研究論文

人工光リーフレタス栽培における遠赤色光照射方法の違いが生育と品質に及ぼす影響

種村　竜太*　白川　正登*　馬場　大輔*　永井　智裕*　石井　治彦*

Effects of irradiation method of far red LED on growth and quality of lettuce

TANEMURA Ryota*,　SHIRAKAWA Masato*,　BABA Daisuke*,
NAGAI Tomohiro* and ISHII Haruhiko*

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，遠赤色光の照射方法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，その生育促進効果はEOD処理のような比較的短時間の照射でも得られることを明らかにした。

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（植物工場）は，植物本来の生産能力を最大限に生かすことが可能である。しかし，植物工場に関する技術は発展途上であり，施設・装置の設置コストや空調・光照射にかかる生産コストが高いことが課題となっている。

これまで，植物工場用の光源には蛍光灯が主に使用されてきたが，近年は消費電力が少ないため生産コストの低減が期待できる LED に移行している。LED は組み合わせによって植物に最適な光質を作ることが可能であることから，当初はクロロフィルの光吸収スペクトルのピーク波長である赤色や青色 LED を用いて様々な試験が行われてきた[1,2]。その後は一般家庭・店舗への普及により価格が低下傾向にある白色 LED を用いた研究も進んでいる[3,4]。さらに近年は光合成有効放射の波長領域から外れる遠赤色光についての研究も進んでおり，生育促進効果が報告されている[5~8]。遠赤色光については，施設栽培のホウレンソウで日没（明期終了）後（End Of day : EOD）の短時間照射により生育が促進されるとの報告もある[9]。しかし，人工光レタス栽培における遠赤色光の EOD 照射の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の照射方法の違い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

光源は色温度 4200K の白色，ピーク波長 660nm の赤色，740nm の遠赤色が組み込まれ，別々に調光可能なパネル式 LED（オリンピア照明(株)）を使用した。発芽後は，明期 16 時間，暗期 8 時間，光合成有効光量子束密度（PPFD）を 200μmol・m^{-2}・s^{-1}（白色 150＋赤色 50）とした。試験区は遠赤色光を照射しない対照区，光量子束密度（PFD）8μmol・m^{-2}・s^{-1} の遠赤色光を定植時から明期に照射した明期区，定植時から明期終了後の 4 時間照射した EOD 全期区，収穫 2 週間前から明期終了後の 4 時間照射した EOD 後期区を設けた。図 1 に各試験区の分光特性を示した。

*　下越技術支援センター

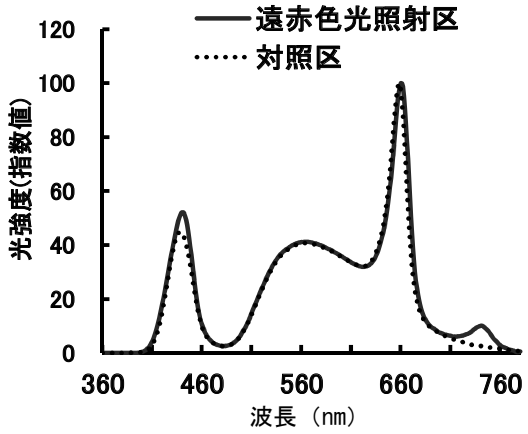

図 1　分光特性
（最大強度を 100 とした指数）

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 4 日にウレタンキューブ（2.5cm×2.5cm3.0cm）に播種し，8 月 19 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：7L）により試験を行った。培養液は OAT-A 処方を用い，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電気伝導率（EC）を発芽から定植までは 0.7～0.8dS・m^{-1}，定植後は 1.4～1.5dS・m^{-1} 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 13 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）・最大葉長の測定を行った。葉を 1 枚ずつ分解してカメラで撮影し、画像処理ソフトを用いて葉面積を算出した。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 法により測定した。

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対照区と比較して明期区では約 20%，EOD 全期区では約 30%重くなったが，EOD 後期区では対照区と有意な差は認められなかった（表 1，図 2）。明期区における生長促進効果については，光源の赤白比や，PPFD が異なるものの前報 [9]とほぼ同程度であった。植物工場で生産された市販レタスを参考に，80g を出荷規格と想定した場合，遠赤色光照射により栽培期間を 2～3 日程度短縮

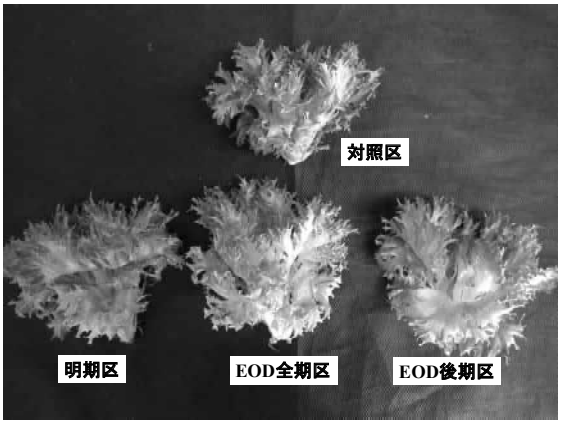

図 2　調整後の状況

表 1　遠赤色光が生育に及ぼす影響

処理方法	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)
対照区	70.6 c[z]	67.2 c	15.8 c	14.8 b	10.5 b	578.1 c	2.8 a
明期区	84.2 ab	79.7 ab	18.0 b	16.6 a	12.3 a	721.0 a	3.2 a
EOD全期区	90.5 a	87.0 a	19.0 a	15.3 b	11.0 b	745.9 a	3.4 a
EOD後期区	77.7 bc	73.8 bc	17.8 b	15.3 b	10.8 b	634.0 b	2.9 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

することが可能と考えられる。

最大葉長は，遠赤色光照射により長くなり，対照区では 15.8cm であったのに対し，明期区では 18.0cm，EOD 全期区では 19.0cm，EOD 後期区では 17.8cm であった（表 1，図 3）。葉の形態は遠赤色光の照射によって大きく変化し，縦横の伸長が均等に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った（図 3）。全葉数及び生葉数は明期区では他の試験区と比較して多かった（表 1）。葉面積は，遠赤色の照射によって大きくなる傾向がみられ，対照区が 578.1cm^2 であったのに対し，明期区では 721.0cm^2，EOD 全期区では 745.9cm^2，EOD 後期区では 634.0cm^2 であった（表 1）。

遠赤色の照射により節間が長くなる傾向がみられたが，品質の上では問題ないレベルであった（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[5~8]。本試験においても定植時から収穫期まで遠赤色光を照射することにより生体重が増加していた。EOD 全期区では，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，明期区では対照区と比較して生葉数が多く葉 1 枚当たりの葉面積に差がな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。

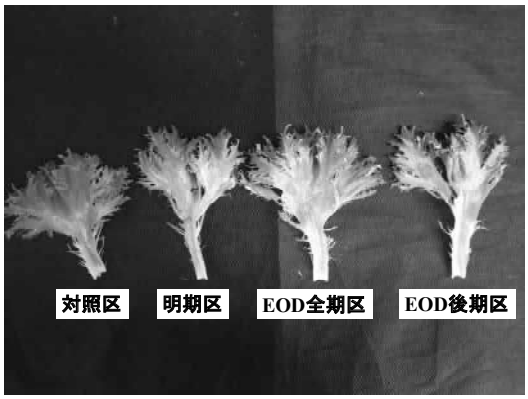

図 3　最大葉の状況

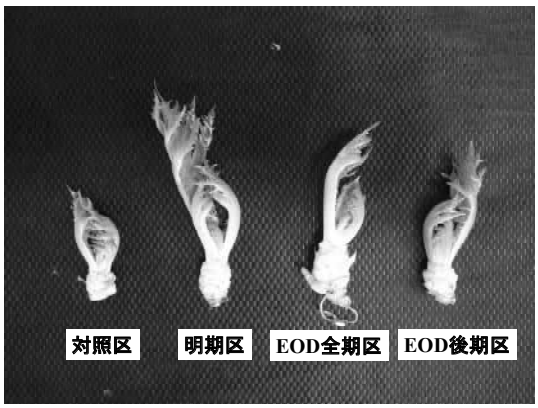

図 4　抽苔の状況

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，生体重の増加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されるために植物が光源へ近づくことによって，より強い光を受光できることや，葉の相互遮蔽が減少するために受光葉面積が増大すること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[10]。リーフレタスは，品種によって葉の形態は大きく異なり，バリエーションも豊富なため，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[7]，そのため，遠赤色光による生育促進効果については品種ごとに検証する必要がある。

調整葉の硝酸イオン含量は，前報[8]では遠赤色光の照射により高くなったが，本試験では差がなかった（図 5）。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るが，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[11]。前報では試験区の光量子束密度を揃えるために遠赤色光を照射した試験区では PPFD が低くなっていたのに対し，本試験では遠赤色光を付与しているために各試験区の PPFD は変わらなか

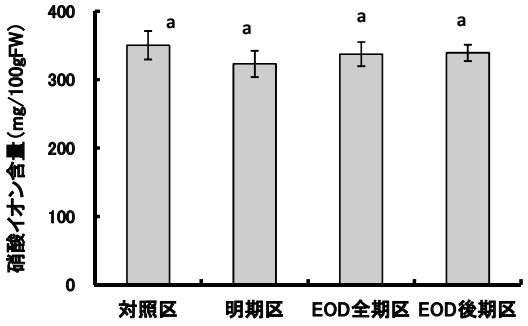

図 5　調整用の硝酸イオン含量

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

ったために前報と異なる傾向を示したと考えられる。

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，地上部重を増大させる効果があり，その効果は EOD 照射のように比較的短い照射時間でも得られることが確認された。しかし，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と思われるため，品種ごとに検証する必要があると考えられる。

4. 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）EOD 照射のような短時間処理でも生育促進効果が認められる。

（3）硝酸イオン濃度などの品質に差は見られない。

参考文献

1）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（3），2010，pp.140-147.

2）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（1），2015，pp.24-32.

3）白井花菜，梶川幸治，野末はつみ，五味正男，野末雅之，“分光分布の異なる白色 LED の植物育成効果”，日本生物環境工学会 2016 年大会　講演論文要旨，2016，pp.40-41.

4）種村竜太，内山雅彦，三村和弘，小林豊，“光質の違いがリーフレタスの生育・品質に及ぼす影響”，新潟工技総研研報，43，2014，pp.35-37.

5）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.

6）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.

7）村上克介，洞口公俊，森田政明，相賀一郎，“遠赤色光（FR）付加照射によって生じるレタス生育の促進”，生物環境調節，30（1），1992，pp.23-28.

8）種村竜太，大川原真，石井治彦，木嶋祐太，“人工光リーフレタス栽培における遠赤色光が生育・品質に及ぼす影響”，新潟工技総研研報，45，2016，pp.32-36.

9）成松次郎，“ホウレンソウの補光栽培に関する研究”，神奈川農総研報，1996，137，pp.17-23.

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）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，pp323-328.