 9 より室温によって硝酸イオン濃度を比較するとほとんどの R/B 比区で 25℃区、22℃区、20℃区の順で高濃度とな

った。∞区および 1 区で 25℃区、20℃区、22℃区の順に高濃度であった。

Fig. 10 より栽培期間ごとの硝酸イオン濃度を比較すると 3 週間区、2 週間区、1 週間区の順に高濃度となり、栽培期間が長くなるほど硝酸イオン濃度が高くなる傾向がみられた。

R/B 比ごとの硝酸イオン濃度を比較すると、R/B 比 ∞区、R/B 比 0 区が他の光質と比較し硝酸イオン濃度が高い傾向を示した。また R/B 比 10 区、R/B 比 5 区、R/B 比 1 区は他の試験区と比較して硝酸イオン濃度が低い傾向であった。

Table 9 から Table 12 より赤色の多い試験区と青色の多い試験区との間に硝酸イオン濃度の差が生じていることが明らかになった。また、1 週間区と 3 週間区との間に硝酸イオン濃度に差が生じていることがわかった。

2. 乾物率と硝酸イオン濃度の関係

Fig. 7 から Fig. 10 に示した結果から乾物率が大きい試験区では硝酸イオン濃度が低く、逆に乾物率が小さい試験区では硝酸イオン濃度が高い傾向がみられた。Table 13 に各試験区の乾物率と硝酸イオン濃度の相関係数を示す。Table 13 には全試験区における相関係数と各温度区別の相関係数を示す。また Fig. 11 に 1, 2, 3 週間区各 R/B 比区の乾物率と硝酸イオン濃度の分布を表す。

栽培期間ごとの乾物率と硝酸イオン濃度との相関係数は、20℃区で -0.820、22℃区で -0.816、25℃区で -0.850、またこの 3 試験区全体で -0.710 となり負の相関がみられた。ここから乾物率と硝酸イオン濃度には相関があると考えられる。

Fig. 2 から Fig. 4 に示したように 25℃区の生体重増加量は 20℃区および 22℃区よりも小さくなっている。25℃区では上述のように LED 基板からの熱放射により葉面周囲の気温がレタス栽培の適温を上回っていたと考えられる。このことから 25℃区では 20℃区および 22℃区に比べて成長が困難な環境にあったため、乾物率と硝酸イオン濃度に与える R/B 比の影響が 20℃区、22℃区よりも顕著に表れたと考えられる。その結果として 25℃区の相関係数絶対値は 20℃区および 22℃区よりも大きくなったと考えられる。

また、20℃区と 22℃区との比較では Table 7 より乾物率で有意差を示している R/B 比が存在するが、Table 10 に示したように硝酸イオン濃度に有意差は見られなかった。このこと

Table 13 The correlation coefficient between percentage dry matter and nitrate concentration of experimental treatments.

Expperrimental treatment	Correlation coefficient
All experrimental treatment	-0.710
20℃ 2weeks	-0.820
22℃ 1-2-3weeks	-0.816
25℃ 2weeks	-0.850

Fig. 11 Relation between percentage dry matter and nitrate concentration.

から硝酸イオン濃度が同程度である 20℃区と 22℃区を比較すると、乾物率が大きくなる 20℃区の方が 22℃区に比べて優れていると考えられる。

根から吸収され、硝酸トランスポーターによって細胞内へと取り込まれた硝酸イオンは亜硝酸イオンを経てアンモニアへと還元される。この反応は細胞質で機能する硝酸還元酵素 (NR) と葉緑体内で機能する亜硝酸還元酵素 (NiR) によって行われる。光合成で生成した化学エネルギーは NADH として細胞質に運ばれ、NR の還元力として働く¹⁴⁾。通常、多量の亜硝酸イオンは植物細胞にとって有害であるので、還元力が不足し反応が円滑に進まない場合は、NR の活性を調整し、余剰な硝酸イオンは液胞内に貯蔵される。つまり、硝酸イオン濃度を低減化させるためには、NR の活性化が鍵となる。NR 活性の制御機構はいまだ解明されていないが、光環境と NR 活性との間には、密接な関係がある¹⁵⁾ ことが分かっている。

明所下では NR はリン酸化を受けておらず活性型である。一方、暗所下では NR はリン酸化の影響を受け、NR 阻害タンパク質と結合し不活性型となる。光による NR の誘導や活性化は、窒素の同化が光合成と密接に結びついていることを示す。硝酸の還元に必要な還元力は光合成のエネルギーに由来し、アンモニアがグルタミン酸へと同化されるには光合成に由来する炭素骨格 (α -ケトグルタル酸) が必要である。炭素同化系が窒素同化に影響を与えるように、窒素同化も炭素代謝に対して影響を与える。硝酸イオンが窒素同化系を誘導するシグナルとして働くと同時に、炭素の代謝を制御するシグナルとして働く¹⁵⁾。つまり、炭素代謝が促進されると、窒素代謝も促進される、まさに車の両輪の如く進行している。

乾物率が高くなるということは炭素同化が活発であるといえる。また硝酸イオン濃度が低いということは窒素代謝が活発であるといえる。Table 13, Fig. 11 より乾物率と硝酸イオン濃度との間に相関が見られた。炭素代謝と窒素代謝の活性化は互いに関係し合うことが示された結果となった。両代謝共に

光反応に大きく依存する反応である。よって乾物率を高める、すなわち炭素固定を活性化させる光質環境が硝酸イオン濃度を低減させる環境であると考えられる。

3. 光質が硝酸イオン濃度、乾物率に与える影響

R/B 比 20 区、10 区、5 区は植物生体重量増加を促す傾向がみられた。乾物率では R/B 比 10 区、5 区、1 区で高い値を示した。硝酸イオン濃度では R/B 比 10 区、5 区、1 区で低い値を示した (Table 5 および Table 9)。乾物率が高い値を示した光質では硝酸イオン濃度値も低い値を示した。前述の乾物率と硝酸イオン濃度との相関を示す結果である。また炭素固定が行われるほど乾物量は大きくなり生体重量も大きくなるといえる。従って生体重量を大きくする光質は乾物率を高く、かつ硝酸イオン濃度を低くすると考えられる。

一般に青色光は植物の葉や茎の伸長生育を強く抑制するとされるが¹⁶⁾、本研究においても青色光を含まない R/B 比 ∞ 区では激しい徒長が見られた。しかし青色光のみで育成した R/B 比 0 区でも徒長がみられた (Fig. 5)。青色光のみでは光合成速度が低くなるため生育が順調に行われなかったと考えられる。森らは成長率は単色光よりも赤色と青色の組合せの方が大きくなったことを示した⁷⁾。今回の実験結果では赤色のみの R/B 比 ∞ 区や青色のみの R/B 比 0 区では生体重量増加量が小さく硝酸イオン濃度も著しく高い値を示した。このことから単色光は植物成長にも硝酸イオン濃度の低減にも適さないといえる。

R/B 比 1 区は乾物率が高く、また硝酸イオン濃度を低減した。しかし生体重量増加量は R/B 比 10 区、R/B 比 5 区に劣る結果となった。R/B 比 10 区、R/B 比 5 区は R/B 比 1 区と比較して乾物率は小さく、硝酸イオン濃度は高い結果であった。分散分析の結果からはこれら R/B 比 3 試験区間で生体重量増加量と乾物率に有意差は認められなかった。植物育成用光源の評価として光源の光合成有効波長域の比エネルギーの光合成作用曲線 (スペクトル) との比較があり、光合成作用曲線の R/B 比は光子束密度換算で 2.9 の値を示す¹⁷⁾。このことから R/B 比 1 区は効率の良い光合成を促し、乾物率を高め、硝酸イオン濃度を低減する結果となったと考えられる。

硝酸イオンの還元硝酸還元酵素 NR が大きく関係していることは前述の通りである。今回の実験で実施した試験区において NR 活性に有効な光質は R/B 比は 1, 5 および 10 であるといえる。乾物率を成長の指標とするならば R/B 比 1, 5 および 10 が成長に適しているといえる。

摘 要

赤色光と青色光との光子束密度比である R/B 比を 0、

1, 5, 10, 20 および ∞ (赤色光 100%) の 6 試験区設け栽培実験を行った。併せて室温を 20℃, 22℃, 25℃ の 3 区設定した。また 22℃区においては栽培期間を 1, 2, 3 週間の 3 区設定した。以上により栽培温度, 栽培期間により光質がレタス生体重, 乾物重および野菜中硝酸イオン濃度に与える影響を解析した。その結果乾物率が高ければ硝酸イオン濃度が低濃度となる相関関係が示され R/B 比 1, 5, 10 が硝酸イオン濃度低減に最も適していることが明らかとなった。室温については生体重増加量および硝酸イオン濃度で 20℃区と 22℃区との間に有意差はなかったが, 乾物率では 20℃区の方が有意に大きくなった。このことからこの栽培システムでは 20℃区が適していることが明らかになった。

謝 辞

この研究は文部省科学研究費, 基盤研究 B (2) (課題番号 17380155) の助成を受けた。記して謝意を表する。

引用文献

- 孫 尚穆, 米山忠克. 野菜の硝酸: 作物体の硝酸の生理, 集積, 人の摂取. In: 公開シンポジウム講演資料, 日本学術会議土壌・肥料・植物栄養学研究連絡委員会, 53-56. 1998.
- 厚生労働省. 食品衛生調査会. 毒性添加物合同調査. 食品添加物一日摂取量総点検調査報告. <http://www.ffcr.or.jp/zaidan/MHWinfo.nsf/98a5d7b766af9bfb492565a10020c601/ce7101d177b43f05492569df000ba6e6?OpenDocument>. 2000.
- 渡辺博之. LED 光源の植物工場への適用. In: 日本植物工場学会 SHITA REPORT. 11: 31-41. 1996.
- 森岡美帆. 発行パターン制御型 LED 照明装置とその応用. In: 日本植物工場学会 SHITA REPORT. 18: 80-88. 2002.
- 渡辺博之. LED を光源とした野菜工場. In: 日本植物工場学会 SHITA REPORT. 17: 13-22. 2001.
- 高辻正基, 辻 貴之, 関 義範, 星 岳彦. 可視発光ダイオードによる植物栽培実験. 植物工場学会誌. 7(3): 163-165. 1995.
- 森 康裕, 高辻正基. LED と LD 光がサラダナ成育に及ぼす影響. 植物工場学会誌. 11(1): 46-49. 1999.
- 富士原和宏, 木村好克, 蔵田憲次. 赤・青色 LED 弱光照射低温貯蔵における青色光 PPFD 比率がトマト接ぎ木セル成型苗の品質に及ぼす影響. 生物環境調節学会誌. 41(4): 361-368. 2003.
- 大橋敬子, 富士原和宏, 木村好克, 松田 怜, 蔵田憲次. 赤青色 LED 混合弱光照射が低温貯蔵中のトマト接ぎ木セル成型苗の成長, Ribulose-1, 5-bisphosphate Carboxylase/Oxygenase 量, クロロフィル量および炭水化物量に及ぼす影響. 生物環境調節学会誌. 42(1): 65-73. 2004.
- Ohashi-Kaneko K, Fujiwara K, Kimura Y, Kurata K. Effect of Blue-Light PPFD Percentage in Red and Blue LED Low-Light Irradiation during Storage on the Contents of Chlorophyll and Rubisco in Grafted Tomato Plug Seedling. Environ. Control Biol. 44(4): 309-314. 2006.
- 平井正良, 雨木若慶, 渡邊博之. LED による単色光照射がナス, リーフレタス, ヒマワリの節間伸長に及ぼす影響. 植物環境工学会誌. 18(2): 160-166. 2006.
- 石村貞夫. 分散分析のはなし. 東京図書, 東京. 37-161. 1992.
- 白旗慎吾. パソコン統計解析ハンドブックⅣノンパラメトリック編. 共立出版, 東京. 1-173. 1987.
- 幸田泰則, 桃木芳枝. 植物生理学—分子から固体へ. 三共出版, 東京. 80-85. 2003.
- 山谷知行. 朝倉植物生理学講座 2 代謝. 朝倉書店, 東京. 47-52. 2001.
- 寺島一郎. 朝倉植物生理学講座 5 環境応答. 朝倉書店, 東京. 50-51. 2001.
- 高辻正基. 植物工場ハンドブック. 東海大学出版会, 東京. 36. 1997.