研究論文

人工光リーフレタス栽培における遠赤色光が生育と品質に及ぼす影響

種村　竜太*　大川原　真*　石井　治彦*　木嶋　祐太**

Effects of far-red light on growth and quality of lettuce

TANEMURA Ryota*, OKAWARA Makoto*, ISHII Haruhiko* and KIJIMA Yuta**

抄　録

完全人工光リーフレタス栽培における最適光環境条件を明らかにするため，遠赤色光が生育と品質に及ぼす影響について検討した。遠赤色光の照射は，葉の縦伸長を促進し，地上部生体重を増大させる効果があることを明らかにした。一方，品質については葉色の淡色化や硝酸イオン濃度の上昇，光強度によっては節間伸長の促進による抽苔などマイナスに働くこともあることが明らかとなった。

1. 緒　言

光・温度・湿度・CO_2 濃度などの環境条件を植物に最適な条件で制御することが可能な完全人工光植物工場（以下，「植物工場」）は，成長産業と位置づけられ，参入企業は増加傾向にある。また，植物工場野菜の特徴としては無農薬，洗わずにそのまま食べられる，長持ちする，えぐみや苦みが少なく食べやすい，ロスが少ないなどが挙げられ[1]，消費者や食品加工業者へ浸透しつつある。しかし，植物工場に関する技術は発展途上であり，装置や生産コストの低減技術や，生産性向上技術の開発が求められている[1]。

植物工場で用いられる光源はこれまで主に蛍光灯であったが，近年は長寿命で消費電力が少なく，発光波長を調節することにより植物に最適な光質を作ることが可能な LED に移行している。植物の光合成は，クロロフィルが光を吸収することにより行われ，光吸収スペクトルが赤色光と青色光の波長にピークがあることから，最適な光質については赤色や青色 LED を用いて様々な試験が行われてきた[2~6]。近年は遠赤色光 LED を用いた研究も行われ[7~9]，生育促進効果が報告されているが，硝酸イオン含量など品質に与える影響については明らかにされていない。

そこで，本研究では，完全人工光リーフレタス栽培における遠赤色光が生育と品質に及ぼす影響について検討した。

2. 材料および方法

2.1 光環境条件

育苗時は昼白色の Hf 蛍光灯（パナソニック（株），FHF32EX-N-H）を用い，光量子束密度（PFD） 200μmol・m^{-2}・s^{-1}，明期 16 時間とした。定植後は，色温度 4200K の白色，ピーク波長 660nm の赤色，ピーク波長 740nm の遠赤色が組み込まれ，色ごとに調光可能なパネル式 LED（オリンピア照明（株））を使用した。明期を 18 時間，定植面における PFD を 200μmol・m^{-2}・s^{-1} とし，白色と赤色の比率（PFD 比）を 1：1 とした。試験区は遠赤色光を照射しない対照区（白 100，赤 100），遠赤色 12.5μmol 区（白 93.8，赤 93.8，遠赤 12.5），25μmol 区（白 87.5，赤 87.5，遠赤 25.0）の 3

*　下越技術支援センター
**　中越技術支援センター

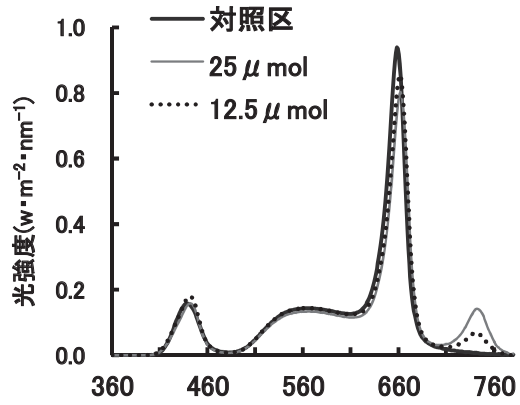

図 1　分光特性

試験区を設けた。図 1 に各試験区の分光特性を示す。

2.2　栽培方法

試験は室温 20±1℃，相対湿度 70±5%の室内で行った。品種は‘ハンサムグリーン’（横浜植木）を供試した。8 月 8 日にウレタンキューブ（2.5cm×2.cm×3.0cm）に播種し，発芽後は OAT A 処方 1/4 濃度（EC 0.7dS/m）の培養液により育苗した。8 月 25 日にプラスチックコンテナ（W390×D540×H90mm）に 8 株ずつ定植し，湛液式水耕栽培（培養液量：8L）により試験を行った。定植後の培養液は OAT A 処方 1/2 濃度（EC1.4dS/m）とし，植物の吸水による減水分を随時水道水で補充し，2～3 日ごとに肥料を追加して EC を 1.4dS/m に調整した。定植後は培養液の循環や更新は行わず，栽培終了まで通気処理を行った。

2.3　調査方法

9 月 16 日に収穫し，地上部と調整葉（黄化した葉などを取り除いた可食部の重量）の生体重・全葉数・生葉数（黄化した葉などを取り除いた葉数）・草丈の測定を行った。生育調査終了後は-40℃で凍結したのちに凍結乾燥および粉砕し，80%熱エタノール抽出を行い，硝酸イオン含有量を Cataldo 法，糖含有量をフェノール硫酸法により測定した。また，80%アセトン抽出法により葉のクロロフィル含量を測定した。

3.　結果および考察

遠赤色光照射による障害発生は認められなかった。地上部重や調整葉重は遠赤色光の照射により対照区と比較して 20%程度重くなったが，12.5μmol 区と 25.0μmol 区に差はなかった（図 2，表 1）。出荷規格を 80g と想定した場合，遠赤色光照射により栽培期間を 2 日程度短縮することが可能と考えられる。地上部の乾物率（地上部の乾物重／生体重）は遠赤色光の照射により対照区と比較して低くなり，地上部乾物重は差がみられなかった（表 1）。最大葉長は，無処理区では 15.1cm であったのに対し，12.5μmol 区では 17.8cm，25μmol 区では 20.7cm

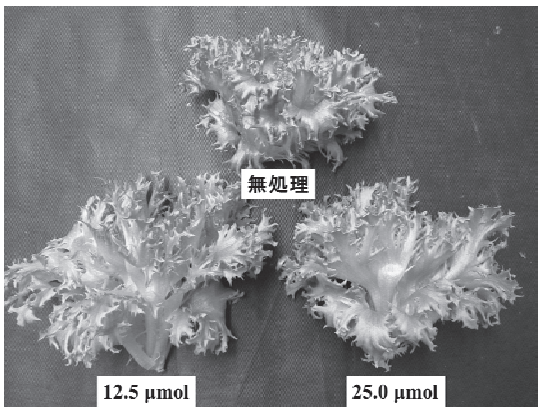

図 2　調整後の状況

表 1　遠赤色光が生育に及ぼす影響

遠赤色光	地上部重 (g/株)	調整葉重 (g/株)	最大葉長 (cm)	全葉数 (枚/株)	生葉数 (枚/株)	葉面積 (cm^2/株)	地上部乾物重 (g/株)
無処理	79.6 b[z]	76.6 b	15.1 c	15.8 b	11.8 a	593.7 b	3.3 a
12.5 μ mol	96.9 a	93.2 a	17.8 b	16.3 b	11.8 a	715.9 a	3.4 a
25 μ mol	97.8 a	90.6 a	20.7 a	18.0 a	13.0 a	665.4 ab	3.3 a

z:同一アルファベット間は，Tukey法により5%水準で有意差なし

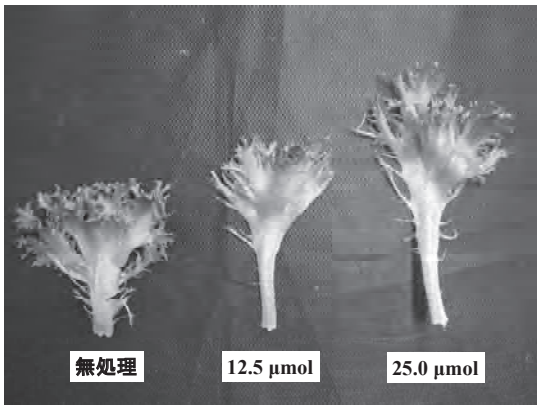

図 3　最大葉の状況

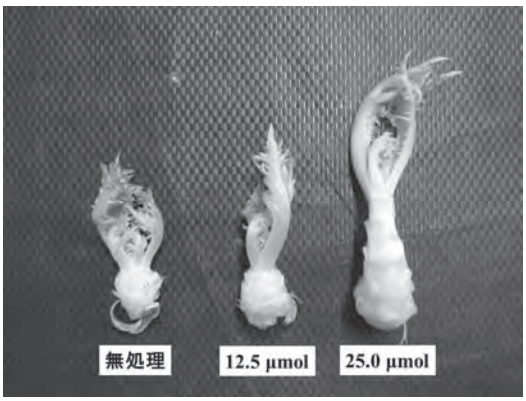

図 4　抽苔の状況

であり，遠赤色光の照射量が多いほど長くなる傾向がみられた（表 1，図 3）。遠赤色光の照射により葉全体の伸長が促進されるのではなく，主に中肋部の伸長が促進されることによって葉長が長くなり，葉の形態が大きく変化していた（図 3）。25μmol 区では無処理区や 12.5μmol 区と比較して全葉数は多かったが，黄化葉も多かったため生葉数は差がなかった（表 1）。葉面積は，12.5μmol 区で大きく，対照区と 25μmol 区では差がなかった（表 1）。25μmol 区では，節間が長く抽苔していた（図 4）。遠赤色光の付加照射による生長促進効果についてはレタス，コマツナ，チンゲンサイなどで報告されている[7~9]。本試験においても遠赤色光の照射により生体重が増加していた。12.5μmol 区では，対照区と比較して生葉数に差がなく葉面積が増加していたことから，1 枚の葉が大きくなることによって生体重が増加し，25μmol 区では葉面積に差がなく生葉数が多かったことから葉数が増加することによって生体重が増加していたと考えられる。遠赤色光の照射による伸長促進効果は赤色光と遠赤色光の比率の変化によってフィトクロム光平衡が変化し，茎や葉脈の伸長速度が増大するために茎長，節間長，葉面積が増加することによる[10]。遠赤色光の光合成への寄与は無視できると考えられるため[10]，生体重増加の原因は遠赤色光自体が光合成を促進するのではなく，茎長や葉脈の伸長が促進し，植物の光源への接近や受光葉面積の増大などにより受光量が増加し，光合成量が増加したためと考えられる。遠赤色光の照射による生育促進効果には品種間差が大きいことから[9]，品種ごとに効果を検証する必要がある。

調整葉の硝酸イオン含量は，対照区で 350mg/100gFW 程度であったのに対し，12.5μmol 区および 25μmol 区では約 10%高い 380mg/100gFW 程度であった（図 5）。本試験で使用した培養液の窒素成分のうち約 90%が硝酸態窒素である。根から吸収された硝酸イオンは硝酸還元酵素（NR）により亜硝酸イオンへ，亜硝酸還元酵素（NiR）によりアンモニアへ還元され，この硝酸還元には光合成で生成される NADPH が関与している[11]。窒素の栄養条件が十分な場合，遠赤色光を照射して赤色光と遠赤色光の比率を変化させても NR 活性は変化しない[12]。一方，乾物率と硝酸イオン濃度には負の相関がある[4]。本試験では，遠赤色光

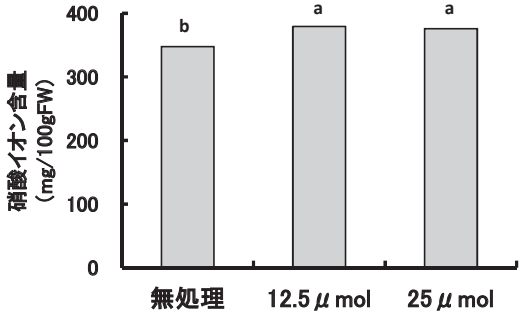

図 5　調整葉の硝酸イオン含量

同一アルファベット間は，Tukey 法により 5%水準で有意差なし

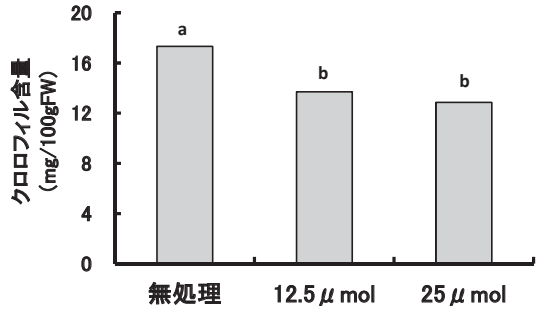

図 6　調整葉のクロロフィル含量

同一アルファベット間は，Tukey 法により 5%水準で有意差なし

の照射により葉に占める中肋部の割合が増大したために乾物率が低下し，硝酸イオン濃度が高くなったと思われる。

葉のクロロフィル含量は，対照区では 17.3mg/100gFW であったのに対し，12.5μmol 区および 25μmol 区では 13.7mg/100gFW，12.8mg/100gFW であり葉色が淡かった（図 6）。遠赤色光の照射によって葉色が淡くなる傾向についてはコマツナにおいても報告されている[13]。クロロフィル量の減少はフィトクロームを介した赤色光と遠赤色光の比により制御されており，赤色光の比率が低下することによって下位の古い葉の老化が促進され，葉が老化していく過程でクロロフィルなどの色素量が減少する[14]。そのため，本試験では遠赤色光照射により赤色光の割合が低下したためにクロロフィル含量が低下し，25μmol 区では黄化葉が増加したと考えられる。

以上のことから，人工光リーフレタス栽培において遠赤色光の照射は，葉の縦伸長を促進し，地上部生体重を増大させる効果があることが確認された。しかし，本試験での照射方法では葉色の淡色化や硝酸イオン濃度の上昇など品質にはマイナスに働く傾向を示しており，照射強度や照射方法などについてはさらに検討が必要である。また，リーフレタスは葉の形態や葉色のバリエーションが豊富で，遠赤色光に対する生育反応には品種間差が大きい思われるため，品種ごとに検証する必要があると考えられる。

5. 結　　言

（1）人工光リーフレタス栽培において遠赤色光の照射は，葉の縦伸長を促進し，地上部生体重を増大させる効果がある。

（2）遠赤色光の比率が高いと節間伸長が促進され，抽苔が早まる。

（3）葉色の淡色化や硝酸イオン濃度の上昇など品質にはマイナスに働くこともある。

参考文献

1）高辻正基，“完全制御型植物工場の現状”，植物環境工学，22 巻，1 号，2010，pp2-7.

2）庄司和博，後藤英司，橋田慎之介，後藤文之，吉原利一，“赤色光と青色光がレッドリーフレタスのアントシアニン蓄積と生合成遺伝子の発現に及ぼす影響”，植物環境工学，22 巻，2 号，2010，pp.107-113.

3）斎藤裕太，清水浩，中島洋，宮坂寿郎，大土居克明，“LED を使用した掻レタス栽培における赤色光をベースとした光質の影響”，植物環境工学，24 巻，1 号，2012，pp.25-30.

4）松本拓也，伊藤博通，白居祐希，白石斉聖，宇野雄一，“光質がレタス生長と野菜中硝酸イオン濃度に及ぼす影響”，植物環境工学，22 巻，3 号，2010，pp.140-147.

5）森康裕，高辻正基，“LED と LD 光がサラダナ生育に及ぼす影響”，植物工場学会誌，11 巻，1 号，1999，pp.46-49.

6）大嶋泰平，大橋敬子，大野英一，渡邊博之，“レッドリーフレタス生産に適した赤色と青色発光ダイオードの光混合条件の検討”，植物環境工学，27 巻，1 号，2015，pp.24-32.

7）佐々木晴美，富田依里子，小西淳，“遠赤色（FR）がレタスの生育に与える影響”，日本生物環境工学会 2013 年大会　講演論文要旨，2013，pp.266-267.

8）野末はつみ，野末雅之，“遠赤色光が光合成活性および生育に及ぼす影響について”，日

本生物環境工学会 2014 年大会　講演論文要旨，2014，pp.52-53.
9）宮嵜航，吉田英生，福田直也，“LED を使用した連続照明条件下における光質中の遠赤色光がリーフレタスの形態形成ならびに成長に及ぼす影響”，園芸学研究，14（別 2），2015，pp.214.
10）村上克介，洞口公俊，柴田治男，森田政明，相賀一郎，“植物栽培用人工光源の開発に関する考察”，生物環境調節，30(4)，1992，pp.135-141.
11）田口亮平，植物生理学大要，養賢堂，1995，pp.216-219.
12）壇　和弘，大和陽一，今田成雄，“光強度および赤色光/遠赤色光の違いがコマツナの硝酸イオン濃度および硝酸還元酵素活性に及ぼす影響”，園学雑，4 巻，3 号，2005，pp.323-328.
13）日高千里，霜村雅昭，堀慧，伊澤侑美子，大谷有理，位田晴久，，日本生物環境工学会 2014 年大会　講演論文要旨，2014，pp.200-201.
14）小野清美，永野聡一郎，“葉の老化に影響を与える環境要因と葉の老化の制御機構”，日本生態学会誌，63，2013，pp.49-57.