

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月24日現在

機関番号：32639

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K07962

研究課題名(和文)人工光植物工場用栽培光源としての緑色発光ダイオードの有用性の検討

研究課題名(英文) Usefulness of the green light-emitting diode as an artificial lighting plant factory for cultivating source

研究代表者

兼子 敬子(大橋敬子)(KANEKO, Keiko)

玉川大学・農学部・教授

研究者番号：50332599

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：人工光植物工場の光源としての緑色光の有用性について検討した。緑系レタスのグリーンウェーブについて、緑色光は下位葉のクロロフィル濃度、rubisco濃度の低下抑制に効果があった。すなわち下位葉の老化抑制効果があった。インゲンの栽培においては、緑色光が入っていないと葉が黄化した。rubisco量には問題なかったため主に光化学系における損傷が考えられた。インゲンの健全な葉の形成に緑色光は必須であるという新しい事実が分かった。本研究により、緑色光の必要性は植物種によって変わるということが明確にされた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

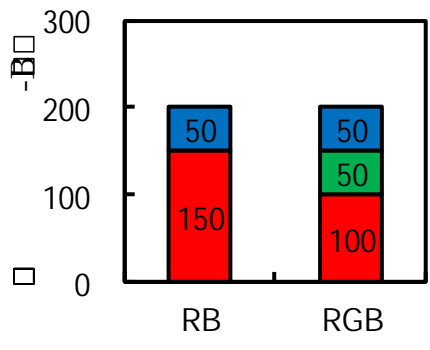
人工光植物工場では赤色と青色の発光ダイオード(LED)が主に用いられている。それは緑色LEDの価格がまだ高いことによるが、植物栽培における緑色光に必要であるかどうかは明確にされていなかった。本研究により、リーフレタスでも品種により必要性は異なり、赤系リーフレタスには用いないほうが良いこと、緑系リーフレタスには下位葉の老化抑制に効果があることから必要であることがわかった。これは緑系リーフレタスにおいては生産の歩留まりを上げる効果がある点で、非常に有用な情報であると考えられ、その意義は高いものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：We examined the usefulness of green light as a light source of artificial light plant factory. With respect to green lettuce cultivation, green light was effective in suppressing the decrease in chlorophyll concentration and rubisco concentration in the lower leaves. That is, there was an aging suppression effect of the lower leaves. In bean cultivation, the leaves turned yellow unless green light was introduced. The damage in the photosystem was considered mainly because there was no difference in the amount of rubisco between light treatments. A new fact has been found that green light is essential for the development of healthy leaves of beans. This study clarified that the need for green light varies with plant species.

研究分野：環境調節工学

キーワード：緑色光 赤系リーフレタス 緑系リーフレタス インゲン 光合成 クロロフィル rubisco

* %26... LED Bi KZKZ8... LED)sOZ
 KZ8>2e, cBK7-cBTECggBx, B1K>
 M(1)B1M > 2e, x7÷b...
 6169ZKZBxggBmMGF, bB6XA
 KZ8#>Bs, LED b...
 XZcCuz%2NopBf ZGWS>)s, LED
 boAcWZAS# KZ#s, bG...
 %Zs, @s, b0KZ8Su)s, cBQZ
 88%8SSu6: >
 G Terashima et al. (2009)s, v...
 8G... S>S(s, b...
 QmZ8>-b4K(S)s, c>...
 8... WSc-%b4S|>ObSu...
 ... ZB>-%E2e, x7÷b...
 90... b... 70> 80... M|>2e, x7÷c-...
 b/(h))p... s, c y))P(b/b)ey))r...
 MG... -%b... [AG... Z8|>Gb|
 : T... S, d... d...
 Y 8cE- ... 5K... v... 2A6w...
 bVzgXb... G... s, %2ba... WS >...%\%b6b(
 ... C... %v56: , NZ8>...
 ... e, x7÷c4V4... bPK)s, c4b4r...M
 G... 44r)s, ... 4bl...
 ... B... KZV455... MG... C...
 B(... >
 ... %2b% \$
 ... 2... 7...
 2AG... 8...
 ... 6... M ...
 ... 8...
 ... M...
 ... B...
 ... B... B... B... 66...
 ... chl > ribulose-1, 5-bi sphosphate carboxylase/oxygenase& rubi sco> b μ
 w5 \ -%b... WS > ... KZ/WS >G
 ... s, b... 44)... M-%bB9wZ 455b0...
 ... 2AV... rSB...
 OJZ 8SuQb9f30? }s, c%=&=...ZOKSE- ~
 b#5KZ... 0... 06MG...>
 ... 2...
 ... B...
 Ü ... b...
 K ... ZIØ 120 # mol m⁻² s⁻¹ b° 16 h ...
 22M... (KS>-%6Z)sKS> 2 46°
 ... KS>6... OAT < A & EC8 1.0 # S m⁻¹> pH8 6.5...>
 ... 9/... s, ...
 V3b), Q... & 573 mm 388 mm 105 mm: 17 L> 06A...
 OS DFT B/... S> 1 ... 64... 84... 104KZ 37u
 b... KS>... OAT < A & EC8 1.5 # S m⁻¹> pH8 6.5...> 7
 ... 1 Gb8... S> Gb... 2e, & 660 nm> s
)s, & 523 nm\ 7÷& 450 nm> LED ... B... W... ZKS > 6ub
 14 ... 2e, & 150# mol m⁻² s⁻¹> 7÷ & 50# mol m⁻² s⁻¹> b... BKS>
 _ 2e& 100# mol m⁻² s⁻¹> 7& 50# mol m⁻² s⁻¹)s, & 50# mol m⁻² s⁻¹> ... S RGB
 ... 2e, & 150# mol m⁻² s⁻¹> 7÷ & 50# mol m⁻² s⁻¹> bs... B... S RB b 2... 2A
 #0KZ ... 2 4 6BKS >



赤色光(R)
 緑色光(G)
 青色光(B)

図1 グリーンウェーブおよびレッドファイヤーの光処理時の光条件

00%

□

B017871%8%>0:m5

K > 1 46S~ b00KS >

r

B017871%8%>0:m5

4 -%0 12 -%)7% rS-%b-%3-%)404U 1 g

)KS> Q04) b558' KSbU > (0)KS >

D-% ? B04160 rubi sco 5KS > c Maki no et

al. (1994)b 25KZ/WS > D-%5% chI b5/WS> chI b0 80 %a >

7. 01547Z chI b5/WS> rubi sco 5KS>00<

Arnon (1949)b2WZ/WS > 9b0 SDS #/WS > Gb SDS #0

42(7+ > V0pKZ > Rubi sco 000~

7KKZ > KS> KS > 5)zc5/Y

K00

KS >

S

B017871%8%>0:m5

1 46PZ 4 -%b030 KS> c B-hS30

/00 LI-64008 Li-Cor > (0) S >

2>%2BY

2e)s70

Ms8j

B017871%8%>0:m5

b: m5W 3_ gKS>0

41 % > 0

b> 0

0K 90 0 RGB \ RGB [04%

:m50KS 0 2 0W 3 V> > 0 0

0 V4: m55 040KS

2 0W 3 W> > 0%0

(0 000

0k 270 280nm> 00k 465 560nm 04

0K (Silva et al., 2007) > 70)s, b

-%00000

00B, (0)KS Y

0)MG00>GbSu>

0 0 0 RB mZ RGB 0Z%

p6Sb B017871%8%>0:m5

WS> > 00i 0

00^ WS> 0KS|

:>)s, 0)-_ 0)KS G0 RGB 00

0e b02KSvb0 >

0> 2e)s70 bLpMs8j



図2 栽培最終日におけるレッドファイヤー (上)およびグリーンウェーブ (下)の草姿

~~W6~~ ~~12-%b chl~~ ~~4-%(V)-%b~~ ~~rubi sco~~ ~~μ5~~ ~~KS>3c-%8Su~~ ~~4b4(EZ KS~~ ~~c 90~~ ~~4b~~ ~~chl μ5~~ ~~W 4 Vb~~ ~~rubi sco μ5b)KZ8~~ ~~[RB~~ ~~RGB [98K~~ ~~chl μ5~~ ~~4-%~~ ~~cwj~~ ~~WS~~ ~~rS~~ ~~12-%V~~ ~~RGB~~ ~~A84WS~~ ~~W~~ ~~Gb~~ ~~rubi sco μ~~ ~~5\ chl μ5~~ ~~b 4~~ ~~-%3p4V]~~ ~~bWS~~ ~~N>~~ ~~rS~~ ~~chl~~ ~~cKZ8@~~ ~~4-%b rubisco μ5~~ ~~/chl~~ ~~μ5c~~ ~~RGB~~ ~~WS~~ ~~-%b*~~ ~~M4Z~~ ~~chl b(0V~~ ~~rubi sco b(0bo:~~ ~~R4/M~~ ~~KSZ~~ ~~RGB b~~ ~~GZ8~~ ~~>~~ ~~RGB b~~ ~~o: [%b4/Z84~~ ~~6Q5MG~~ ~~7~~ ~~U~~ ~~31~~ ~~% E~~ ~~RGB \~~ ~~RB~~ ~~b 4-%b~~ ~~%R~~ ~~RGB bo: @~~ ~~-%G~~ ~~4 W~~ ~~,>~~ ~~Gb~~ ~~4-%Z~~ ~~-%b~~ ~~n~~ ~~30~~ ~~KSG~~ ~~80~~ ~~W~~ ~~& PPF1500 # mol m⁻² s⁻¹~~ ~~PPF200# mol m⁻² s⁻¹~~ ~~CO₂ h30~~ ~~RB~~ ~~RGB~~ ~~b~~ ~~8~~ ~~WS~~ ~~N>~~ ~~G~~ ~~bG~~ ~~s~~ ~~b,c~~ ~~U~~ ~~W~~ ~~)bB~~ ~~DZK~~ ~~S455~~ ~~RB~~ ~~v RGB~~ ~~[M~~ ~~op~~ ~~v~~ ~~bWSGKZ8~~ ~~> W 3 Wb~~ ~~RGBbV4:m5cN?~~ ~~RB~~ ~~ψAC~~ ~~Bb~~ ~~QbG\WS~~ ~~>~~ ~~OB~~ ~~B~~ ~~OZ9M~~ ~~s), cW)-%b~~ ~~DM%6~~ ~~>~~ ~~W 4~~ ~~,MGW~~ ~~RB b~~ ~~b~~ ~~v?~~ ~~4-%c, b7/dl~~ ~~@ > RGB b~~ ~~4~~ ~~-%KZ~~ ~~RG~~ ~~>~~ ~~GbG\~~ ~~Wc),~~ ~~5~~ ~~>~~ ~~s7³BLpMs8j~~ ~~PI S), %bD~~ ~~ba8)s, sup?MSu~~ ~~2 AK~~ ~~ZONS~~ ~~>~~ ~~AV4:m55V455cZ~~ ~~WS@~~ ~~N?~~ ~~RB~~ ~~RGB~~ ~~WS~~ ~~(N~~ ~~5>>~~ ~~gp(2)-%b~~

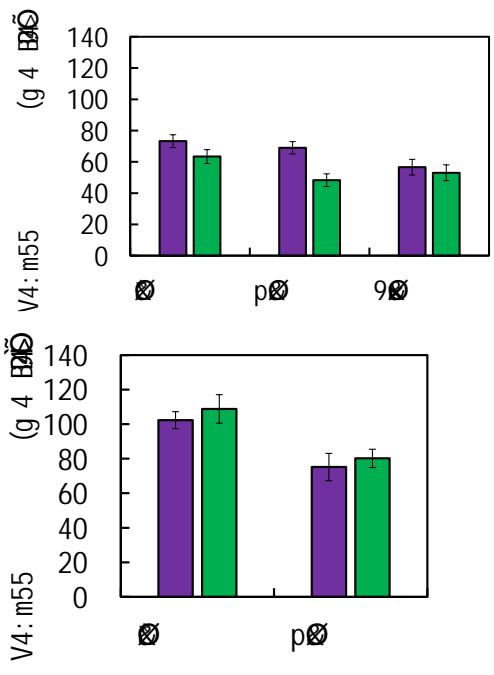


図3 栽培最終日におけるレッドファイヤー (上)およびグリーンウェーブ (下)の地上部新鮮重量(可食部重量)

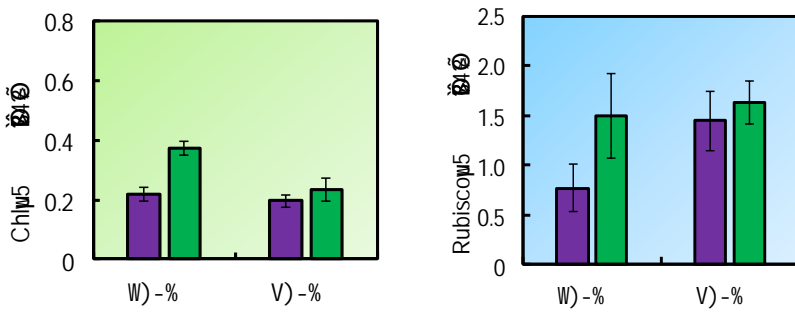


図4 上グラフ: 高密度区グリーンウェーブ葉縁部のchl含有量(左), rubisco含有量(右). 下画像: 播種後31日目におけるグリーンウェーブ第4葉. RB区(左), RGB区(右).



※ MG\ c (00)1¥E

B□ 28 SZ
 W)-%b%- % V)-%KZU
)6ä%S chl μ5
 rubisco μ500 S > &
 W4 QKS >
 b chl μ5 rubisco μ5cW
)-%V)-%V_ RB T RGB b
 QKS >RGB (V)-%
 W)-%[Chl μ Rubisco μ5c
 984QKS >RB (V)-%
 Z8SSu %A chl μ5@ RGB |
 v8Gc%TS@
 rubisco μ5Zc
 RGB \ RB pLbW
 S > icQKZ88@
 rubisco μ5 /chl μ5c
 RGB 84%- % RGB
 ID @sAZ88:
 Gc%S >tK
 % p)s,
 @ 8\%bgB_<
 WZc% > %
 gBA 8GV 91
 S >
)s, %bg
 BVB(%) Lpms
 8j
)s, Z88 RB p
 -%bgB4Z % B(%)
 % 6 b 8MS
 u_ % pfV/WS
 i;B: Y. fl b c
 MONITORING-PAM (WALZ % %)
 8Z/WS > #6ä 6 ¥ % 11
 % 15 % 3 -%b-%) %
 Z /WS > % 3 -%c#/
 : 7 8844E9
 K S > i_Q #YK S ; c
 MONITORING-PAM UvKS7= LED
 8S > 30 (S#/#/WS
 KZ /WS >PSD eq 5p%QKZ
 RGB b PSD eq 5p% Fv/Fm c% 63RZ
 % > 0.80 > 0.83 Q K % 0.8 6U
 & Bjorkman and Demmig 1987>> RB b0c % #6ä
 % Qbc VK. %
 # 15 % 0.8 QKS > %b
 % NPQ c%
 S%: U % B%
 N % r%KZv\$ % 5kb%
 MGvA8 %
 QZ: SM %90%
 QMvb% > #4%
 Qbc RGB %c % Qbc
 RGB %KS >GbG% %
 RB % MS, %2e7%
 8Z%Y%6%8G%KZ8
 % # 15 %S-%@)sKS % 8>> GbG% % %
 %KS8: %tK % -%bgB68cB(%) 4%
 S >
 P)s, %B-%bB(%)_ 48> %? % \



図5 栽培最終日（播種後28日）におけるインゲンの様子

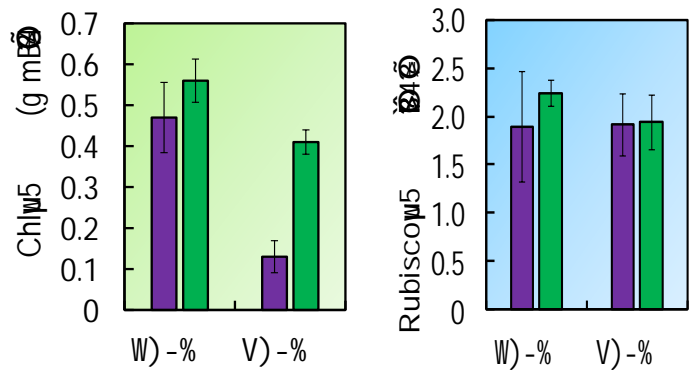


図6 栽培最終日（播種後28日）におけるインゲン低密度区のchl含有量（左）、rubisco含有量（右）。

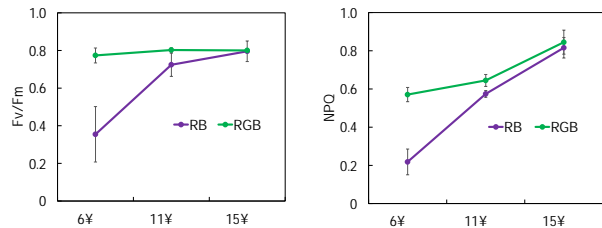


図7 光処理開始後におけるインゲン低密度区のFv/Fm値(左)およびNPQ値(右)の経日変化。

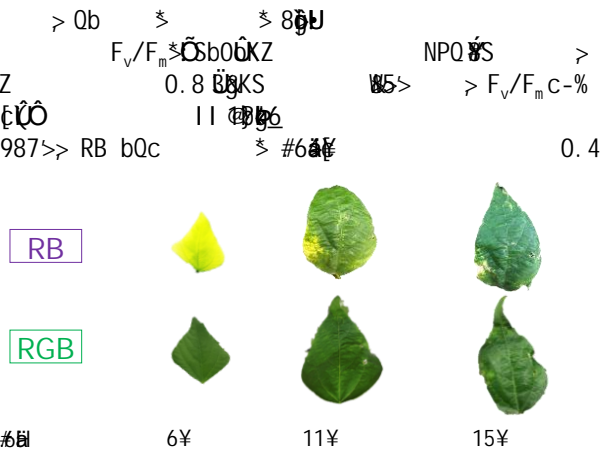


図8 光処理開始後からの第3葉の変化。

88E8

□ 211 □

0 □

□ 86 □

□

FB □

□ 211 □

6 □

□

□

□

Arnon D. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol oxidase in *betavulgaris*. Plant physiology 24: 1-15.

Bjorkman O., Demming B. 1987. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. Planta 170: 489-504.

Makino A., Nakano, H., Mae, T. 1994. Responses of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase, Cytochrome f, and Sucrose Synthesis Enzymes in Rice Leaves to Leaf Nitrogen and Their Relationships to Photosynthesis: Plant Physiol. Vol. 105: 173-179.

Silva F. L. 2007. Escribano-Bailon M. T., Alonso J. J. P., Rivas-Gonzalo J. C., Santos-Buelga C., 2007. Anthocyanin pigments in strawberry: LWT - Food Science and Technology Volume 40, Issue 2, March 2007: 374-382.

Terashima I., Fujita T., Inoue T., Chow WS., Oguchi R. 2009. Green Light Drives Leaf Photosynthesis More Efficiently than Red Light in Strong White Light: Revisiting the Enigmatic Question of Why Leaves are Green. Plant Cell Physiology. 50: 684-697.

3 > zste

...

□

0f2 6

□ (Å) W° > dBE) s, bw

2018 2018 "

2018 2018 "

2018 2018 "

r Isaki Yuya, Ohashi-Kaneko Keiko. Effects of green light supplementation to mixture of red light and blue light on growth and amount of photosynthetic related components in leaf lettuce. Plant biology. 2018

s Isaki Yuya, Ohashi-Kaneko Keiko. Effects of green light supplementation to red light and blue light on growth and amount of photosynthetic related component in leaf lettuce plants. Greensys 2017 - International Symposium on New Technologies for Environment Control, Energy-Saving and Crop Production in Greenhouse and Plant Factory. 2017

t

□ (Å) W° > dBE) s, bw

2017 2017 "

2017 2017 "

2017 2017 "

2017 2017 "

4 > %2))°

(1)%2(*

%2(

BT

\$

8

□ WATANABE, hiroyuki □

d 268

□

8

3 □

8

MI

2 □

8 □

60365872

(2)%2 *

%2 (

□

d 2

□

%2 c %2* b 0 \ 2i

8Z

Mvb

> QbSu

%2 b

x %2B

b 7t..

_

8Zc

% \ b 0 3:..

_ ö YCvb

%2 b

%2B

_ 6iM

Ob0 x 2i

c %2

_

IrM

%2

%2

%2

%2

%2

%2

%2

%2

%2

%2

%2

%2

%2

%2

%2

%2

%2

%2

%2

%2

%2