

## 強弱光の反復が作物の生育に及ぼす影響 (III)

鈴木晴雄, 良田文明\*, 田中伸一\*\*, 田中丸重美\*\*\*

### Crop Growth Influenced by Repeat of Bright-dark Light (III)

Haruo SUZUKI, Fumiaki YOSHIDA\*, Shinichi TANAKA\*\* and Shigemi TANAKAMARU\*\*\*

The purpose of this paper was to investigate the effect of fluctuating light on crop growth. By rotating a rectangular plate under sunlight in the open air, the fluctuating light was obtained as repetitive bright and dark lights. The former was the sunlight passing through a gap in the rotating plate and the latter was obtained by intercepting the light with a plate. When several crop species were treated with this fluctuating light, positive, negative and no effects to growth were obtained.

本研究は、変動光が作物の生育に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。変動光は、屋外の自然太陽光下にて細長い矩形のシェルターを回転させてシェルター下の陰を弱光とし、シェルター外の直達の太陽光を強光とする強光と弱光の繰り返しによった。数種の作物に対して変動光処理を行った結果、生育に対しての正の効果、負の効果及び効果のみられない場合とに分かれた。

#### 1. はじめに

畑地や水田などの作物植被内では、風による植被体の揺れによって絶えず変動光が発生しており、変動光は作物の生育へ何らかの影響を及ぼしているものと考えられる。変動光に関して筆者らは、圃場における実験から変動光の波形が測定条件と栽培条件によって異なること、室内実験による風速との関係からは各作物ごとに波形に特徴のあることなどを明らかにした<sup>(5,6)</sup>。しかし、変動光の作物生育におよぼす諸効果についてはいまだ一定した見解はなされていない。そこで、自然光を変動光へと変換し、それが作物の生育へ及ぼす影響について明らかにするために、前報<sup>(3,4)</sup>に引き続いて実験を行った。

#### 2. 実験方法

実験は1984年、1986年、1987年にかけて香川大学農学部内の実験圃場において行った。

##### 2.1 変動光の処理装置

本実験では光合成反応における暗反応との関係から、自然光を変動光に変え、作物による光の利用効率を高めることを目的として処理装置を作成した。装置は既報<sup>(4)</sup>の場合と同様である。

\*現在：岡山県農業共済組合連合会岡山出張所（〒700岡山市桑田町1番30号）

\*\*現在：マルトモ株式会社（〒799-31愛媛県伊予市米湊1696番地）

\*\*\*岡山大学資源生物科学研究所 (Research Institute for Bioresources, Okayama University)

すなわち、連続光から変動光への変換には板(アクリル製、全長80 cm、幅15 cm、厚さ3 mm)を用いてシェルターとし、それを栽培ポットの上部(10 cm 高)でモーターによって回転させた。シェルターによる遮蔽率は回転面積の11.5%である。しかし、このまま処理を行うと、太陽光の照度が光変動処理の開始時の値よりも下回る時にシェルターの回転が停止するため、シェルター下の作物は一時的に日陰になって個々の作物への処理条件が異なってくる。そこで、太陽光が装置に設定された照度以上になるとシェルターが回転をはじめ、同時にポットの置かれた台車がシェルターの下まで移動するようにした (Fig. 1)。太陽光が弱くなって設定された照度以下になると、逆の動作になる。

なお、シェルター回転下の変動光と作物植被内における変動光の測定にはフォトダイオード (浜松テレビ、

S1087; ピーク感度波長は550 nm) を使用し、その出力は電磁オシログラフ (横河北振電機, Model 3655) にて記録した。また照度は光電管照度計 (東京光学機械, PI-1) を、シェルターの回転は光電式回転計 (横河電機, Type 2607) を用いて測定した。

2.2 実験区の設定

実験区は低照度・低速回転区(A)、低照度・高速回転区(B)、高照度・高速回転区(C)、無処理区(D)の計4区を設けた。ここで高照度とは、光の処理を処理する作物の光飽和点付近における照度とした場合である。低照度とは高照度の1/2とした場合である。どちらの場合も、設定した照度以上に太陽光が照っている時のみに、変動光処理が行われる。

2.3 供試作物の処理条件

供試作物には、処理装置の規模との関係から草高が低く、また光飽和点がほぼ判明しているものを中心に選択した<sup>7)</sup>。それらの播種日、処理期間、設定照度、及び総処理時間については、Table 1 に示したとおりである。

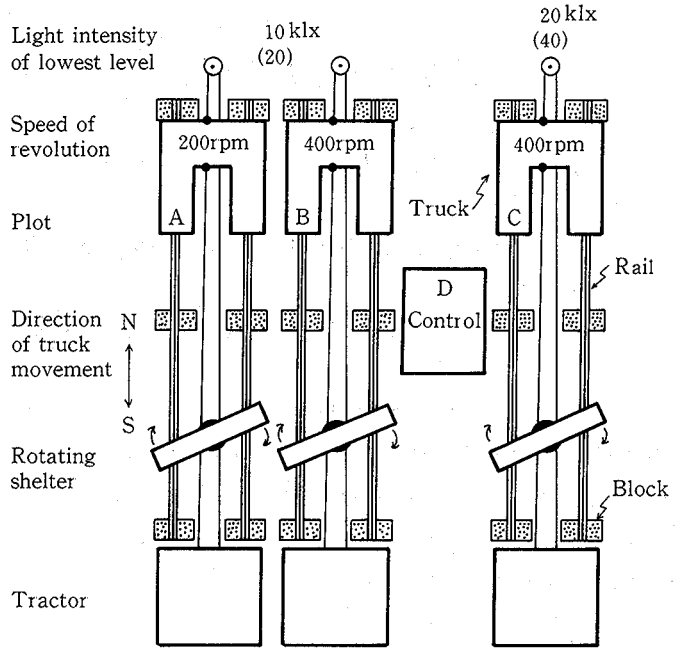


Fig 1 Plane view of the equipment. Plot A was treated with low light intensity (see Table 1) and slow revolution (200 rpm) of shelter; Plot B with low light intensity and rapid revolution (400 rpm); Plot C, with high light intensity and rapid revolution (400 rpm); Plot D not treated. Cultivated pots were placed on the three trucks (Plots, A, B, C) and Plot D.

Table 1 Experimental details. Plots A, B, C and D are the same as in Fig 1

Plant material	Sowing	Treated period	Light intensity (Klx) <sup>1)</sup>				Amount of treated hours			
			A	B	C	D	A	B	C	D
Lettuce	1984 Feb. 12	Apr. 8-May 7	13	13	25	—	350	350	297	408
"Okayamasaradana"		(30 days)	② <sup>2)</sup>	④ <sup>2)</sup>	④ <sup>2)</sup>		( 86)	( 86)	( 73)	(100)
Radish	1984 May 15	May 21-Jun. 12	20	20	40	—	310	310	216	350
"Akamaruhatsuka"		(23 days)	②	④	④		( 89)	( 89)	( 62)	(100)
Turnip	1984 May 18	May 21-Jun. 18	20	20	40	—	398	398	262	439
"Sometanikanamachi"		(29 days)	②	④	④		( 91)	( 91)	( 60)	(100)
Sweet pepper	1984 Jun. 8	Jun. 19-Jul. 12	15	15	30	—	377	377	301	291
"Ace"		(24 days)	②	④	④		(130)	(130)	(103)	(100)
Garland chrysanthemum	1984 Jun. 10	Jun 19-Jul. 12	15	15	30	—	377	377	301	291
"Nakabasyungiku"		(24 days)	②	④	④		(130)	(130)	(103)	(100)
Eggplant	1984 Jul. 13	Jul 27-Aug 20	20	20	40	—	434	434	368	472
"Mizunasu"		(25 days)	②	④	④		( 92)	( 92)	( 78)	(100)
Swiss chard	1984 Sep. 3	Sep. 12-Oct 11	10	10	20	—	560	560	485	380
"Seiyohiragukiohba"		(30 days)	②	④	④		(147)	(147)	(127)	(100)
Spinach	1984 Sep 29	Oct 12-Nov 16	10	10	20	—	605	605	503	466
"Atlas"		(36 days)	②	④	④		(130)	(130)	(108)	(100)
Carrot	1987 Feb. 24	Mar. 8-May 8	20	20	40	—	180	180	77	317
"MS-harumakigosun"		(42 days)	②	④	④		( 57)	( 57)	( 24)	(100)
Soybean	1987 May 11	May 22-Jun. 5	8	8	15	—	138	138	85	114
"Shirozishi"		(15 days)	②	④	④		(121)	(121)	( 75)	(100)
Cucumber	1987 Jun. 8	Jun. 13-Jul 4	25	25	50	—	92	92	24	132
"Sanukimidori"		(22 days)	②	④	④		( 70)	( 70)	( 18)	(100)

1) Lowest level

2) ② : 200 rpm, ④ : 400 rpm.

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 各植被内の変動光

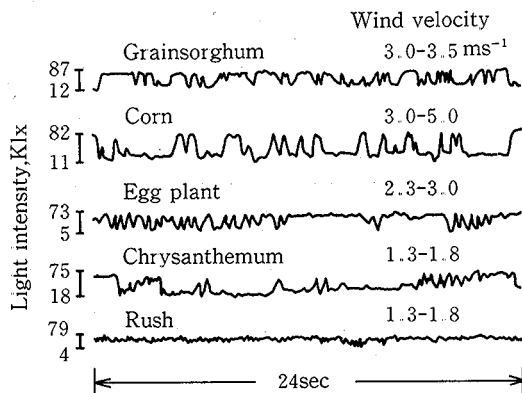


Fig. 2 Fluctuations of light in some plant canopies.

Fig. 2 は畑地における各作物植被内の変動光を示したものである。5種の植被ともに変動光の波形にはそれぞれ特徴がある。

すなわち、グレインソルガム、トウモロコシ、ナスは他2種の場合とは異なって測定時の風速が強かったこともあって波形の変化が大きいの。特にグレインソルガムでは周期が短く、トウモロコシは逆に長く、ナスでは波形が三角状を呈している。他方、キクになると変動光の発生は散発的であり、イグサでは不明瞭となっている。イグサについては葉に対してセンサー受感部の大きいことが関係している<sup>(5)</sup>。

これら波形の時間変化は大きく、この波形の成立には風速の他に植被の光学的特性、力学特性、群落構造などの複合した要因が考えられる。しかし、これら自然条件下で発生する変動光の作物反応への影響を明らかにすることは、実際の各畑地での同時測定が困難となるために容易ではない。そこで、実験的に自然太陽光の変換によって各作物へ一定した変動光を与え、その影響をみることにした。

3.2 回転シェルターによる変動光と風速

本装置で得られる変動光の波形は矩形状であり、強光の中に弱光がスリット状にある。周期はシェルターが低速回転の場合 (200 rpm) は0.15秒であり、高速回転 (400 rpm) では0.075秒である。また、強光と弱光各々の持続時間は高速回転の場合、シェルターの中央部より30 cm 下の位置において強光は約0.07秒、弱光は約0.01秒である (デューティ比約88%)。

本装置によって作り出された変動光の一例を示すと、Fig. 3のごとくである。観測日 (7月29日) におけるシェルター上の照度 (強光) は典型的な快晴日の日変化を呈している。シェルター下の照度 (弱光) はシェルター上の照度が上昇してもその程度が低いため、弱光/強光の比はシェルター上の照度の日変化とは逆の様相になった。8時より17時までの比は0.2以下で、特に南中時前後に最低となった。このように、太陽高度が高い時間帯ほど光の変動が大きくなり、変動光効果が大きくなることが期待できる条件であった<sup>(4)</sup>。

次に、本装置の回転シェルターによる処理では、回転による風の生育への影響が考えられる。そこで、シェルターによる風速を Table 2 に表した。なお、シェルター下風速の各測定点は、シェルター回転軸よりシェルターの先端方向へ10 cm ごとにそれぞれシェルター下5 cm、10 cm である (Fig. 4)。

Table 2 Wind speed ( $\text{ms}^{-1}$ ) under the shelter. Points are the same as in Fig 4

Plot	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10
200 rpm*	0.30	0.28	0.32	0.32	0.34	0.28	0.38	0.30	0.46	0.72
400 rpm*	0.15	0.22	0.24	0.22	0.29	0.33	0.30	0.33	0.34	0.34

\*: Revolution of the shelter.

各風速 (Table 2) をみると、シェルター先端のNo.9とNo.10を除いてシェルター下では200 rpm の場合の風速は  $0.28 \text{ ms}^{-1} \sim 0.38 \text{ ms}^{-1}$  であり、400 rpm では  $0.15 \text{ ms}^{-1} \sim 0.33 \text{ ms}^{-1}$  であった。400 rpm の方が200 rpm の場合よりも風速が低かったのはシェルターの加工上の精度によるため、200 rpm ではシェルター形状の微妙なアンバランスによって回転と同時に振動が大きくなって風速も高まり、他方、400 rpm のように回転数が増えると逆に回転によってバランスがとれたのであろう。いずれの場合も、シェルター下の風速は最高で  $0.38 \text{ ms}^{-1}$  であった。

これに関して、風洞実験によって最高  $1.75 \text{ ms}^{-1}$  までの風速域において葉面に生じる境界層の厚さと風速との関係が論じられている<sup>(6)</sup>。それによると、高風速ほど境界層の厚さは薄くなり、そのことが大気中から気孔への  $\text{CO}_2$  ガス交換に影響を及ぼすとしている。しかし、これは一般流が層流状態における境界層の状態である。今回の場合は乱流

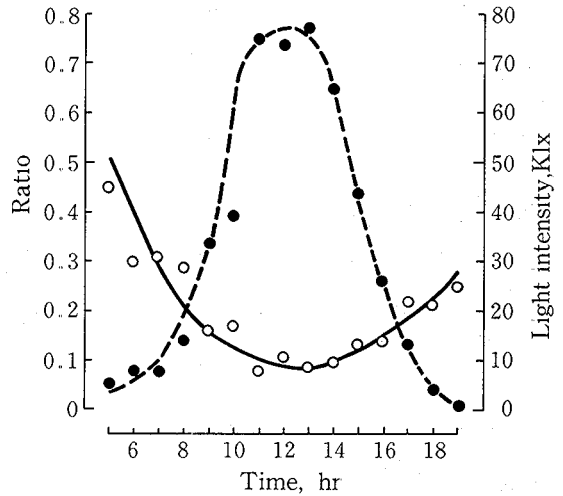


Fig. 3 Diurnal variations of the ratio of dull light to bright one due to a rotating shelter and of the light intensity at horizontal surface on July 29, 1986. Circles show the ratio, and crosses the light intensity.

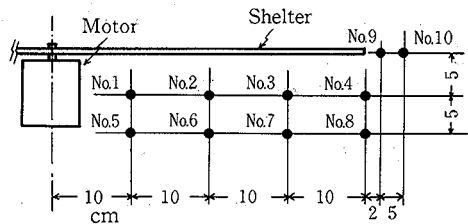


Fig 4 Points for measurement of wind velocity under the rotating shelter.

状態であるので, それら層流状態の結果で一義的に各処理区を比較はできないが, 今回の無処理区と処理区の比較では葉面境界層に対して何らかの影響は考えられ, 今後明確にする必要がある。

### 3.3 変動光処理と生育

変動光による処理結果を Table 3 に示した。なお, Table 3 には処理により影響のみられた各生育調査項目を示した。

Table 3 Plant growth influenced by the irradiation of fluctuating light. Plots A, B, C and D are the same as in Fig. 1

Plant material	Item	Date of harvest	Mean				L. S. D. (5%)
			A	B	C	D	
Lettuce "Okayamasaradana"	Top dry weight (mg/plant)	1984 May 7	8	10	8	8	2
Radish "Akamaruhatsuka"	Root dry weight (mg/plant)	1984 Jun. 7	28	40	60	17	14
Turnip "Sometanikanamachi"	Root dry weight (mg/plant)	1984 Jun. 18	35	91	98	40	20
Sweet pepper "Ace"	Top dry weight (mg/plant)	1984 Jul. 12	33	36	37	33	n. s.
Garland chrysanthemum "Nakabasyungiku"	Leaf area (cm <sup>2</sup> /plant)	1984 Jul 12	46	40	39	36	6
Eggplant "Mizunasu"	Top dry weight (mg/plant)	1984 Aug. 20	127	120	113	97	23
Swiss chard "Seiyohiragukiohba"	Top dry weight (mg/plant)	1984 Oct. 11	69	80	135	71	20
Spinach "Atlas"	Top dry weight (mg/plant)	1984 Nov. 16	139	259	160	171	48
Carrot "MS-harumakigosun"	Root dry weight (mg/plant)	1987 May 8	23	23	26	37	n. s.
Soybean "Shirozishi"	Root dry weight (mg/plant)	1987 Jun 5	31	30	31	39	0
Cucumber "Sanukimidori"	Total dry weight (mg/plant)	1987 Jun 17	3	4	3	5	0

#### (1) 生育促進のみられた作物

レタス (キク科): 処理開始後30日目 (5月7日) における地上部乾物重は低照・高速(B)のみが低照・低速(A), 高照・高速(C), 無処理(D)の各々より25%ほど上回った。

ハツカダイコン (アブラナ科): 地下部乾物重の大小順位を平均値から比較すると, 高照・高速(C) > 低照・高速(B) > 低照・低速(A) > 無処理(D)である。この結果からは, ハツカダイコンでは少なくとも変動光処理が生育に正の効果をもたらした。中でも高照下でさらに変動周期の短い条件ほど生育が良好になった。なお, 前回<sup>(4)</sup>では, 各処理による効果は明確でなかった。

カブ (アブラナ科): 地下部乾物重の大小順位 (平均値) は, 高照・高速(C) > 低照・高速(B) > 無処理(D) > 低照・低速(A)である。この関係から, カブでは変動周期が大きく影響を及ぼしており, ハツカダイコンと同様にカブでは短い周期が生育に良く, さらに高照度での処理が生育に効果をもたらすようである。

シュンギク (キク科): 葉面積の順位 (平均値) は低照・低速(A) > 低照・高速(B) = 高照・高速(C) > 無処理(D)となっており, すべて処理区の方が葉面積は多い。キクを用いた前回の実験<sup>(4)</sup>では, 草丈は処理区で高く, 全般的に低照・高速

(B)と高照・高速(C)の短い周期の区で旺盛な生育が示されている。

ナス(ナス科)：地上部乾物重の順位(平均値)は、上記のシェンギクの場合と同じである。最も処理効果の高い低照・低速(A)では、無処理区(D)に比べて約31%も乾物重が多い。

フダンソウ(アカザ科)：処理開始後30日目の地上部乾物重の順位(平均値)は、高照・高速(C) > 低照・高速(B) > 無処理(D) > 低照・低速(A)である。前報<sup>(1)</sup>でもフダンソウを用いたが、処理による顕著な増収が得られている。

## (2) 生育抑制のみられた作物、又は明らかでない作物

ピーマン(ナス科)：地上部乾物重で比較する限り、変動光処理による影響はほとんどないようである。

ホウレンソウ(アカザ科)：地上部乾物重は低照・高速(B) > 無処理(D) > 高照・高速(C) > 低照・低速(A)の順位であった、一部で処理効果がみられている。このホウレンソウを用いた前報<sup>(1,2)</sup>での各実験においても、今回の場合と同じ結果が得られている。

ニンジン(セリ科)：地下部乾物重は、各処理区の方が無処理区よりも少ない傾向にあるが、有意差は認められていない。

ダイズ(マメ科)：地下部乾物重は無処理区(D) > 低照・低速(A) = 高照・高速(C) > 低照・高速(B)となって、いずれの処理区も変動光処理による負の効果がみられている。

キュウリ(ウリ科)：全乾物重は、無処理区(D) > 低照・高速(B) > 低照・高速(A) = 高照・高速(C)となり、処理による効果は認められていない。

以上のような結果であるが、処理区間の比較にはシェルターの回転に伴う風速による葉温の低下について検討しなければならない。Table 4は、変動光の処理区と無処理区におけるポット設置移動台の東部、中央部、西部における

Table 4 Leaf temperatures (°C) of Swiss chard under the rotating shelter on September 9, 1984

Plot	East <sup>1)</sup>	Center <sup>1)</sup>	West <sup>1)</sup>
200 rpm <sup>2)</sup>	24.0	24.4	24.1
Control	24.3	25.0	24.0
	} n. s. <sup>3)</sup>		
400 rpm <sup>2)</sup>	24.7	23.9	24.4
Control	24.5	24.5	24.9
	} n. s.		

1) Measured positions on the truck.

2) Revolution of the rotating shelter.

3) Insignificant at 5% level.

各葉温(30点平均)を測定したものである。各測定値でみるかぎり処理-無処理間の差はあるが、いずれも統計的に有意ではない。葉温については測定上の困難性<sup>(1,2)</sup>もあるが、Table 4からは葉温の区間差はみられなく、したがってそれによる光合成速度の区間差も生じなかったものと考えられる<sup>(2)</sup>。

次に処理結果について既報<sup>(4)</sup>では、処理効果には総処理時間が関連する傾向のあることを述べたが、今回でも同じ傾向がみられている。生育期間中、処理のための設定光強度以上の光条件が多くなった場合には、さらに処理効果のみられる可能性のあることが推定される。

## 4. む す び

変動光による作物への影響については、現在のところ一定した見解はない。変動光の現象は、本来、植物の主たる活動である光合成の機作に基づいたものであり、今回の結果については光合成との関連から詳細な検討はできなかった。今後、広範囲にデータを蓄積することによって、効果に対して明確な結論が導かれるものと考えている。

最後に、本研究の表題について既報<sup>(3)</sup>までは“自然光の変動”を用いたが、自然条件下による変動光と人工的変動光とを区別するために、前回<sup>(4)</sup>より“自然光の変動”を“強弱光の反復”に改称した。

### 引用文献

- (1) 今 久: 温度の測定, 日本農業気象学会編農業気象の測器と測定法, 33-50, 東京, 農業技術協会 (1988).
- (2) 酒井慎介: 温度と光合成, 戸刈義次監修作物の光合成と物質生産, 62-69, 東京, 養賢堂 (1973).
- (3) 鈴木晴雄: 自然光の変動が作物の生育におよぼす影響, 香川大農学報, **31**, 7-13 (1979).
- (4) 鈴木晴雄, 神島義和, 宮本硬一: 強弱光の反復が作物の生育におよぼす影響 (II), 農業気象, **39** (2), 97-101 (1983).
- (5) 鈴木晴雄, 田中伸一: 数種の植被における変動光, 農業気象, **46** (2), 87-92 (1990).
- (6) 鈴木晴雄, 田中伸一, 藤目幸擴, 米谷俊彦: 作物植被による変動光の波形, 日本植物工場学会平成2年度大会シンポジウムおよび学術発表要旨集, 43-44, 1990.
- (7) 巽 穰, 堀 裕: そ菜の光合成に関する研究, I 光の強さとそ菜幼植物の同化特性, 園試報告 A (平塚), **8**, 127-140 (1969).
- (8) 矢吹万寿, 宮川秀夫, 石橋惇: 風速と光合成に関する研究 (第1報) — 風速と葉面境界層の厚さとの関係一, 農業気象, **26**, 65-70 (1970).  
(1990年10月31日受理)