LED による特定周波数の光刺激がレタスの生育に及ぼす影響

中林和重・鈴木崇範

明治大学農学部 214-8571 神奈川県川崎市多摩区東三田 1-1-1

Effect of LED-light Stimulation at Specific Frequencies on Lettuce Growth

Kazushige NAKABAYASHI and Takanori SUZUKI

*Department of Agricultural Chemistry, Faculty of Agriculture, Meiji University, 1-1-1
Higashimita, Tama, Kawasaki, 214-8571, Japan*

Abstract

Plant growth rate can be controlled by adjusting both the light quality and during light and dark transition. Light intensity and time also have an effect on growth rate.

We investigated the effects of low-intensity light irradiation of specific frequency on the growth and inorganic contents of lettuce in the field. Lettuce was cultivated using three types of nutrient solution (complete nutrition, $\text{NO}_3\text{-N}$ -excessive, $\text{NO}_3\text{-N}$ -deficient). Light sources were red and yellow LEDs, which are low-cost artificial light sources used in plant production. Leaves were irradiated by pulsed LED-light for several hours each day.

Red and yellow LED-light stimulation of specific frequency (20 Hz, 50 Hz) increased the lettuce yield in nutrient solutions with lower $\text{NO}_3\text{-N}$ concentrations, despite of the fact that the chlorophyll in lettuce does not response much yellow light. Changes in light stimulation frequency affected $\text{NO}_3\text{-N}$ concentrations in lettuce sap. These results suggest that stimulation by red or yellow LED-light in the field has a positive effect on photosynthetic activity.

Keywords : culuture, hydroponic, LED, light stimulation, photosynthetic activity

緒 言

植物へ人工光を照射する研究が盛んに進められており、光の質や明暗周期を制御することにより、植物の生育を制御できることが知られている¹⁻⁵⁾。われわれも野外で生育しているレタスやトマトに、20 Hz のストロボ光を照射すると、生育や無機成分濃度が変化することを見出している⁶⁻⁸⁾。本研究ではガラス温室内で生育しているレタスに、種々の周波数で点滅している LED 光を照射した結果、生育や汁液無機成分濃度に変化が見られたので報告する。

材料および方法

1. 試験区

試験区は実験計画法⁹⁾に基づいて、くり返しのある多因子多水準試験¹⁰⁾とした。すなわち、培養液の硝酸態窒素濃度の違いの因子について3水準(標準濃度、標準濃度の ± 3 割濃度)、光色の違いの因子について2水準(赤色光、黄色光)、光の点滅周波数の違いの因子について4水準(20 Hz, 50 Hz, 2500 Hz, 連続光)を組み合わせた24通りを2反復して48試験区を設けた。また、対象区として培養液の窒素濃度の違い3水準について、それぞれ無照射区を設けた。

2. 栽培概要

栽培は明治大学生田校舎(神奈川県川崎市)圃場内のガラス温室内で行った。供試作物はレタス(*Lactuca sativa* L. 品種‘しずか’：横浜植木株式会社)を用い、2001年

2002年10月7日受付

2003年6月3日受理

Corresponding author: Kazushige Nakabayashi
(planfood@kw.netlaputa.ne.jp)

10月22日にパーミキュライト床に播種し、子葉展開後ウレタン製スポンジに仮植した。11月16日(播種後25日目)に試験区ごとに定めた培養液6lを満たしたプラスチック製の栽培ベッド(54×34×9(cm))に、定植床に見立てた発泡スチロール板を浮かべ、各試験区とも6株ずつ定植した。その後12月7日(播種後47日目)よりの光点減照射を開始し、12月25日(播種後65日目)に栽培を終了して、生育調査および化学分析を行った。

培養液は、仮植までは園芸試験場処方¹⁾の0.3単位、定植までは0.5単位で管理した。定植後は硝酸態窒素標準濃度区では山崎レタス処方¹⁾を用い、硝酸態窒素高濃度区では硝酸態窒素濃度を標準区の3割増、硝酸態窒素低濃度区では標準区の3割減とした(Table 1)。

光源には、赤色LED(ER-500L:スタンレー電気, 5mm径, 7.6mm長, 最大発光波長660nm)と黄色LED(HPY5066X:スタンレー電気, 5mm径, 7.6mm長, 最大発光波長570nm)をレタス1株につき1個ずつ設置した。発光光度はそれぞれ875mcdと300mcdである。LEDは植物体上方に張った細い針金(2mm径)に取り付けた(Fig. 1)。照射時間は毎日AM9:00~11:00の2時間とし、デューティー比は1:1とした。なおLEDから定植床までの距離は約15cmであり、植物体上部

までの距離は照射開始時に約5cmになるようにした。なお、収穫時には植物体の背丈がLEDの位置とほぼ同じになった。なお、本実験の照射装置は、植物体上部に小型のLEDと細い針金が設置されているだけで、太陽光の遮光はほとんど無く、これによる生育への影響は無いと考えられた。

3. 生育調査

播種後65日目に各試験区(24試験区×2反復=48試験区)それぞれ6株のうち、平均的な生育を示した2株を採って可食部生重量をそれぞれ測定した。対象区も同様である。

4. 汁液中の無機成分分析

各試験区から最も平均的な生育をしている1株を選び、可食部生重量の19倍量の蒸留水を加えてミキサー(ファイバーミキサーMX-X42:松下電器産業株式会社)で約1分間破碎した。この液をろ過(No. 5A: ADVANTEC)後、遠心分離(10450×g, 5min)し、上澄み液を分析試料とした。NO₃-Nはリフレクトクアント試験紙を用いて簡易比色計(RQ-Flex: MERCK社)で測定し、Pは硫酸モリブデン法¹²⁾、K, CaおよびMgは原子吸光光度計¹³⁾で測定した。

結 果

1. 可食部生重量

可食部生重量は、培養液中の硝酸態窒素濃度に対応して変化した。すなわち、標準濃度区で最も生育が良好(平均71.2g)で、高濃度区(平均52.6g)と低濃度区(平均61.8g)では有意に小さかった(Table 2, Table 3)。これを対象区の無照射区(Table 2最下段)と比較すると、窒素標準濃度区(71.2g)と高濃度区(52.6g)では、光照射によってかえって生育量が低下する傾向があるが、窒素低濃度区では61.8gを示し、光照射によって生育が旺盛になったことが伺える。そこで、硝酸態窒素低濃度区(8試験区×2反復=16試験区)だけに着目して統計処理を行なうと、Fig. 3の通りとなり、可食部生重量は光照射に大きく影響されていることが分かる。すなわち、可食部生重量は光照射によって増大するが、とくに20Hzおよび50Hzの低い周波数の光照射の場合にそれぞれ65.1g, 60.5gとなっており、効果は明瞭(P=0.02)であるといえた(Fig. 2)。

同様に、硝酸態窒素低濃度区(8試験区×2反復=16試験区)に限ってみると光色の違いによる影響も明瞭(P=0.02)で、赤色光区では平均59.9gであったのに対して、黄色光区では平均63.7gと、より大きかったこ

Table 1 Composition of nutrient solutions

NO ₃ -N concentration	N	P	K	Ca	Mg
High	7.8				
Standard	6	1.5	4	2	1
Low	4.2				

(me/L)

Fig. 1 Light stimulation system

Table 2 Effects of $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration, light color and light frequency on fresh weight and $\text{NO}_3\text{-N}$ content of lettuce sap

Experimetnal criteria			Fresh weight (g)	Inorganic content (ppm)
NO ₃ -N concentration	Light color	Light frequency		NO ₃ -N
High	Red	20Hz	54.1	633
		50Hz	49.0	497
		2500Hz	51.9	520
		Continuous	39.0	339
	Yellow	20Hz	47.7	791
		50Hz	59.1	452
		2500Hz	49.9	520
		Continuous	69.9	249
Ave.		52.6	500	
Standard	Red	20Hz	79.4	520
		50Hz	71.9	610
		2500Hz	63.2	384
		Continuous	78.1	249
	Yellow	20Hz	41.4	362
		50Hz	83.8	407
		2500Hz	71.0	362
		Continuous	80.9	316
Ave.		71.2	401	
Low	Red	20Hz	62.3	339
		50Hz	63.1	136
		2500Hz	58.0	90
		Continuous	56.2	316
	Yellow	20Hz	67.9	271
		50Hz	65.2	384
		2500Hz	63.0	158
		Continuous	58.7	158
Ave.		61.8	232	
High	(none) Control	59.6	520	
Standard		88.4	407	
Low		51.4	181	
Ave.		66.5	369	

Table 3 Analyses of variance in respect of $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration, light color and light frequency on fresh weight of lettuce

Source of variation		Sum of squares	v	Mean square	F-value	Probability
A	$\text{NO}_3\text{-N}$ concentration	1389.47	2	694.74	6.15	0.04
B	Light color	43.47	1	43.47	0.39	0.56
C	Light frequency	148.29	2	74.14	0.66	0.55
AB	$\text{NO}_3\text{-N}$ concentration $\times$ Light color	185.26	3	61.75	0.55	0.67
AC	Light color $\times$ Light frequency	404.52	6	67.42	0.60	0.73
BC	$\text{NO}_3\text{-N}$ concentration $\times$ Light frequency	542.09	3	180.70	1.60	0.29
Error	Within treatments	677.70	6	112.95		
Total		3390.80	23

Fig. 2 Effect of LED-light stimulation at various frequency on fresh weight of lettuce in lower $\text{NO}_3\text{-N}$ nutrient solution (◆: 95% confidence interval)

(◆: 95% confidence interval)

Source of variation	Sum of squares	v	Mean square	F-value	Probability
A Light color	28.88	1	28.88	18.71	0.02
B Light frequency	74.05	3	24.68	15.99	0.02
Error Within treatments	4.63	3	1.54		
Total	107.56	7			

Fig. 3 Analyses of variance in respect of light color and light frequency on fresh weight of lettuce consisting of lower $\text{NO}_3\text{-N}$ nutrient solution

とが分かる (Fig. 3).

2. 汁液中の無機成分濃度

汁液中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度を Table 2 に、分散分析表を Table 4 に示す。これによると、培養液中の硝酸態窒素濃度の違いに対応して、レタスの汁液中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度

が変化し、硝酸態窒素高濃度区で平均 500 ppm と最も高く、続いて標準濃度区で平均 401 ppm、低濃度区で平均 232 ppm と有意 ($P=0.00$) に低かった。

また、統計的に有意ではなかったが、硝酸態窒素低濃度区で、点滅周波数が 20 Hz の時には、汁液中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が平均 305 ppm を示し、無照射区の 181 ppm のみならず他の窒素低濃度区の全平均値である 207 ppm よりも高く回復しているように見うけられた。

なお、汁液中の P 濃度、K 濃度、Ca 濃度、Mg 濃度はどれも試験要因の影響を受けず、全試験区の平均値はそれぞれ 188 ppm, 4711 ppm, 1019 ppm, 200 ppm であった。

考 察

1. 生育結果

これまで、ストロボ光による光照射で、生育に差が見られたが^{3,6-8)}、LED 光でも光色と光の点滅周波数によって可食部生重量が影響を受けた。とくに、硝酸態窒素低濃度区では、無照射区よりも光照射区の方が大きく、中でも低い周波数である 20 Hz の光照射をした時が最もその効果は大きかった。また、光色についてみると、赤色光を照射した場合よりも、黄色光を照射した場合のほうが可食部生重量が大きかった。クロロフィルの極大吸収波長ではない黄色の弱い LED 光で、しかも低い周波数の点滅光が、光エネルギーとして直接的に光合成量を増加させているとは考えにくいので、筆者らは光が刺激となって可食部生重量が増大したものと考えている。今後、この現象についてさらに検討する予定である。

2. 汁液中の無機成分濃度

すでにストロボ光照射により P, Ca, Mg 濃度が増加するとの報告⁹⁾があるが、本実験においては LED 光の照射が $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度に影響を及ぼしていることが示された。光照射をした場合に、その周波数が低い 20 Hz 区のレタス汁液中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が高い傾向があったとい

Table 4 Analyses of variance in respect of $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration, light color and light frequency on $\text{NO}_3\text{-N}$ content of lettuce sap.

	Source of variation	Sum of squares	v	Mean square	F-value	Probability
A	$\text{NO}_3\text{-N}$ concentration	295335.25	2	147667.63	15.20	0.00
B	Light color	1717.04	1	1717.04	0.18	0.68
C	Light frequency	11843.58	2	5921.79	0.61	0.57
AB	$\text{NO}_3\text{-N}$ concentration $\times$ Light color	155507.46	3	51835.82	5.34	0.02
AC	$\text{NO}_3\text{-N}$ concentration $\times$ Light frequency	112919.42	6	18819.90	1.94	0.18
Error	Within treatments	87414.88	9	9712.76		
Total		664737.63	23			

う事実と、培養液中の硝酸態窒素濃度が低い場合に、低い周波数の光照射で、レタスの生育が良好であったという両者の相関は、レタスの生育促進の現象を考えるうえで重要である。

3. 今後の展望

今後、光刺激と光合成との関連性や日射量との関連性を検討することにより、低い周波数の光を与えることで、植物の生育を制御することができると考えている。筆者らは、これにより収量増大や肥料の過剰施肥による環境悪化の問題を解決する糸口が見出せたものと考えている。

ま と め

本研究では養液栽培法を用いて、レタスに特定周波数のLED光を与えた時の可食部生重量、汁液中の無機成分濃度について測定した。その結果、培養液中の硝酸態窒素濃度を通常の場合よりも3割減の濃度で栽培しているレタスに、20 Hzや50 Hzの低い周波数の黄色または赤色の光刺激を与えた時に、可食部生重量が大きい傾向があった。クロロフィルの極大吸収波長である660 nm付近の赤色光以外に、クロロフィルにはあまり吸収されない570 nm付近の黄色光を照射した場合にもこの効果が見られた。また、赤色光、黄色光ともに低周波の光刺激を与えた場合に汁液中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が高かった。これらの事実から、われわれは照射した光が刺激となって、レタスの養分吸収や生育に影響を与えたものと考えている。

謝 辞

本研究を実施するに当たり、栽培管理と化学分析等で協力いただいた栗田真吏氏、木村豊氏に深く御礼申し上げる。

引用文献

- 1) 羽生広道, 庄子和博: 夜間補光の光質制御によるホウレンソウの生育改善—青や赤の短時間補光により起こる生長促進現象—, 農業環境工学4学会2002年合同大会, pp. 357(2002)
- 2) 小島孝之, 山崎 明, 中原光久, 中野智子: LED補光によるトマト接ぎ木苗の養生効果, 日本植物工場学会平成10年度大会学術講演要旨集, pp. 24-25(1998)
- 3) 森 康裕, 高辻正基: レーザー光によるサラダナ栽培実験, 植物工場学会誌13(1): 7-12(2001)
- 4) 高橋直樹, 平間淳司, 宮本紀男, 堀岡雅清, 弘田憲史: 茸(なめこ)における光刺激と生体電位反応(第1報)—刺激波長と生体電位との関係—, 植物工場学会誌11(3): 209-213(1999)
- 5) 山崎 文, 土屋広司, 宮島博文, 本間高宜, 管博文: 半導体レーザー光がサラダナ生育に及ぼす影響, 植物工場学会誌12(2): 93-98(2000)
- 6) 浅井 司, 齋藤真琴, 中林和重: ストロボ光照射とUV照射および培養液へのサンゴ砂の添加がサラダナの収量や品質におよぼす影響, 農業環境工学関連4学会2001年合同大会, pp. 245(2001)
- 7) 栗田真吏, 浅井 司, 中林和重, 船木正人: 養液栽培サラダ菜への光照射と培養液へのサンゴ砂添加が葉面電位変化と植物体中無機成分に及ぼす影響, 農業環境工学関連4学会2001年合同大会講演要旨, pp. 248(2001)
- 8) 中林和重, 浅井 司: ストロボ光やUV光による補光および培養液へのサンゴ砂の添加がレタスの収量や品質に及ぼす影響, 植物工場学会誌13(3): 183-191(2001)
- 9) 中里博明, 平栗 昇ほか: 実験計画法テキスト, 日本技連, pp. 125-149(1991)
- 10) 奥野忠一, 芳賀敏郎: 実験計画法, 培風館, pp. 94-130(1969)
- 11) 社団法人日本施設園芸協会: 最新養液栽培の手引き, 誠文堂進光社, pp. 140-156(1996)
- 12) 作物分析法委員会: 栄養診断のための栽培植物測定法, 養賢堂, pp. 71-72(1975)
- 13) 長谷川和雄, 保田敬彦: 原子吸光分析, 講談社, pp. 148-265(1972)