研究論文

人工光リーフレタス栽培における日長の違いが生育・品質に及ぼす影響

種村　竜太*　　内山　雅彦*　　三村　和弘*　　小林　豊*

Effects of day length on growth and quality of lettuce

TANEMURA Ryota*, UCHIYAMA Masahiko*, MIMURA Kazuhiro* and KOBAYASHI Yutaka*

抄　録

完全人工光リーフレタス栽培における最適環境条件を明らかにするため，日長の違いが生育と品質に及ぼす影響について検討した。日積算光量（DLI）同一条件下では 18 時間日長で最も良好な生育を示し，硝酸イオン含量が少なく糖含量が高く品質も優れることを明らかにした。また，光強度（PPFD）同一条件下では 20 時間以上では生育に差がないことを確認した。

1.　緒　　言

完全人工光植物工場（植物工場）は，光・温度・湿度・CO_2 濃度などの環境条件を植物に最適条件で制御することにより，植物本来の生産能力を最大限に活かすことが可能である。植物工場で生産された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，植物工場は初期コストや生産コストが高く，照明設備コストの低減と照明効率の向上が求められている[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，近年は消費電力が少なく高品質化が進む 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赤色や青色 LED を用いて様々な試験が行われている[2~6]。光照射時間（日長）についても研究されているが[7,8]，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日長が生育と品質に及ぼす影響について検討した。

* 下越技術支援センター

2.　材料および方法

2.1　供試光源

育苗時の光源には昼白色の Hf 蛍光灯（パナソニック(株)，FHF32EX-N-H）を用いた。定植以降は白色 LED（シャープ新潟電子工業(株)，ピーク波長 440nm，色温度 5000K）を用いた。

図 1 に供試光源の分光特性を示した。

2.2　日長条件

2.2.1　日積算光量（DLI）同一条件下における日長の検討（試験 1）

発芽から定植までの光強度（光合成有効光量

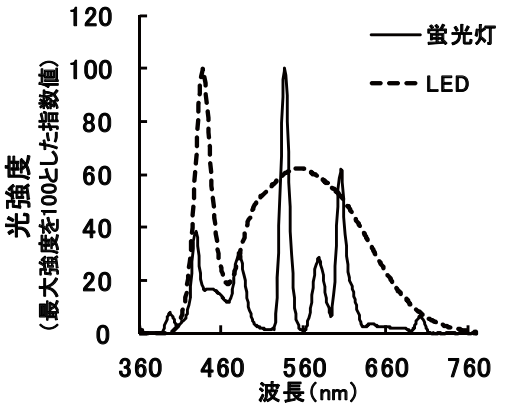

図 1　分光特性

子束密度：PPFD）は 200μmol・m^{-2}・s^{-1} とし，日長は 16 時間とした。定植後は日長を 12 時間・15 時間・18 時間・24 時間の 4 試験区を設けた。各試験区の PPFD（μmol・m^{-2}・s^{-1}）を 270・216・180・135 とし，全ての試験区の DLI を 11.7 mol・m^{-2}・d^{-1} とした。

2.2.2 光強度（PPFD）同一条件下における日長の検討（試験 2）

発芽から定植までの光強度（PPFD）は 200 μmol・m^{-2}・s^{-1} とし，日長は 16 時間とした。定植後は PPFD を 250 μmol・m^{-2}・s^{-1} として 12 時間・16 時間・20 時間・24 時間の 4 試験区を設けた。

2.3 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。試験 1 は 8 月 16 日，試験 2 は 12 月 15 日にウレタンキューブ（2.5 ㎝×2.5 ㎝×3.0 ㎝）に播種し，発芽後は OAT アグリオ（株）の A 処方 1/4 濃度（EC 0.7dS/m）の培養液により育苗した。試験 1 は 8 月 31 日，試験 2 は 12 月 27 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 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。試験は 3 反復で行った。

2.4 調査方法

試験 1 は 9 月 28 日，試験 2 は 1 月 19 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。

3. 結果および考察

3.1 試験 1

地上部重や調整葉重は 18 時間区で最も重く，次いで 15 時間区と 24 時間区では差がなく，12 時間区で最も軽く 18 時間区の約 50%程度であった（表 1）。調整葉の乾物率（調整葉の乾物重／生体重×100）はいずれの試験区においても 4%程度で差がなく，調整葉の乾物重は生体重と同様の傾向を示した（図 2）。草丈は，12 時間区では 16 ㎝程度であったのに対し，他の日長では 20 ㎝程度であった。全葉数は，12 時間区で他区と比較して少なく，24 時間区では黄化葉が多かったため 15 時間区や 18 時間区と比較して生葉数が少なかった。Oda ら[8]は DLI を 18.7 μmol・m^{-2}・s^{-1} として 24 時間日長と 17.5 時間日長とで定植 14 日後におけるレタスの生育を比較した結果，本試験結果とは異なり 24 時間日長で生育が優れると報告している。本試験では商品としての流通サイズまで栽培しており，生育ステージの違いによって異なる傾

表 1 同一 DLI 条件における日長の違いが生育に及ぼす影響（試験 1）

日長	地上部重 (g/株)	調整葉重 (g/株)	草丈 (㎝)	全葉数 (枚/株)	生葉数 (枚/株)
12時間	83.2 c[z]	76.5 c	16.2 c	14.8 b	10.0 c
15時間	112.1 b	105.0 b	19.1 b	17.3 a	13.0 a
18時間	164.5 a	146.6 a	20.4 a	18.3 a	12.6 a
24時間	126.0 b	110.4 b	19.4 ab	17.5 a	11.5 b

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

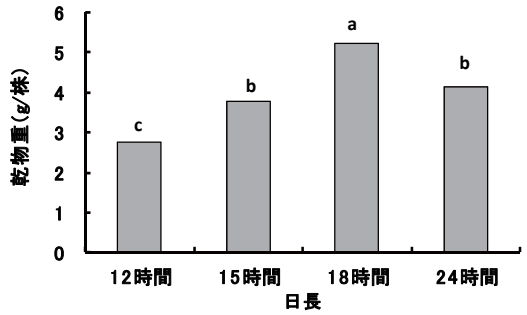

図 2　調整葉の乾物重（試験 1）

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

向を示したと考えられる。一方，四季成り性イチゴにおいて 16 時間日長と 24 時間日長とで DLI が同じ場合，生育は同等であったと報告されている[9,10]。品目は異なるが本試験においても 15 時間日長と 24 時間日長では同等の生育であった。

調整葉の硝酸イオン含量は 18 時間区で低く，他の試験区の約 65～75%であった（図 3）。調整葉の糖含量は，18 時間区と 24 時間区で 12 時間区や 15 時間区と比較して高かった（図 4）。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]。一方，糖は光合成による同化産物である。そのため，乾物生産量や糖含量が高く硝酸イオン含量が低い 18 時間日長条件はリーフレタスにおいて光合成が効率的に行われる日長条件であったと考えられる。

以上のことから，人工光リーフレタス栽培において DLI が同じ場合，18 時間日長にすることにより 12 時間日長や 15 時間日長と比較して生産性や品質が向上するだけでなく，光源の設備コストも 67%または 80%に低減でき，照明による熱負荷も減少するため空調設備の低コスト化も可能であると考えられる。

3.2　試験 2

地上部重や調整葉重は 20 時間日長までは日長が長いほど重くなる傾向であったが，24 時間区では 20 時間区と差はなかった（表 2）。稲田ら[7]のレタスおよびハツカダイコンにおける報告でも 20 時間日長と 24 時間日長では地上部重に差がないとされている。調整葉の乾物率は 12 時間区・16 時間区・20 時間区では 4%程度で差がなかったのに対し，24 時間区では 5%と高く，乾物重は 20 時間区と比較して重かった（図 5）。乾物率については Craker ら[12]の研究によっても 24 時間日長で高くなることが報告されている。草丈は，12 時間区では 12 ㎝程度であったのに対し，他の日長では 15 ㎝程度であった。全葉数は，24 時間区で 12 時間区や 16 時間区と比較して多かったが，生葉数に差はなかった。植物によっては 24 時間日長で

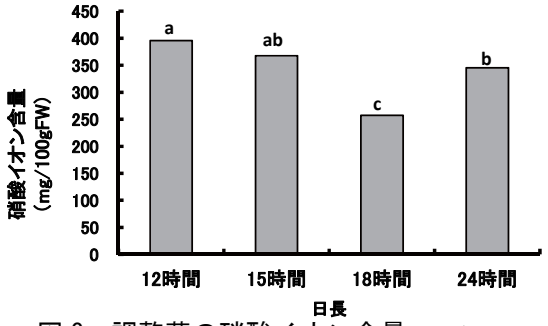

図 3　調整葉の硝酸イオン含量（試験 1）

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

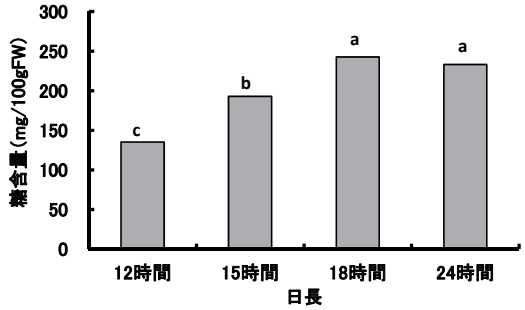

図 4　調整葉の糖含量（試験 1）

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

表 2　同一 PPFD 条件における日長の違いが生育に及ぼす影響（試験 2）

日長	地上部重 (g/株)	調整葉重 (g/株)	草丈 (cm)	全葉数 (枚/株)	生葉数 (枚/株)
12時間	57.0 c	53.7 c	12.3 b	16.0 b	11.5 a
16時間	97.5 b	91.6 b	14.9 a	16.5 b	11.5 a
20時間	127.6 a	120.2 a	15.3 a	17.5 ab	12.5 a
24時間	120.1 a	106.8 ab	14.5 a	18.8 a	12.3 a

z:各品種において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

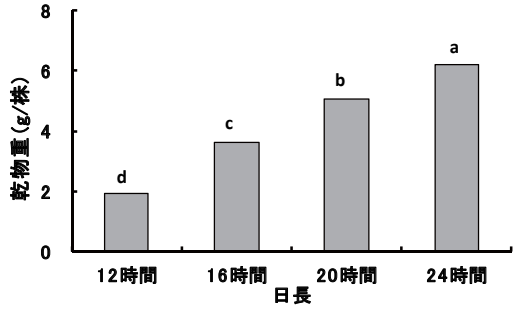

図 5　調整葉の乾物重（試験 2）

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

栽培を行うと生理障害を生じるが [13]，レタスは連続光に対する相対的な耐性評価では高い植物群に分類されており [14]，本試験でもチップバーンなどの障害の発生は認められなかった。しかし，リーフレタスの出荷規格は乾物重でなく調整葉重で決められているため，一定の暗期を設ける必要があると考えられる。

調整葉の硝酸イオン含量は，24 時間区で最も低く，他の試験区の 54～58％であった（図 6）。調整葉の糖含量は，日長が長いほど多くなる傾向が見られ，24 時間区では 12 時間区の約 3 倍であった（図 7）。前述したように植物に吸収された硝酸イオンは NR によって還元される。NR 活性は強光条件で高まるが，培養液濃度が高いケースでは光条件よりも培養液中の窒素濃度の影響を強く受けることがある [15]。松本ら [4]は硝酸イオン含量と乾物率には負の相関があり，乾物率が高ければ硝酸イオン含量が少なくなると報告している。本試験では日長が長いほど DLI は大きくなるが硝酸イオン濃度は 12 時間から 20 時間日長で差がない。そのため，24 時間日長区では連続光により乾物率が高まったことにより硝酸イオン含量が他の日長と比較して少なくなったと考えられる。

以上のことから，PPFD 同一条件下で‘ハンサムグリーン’を栽培した場合，最適日長は 20 時間程度と考えられる。日長条件に対する調整葉重への影響については品種間差があるため [16]，品種毎に最適日長を検討する必要がある。

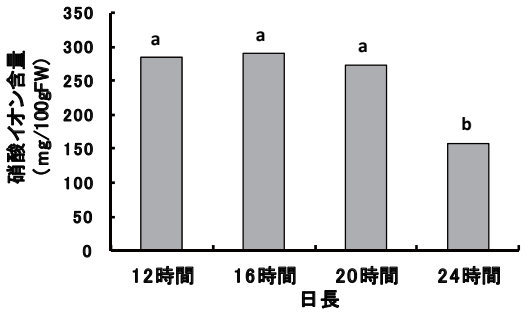

図 6　調整葉の硝酸イオン含量（試験 2）

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

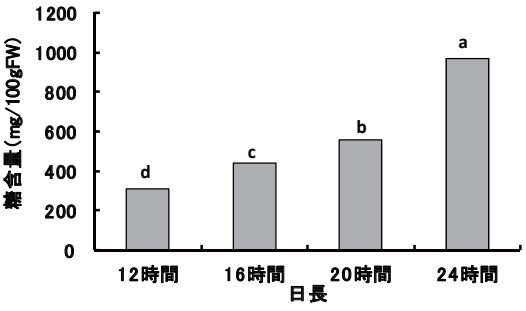

図 7　調整葉の糖含量（試験 2）

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

5. 結　　言

（1）DLI が同じ条件下では，18 時間日長で最も良好な生育を示し，硝酸イオン含量が少なく糖含量が高く品質も優れる。

（2）PPFD が同じ条件下では乾物重は 24 時間日長で最大となるが，調整葉重は 20 時間以上では差がない。

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，pp107-113.

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，pp25-30.

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，pp140-147.

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，pp46-49.

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，pp24-32.

7）稲田勝実，藪本陽一，“レタスおよびハツカダイコンの生長に及ぼす光質，日長ならびに変温の影響”，作物学會記事，58 巻，4 号，1989，pp689-694.

8）Oda M，Aoki S，Nagaoka M，Tsji K，“Nutrient Solution Culture of leaf under Artificial Light Ⅱ”，*Environ. Control in Biol.*，27，3，1989，pp75-82.

9）Miyazawa Y，Hikosaka S，Goto E，Aoki T，“Effects of light conditions and air temperature on the growth of everbearing strawberry during the vegetative stage”，*Acta Hort*，842，2009，pp817-820.

10）吉田英生，彦坂晶子，後藤英司，高砂裕之，工藤善，“完全人工光植物工場における連続明期およびその開始時期が四季なり性イチゴ苗の開花までの日数および生育に及ぼす影響”，植物環境工学，25 巻，2 号，2013，pp77-82.

11）田口亮平，植物生理学大要，養賢堂，1995，pp216-219.

12）Craker L. E.，Seibert M.，“Light and the development of grand Rapids lettuceE”，*Can. J. Plant Sci*，63，1983，pp277-281.

13）畑　直樹，枡田正治，小林昭雄，村中俊哉，岡澤敦司，村上賢司，“閉鎖型植物工場における連続光の利用（第 2 報）”，植物環境工学，23 巻，4 号，2011，pp127-136.

14）畑　直樹，枡田正治，小林昭雄，村中俊哉，岡澤敦司，村上賢司，“閉鎖型植物工場における連続光の利用（第 3 報）”，植物環境工学，23 巻，4 号，2011，pp137-143.

15）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.

16）北﨑一義，大和陽一，前田昭一，池長裕史，岡本章秀，鮫島國親，“人工光植物工場における日長条件が多様なリーフレタス品種の成長や形態形成に及ぼす影響の品種間差”，日本生物環境工学会 2014 年東京大会講演要旨，23 巻，4 号，2014，pp72-73.