



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	作物の生育におよぼす光質の影響ならびに測定法に関する研究
Author(s)	堀口, 郁夫; HORIGUCHI, Ikuo
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 10(2), 97-138
Issue Date	1977-01-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/11887
Type	departmental bulletin paper
File Information	10(2)_p97-138.pdf



作物の生育におよぼす光質の影響ならびに
測定法に関する研究

堀口 郁夫

(北海道大学農学部農業工学科農業物理教室)

(昭和51年3月24日受領)

Effects of plant growth under different wavelength
lights and measurements of light intensity
for artificial light sources

Ikuo HORIGUCHI

(Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture,
Hokkaido University, Sapporo, Japan)

(Received March 24, 1976)

目 次			
緒 論	98	第3章 三波長の混合とキュウリ・トマトの 生育	119
第1編 波長と植物生育の関係に関する 基礎実験	99	第1節 赤色・青色と橙色の混合光と キュウリ・トマトの生育	120
第1章 連続波長光による予備実験	99	1) 赤色・青色と橙色の混合光源の 波長特性	120
第1節 寡照時および育苗時における 補光実験	99	2) 赤色・青色と橙色の混合光と キュウリの生育	120
1) 実験に使用した人工光源の波長特性	99	3) 赤色・青色と橙色の混合光と トマトの生育	121
2) 寡照時における補光実験	100	第2節 赤色・青色と黄色の混合光と キュウリ・トマトの生育	122
3) 育苗時の補光実験	103	1) 赤色・青色と黄色の混合光源の 波長特性	122
第2節 昼光色・栽培用蛍光灯による トマトの室内育成実験	107	2) 赤色・青色と黄色の混合光と キュウリの生育	122
1) 蛍光管を一定にした場合のトマトの 生育	107	3) 赤色・青色と黄色の混合光と トマトの生育	123
2) エネルギー量を一定にした場合の トマトの生育	108	4) 総合考察	124
第2章 二波長の混合と作物の生育	109	第2編 植物についての光量測定法に関する 実験と光量測定器の試作	125
第1節 赤色光と青色光の混合割合と 作物の生育	109	第1章 植物についての光量測定法に関する 実験	125
1) 実験に使用した混合光の波長特性	109	第1節 連続波長光と混合光照射による 作物生育の比較と光量測定法	125
2) 赤色・青色混合光とトマトの生育	110	1) 栽培用蛍光灯と R12-Y2-G4-B12 混合光の比較	126
3) 赤色・青色混合光とキュウリの生育	112	2) 赤色蛍光灯と昼光色蛍光灯の	
4) 赤色・青色混合光とピーマン・ ハッカダイコン・ダイズの生育	114		
5) 総合考察	116		
第2節 赤色・青色混合以外の単色光の 混合とトマトの生育	118		

光量の比較	127
3) 栽培用蛍光灯と種々の混合光照射 によるトマトの生育比較	128
第2節 植物のための光量測定法に関する 若干の考察	130
第2章 光量測定器の試作	131
要 約	133
参考文献	134
英文要約	136

緒 論

地球上の生物は直接的・間接的に太陽光からエネルギーを得て生命の源としている。地表面に達する太陽エネルギーは最大約 $1.5 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ であるが、今かりに $1.0 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ の太陽光が地上に達すると仮定すると、 1 m^2 で 10 kcal/min 、 1 km^2 では 10^7 kcal/min 、 10 km^2 では 10^9 kcal/min となり、ばく大な量のエネルギーが地球上にふりそそいでいることになる。しかし、生物が利用しているエネルギーの利用率はきわめて低く、わずか3~4%程度といわれており、その大部分は植物の光合成に利用しているものである。人間をはじめ動物は、この植物の獲得した太陽エネルギーを利用しているわけであるが、植物と光の関係は人間の存亡にかかわる重大な問題であるため多くの人達によって古くから研究がなされて来た。しかし、今まで「植物と光の関係」を知るための光の測定は、日射計や照度計で行われており、これらの測定法は、気象学や照明学で確立された方法を、そのまま使用しているものである。これを植物の生育に適用する場合、後に記すごとくかならずしも適当ではない。それは、植物の光に対する反応とは全く関係なく定められたものであるからである。

このような現象は、農業気象要素の他の分野でもみられる。例えば、温度と作物の地上部の関係を知ろうとする場合、温度は一般的に気温が用いられる。しかし、作物の生育が関係する温度は、気温でなくその体温であるはずである。われわれは、気温と植物体温は比例関係にあるという概念のもとに気温のみですべてをかたづけようとする。しかし、真に関係する温度は体温で気温は間接的に体温に影響を与えているにすぎない。そして、この体温が植物の種々の生理作用に影響を与えるのである。しかし、現在の技術では圃場内の作物の代表的体温を決定するのは、容易なことではない。さらにまた、日照時間について考えた場合、日長が植物に影響を与える反応は、主に光周性についてである。この光周性に要す

る光の量は非常に弱いものでよく、ある種の植物では約 10 lux でもよいとされている。しかし、農業気象では、日長は単なる日の出から日の入りまでの物理的数値(可照時間)を用いている。

これらの問題は、農業気象が単に自然環境のみを取りあつていた時は、さほど問題にならなかったが、人工的環境一例えば、温室・ビニールハウス・人工気象室などを内容に含むようになってその矛盾が少しずつ表面にあらわれてきた。例えば、人工気象室内の実験で、気温と葉温はかならずしも比例関係にないことが明らかになり、また、光量測定法も今まで使用してきた日射計や照度計では全く用をなさないことが判明してきた。

この実験も、植物を主体とした測定法を確立することを目標として始められたものである。実験のそもそもの始まりは、植物栽培用蛍光灯が試作され、その効果試験を横田教授からさずけられたことに端を発する。栽培用蛍光灯が植物生育にとって有効か否かは、実験者にとって種々な結果が発表された。ある人は有効であると結論し、ある人は全く効果がないと結論を出した。これは実験者によって作物に対する処理がまちまちであることも原因であるが、光の測定法が確立していないからと言える。植物に対する光の測定法さえ確立していれば、この問題は簡単な問題である。したがってランプの効果よりも光の測定法の確立が先決であると痛感した。植物に対する光の測定法の確立するためには、まず植物の光に対する反応から知らなければならない。幸い単色光に対する反応は、多くの人達によって実験されているため単色光を混合し、その混合光の最高な波長分布を求めることより実験を始め、引続いて、各章でのべる種々の試験を行うとともに、光量測定器を試作した。これらの研究結果を取りまとめたのが本論文である。

本研究を行うにあたり絶えず御指導をいただき、本論文の御校閲をうけた恩師横田廉一博士に厚く感謝の意を表わすとともに、本論文全般にわたって綿密な御校閲をいただき、御指導と御助言をいただいた北海道大学農学部教授田村勉博士、岡沢養三博士に深く感謝するしだいである。さらに実験を行うにあたり、直接、間接に御指導をいただいた農業物理教室助教授堂腰純博士、遅速な著者をいつも叱咤、激励し種々にわたり御指導をうけた、土質改善学教室前田隆博士、また実験の手伝いをいただいた農業物理教室の高橋英紀助手を初め教室の皆様方に深く感謝の意を表わすものである。

第1編 波長と植物生育の関係に関する基礎実験

人間が感じる明るさ・色光の測定は、人間の眼の視感度、人間の眼の感光機構など光を受ける人間の眼の生理反応を基礎にして、その測定法が確立された。また、太陽光のエネルギー測定も、太陽光の波長分布範囲を測定するように、測定器が製造されている。植物に対する光の測定法は、他の分野において確立された測定法を便宜的に今まで利用していたものであり、植物自体の反応という立場から考えられたものではない。植物に対する光の測定法の確立にはまず、植物自体の光に対する反応について実験を行われなければならない。この編は、人工光源を使用して、波長に対する植物の反応を実験したもので、第1章は昼光色蛍光灯などの連続波長光を用いた実験、第2章、第3章は、単色光を組合わせて混合光を作り、この混合光による植物の反応について実験したものである。

第1章 連続波長光による予備実験

昼光色蛍光灯・栽培用蛍光灯・白熱灯など可視光全域に波長分布をもつ光（以下「連続波長光」という）を用いて、これらの光の相違が作物の生育にどのような影響を与えるか実験を行った。第1節の実験は、自然光に補光した場合、補光光源の光質がどのように影響するかをみたものであり、第2節は、人工光源のみで植物を育成し、昼光色蛍光灯・栽培用蛍光灯の光質の差が生育にどのように表われるかを実験したものである。

第1節 寡照時、および育苗時における補光実験

日照時間の短い時期と育苗時期に、太陽光と波長分布の異なる蛍光灯を補光し、補光光源の相違が作物の生育に及ぼす影響を実験した。寡照時における補光実験は、1964年9月22日～11月20日までビニールハウス内にトマト・キュウリ・レタスを定植し、定植後、昼光色蛍光灯・栽培用蛍光灯・白熱灯を補光して生育状態を調べた。また、育苗時の補光試験は、1965年5月5日～6月18日および1966年3月4日～5月1日まで、トマト・ピーマンなどを用いて昼光色蛍光灯・栽培用蛍光灯を照射して生育調査を行ったものである。

1) 実験に使用した人工光源の波長特性

実験に使用したランプは、昼光色蛍光灯(東芝-FL-40・SD)・植物栽培用蛍光灯(東芝-FLR-40・BR/M)・白熱灯(100V・500W)の3種で、その波長分布曲線を図-1・1に示した。

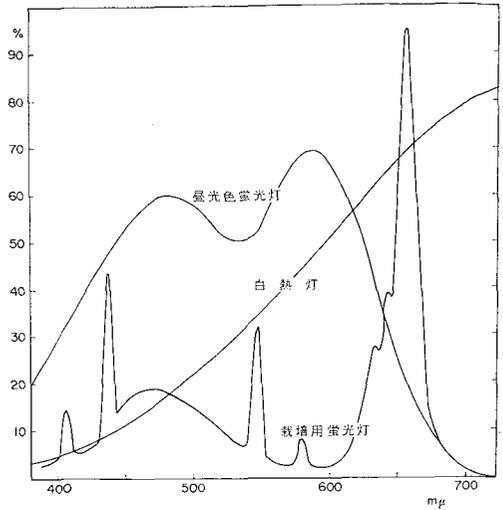


図-1・1 昼光色・栽培用蛍光灯および白熱灯の波長分布曲線

○昼光色蛍光灯(東芝-FL-40・SD)——このランプは、全天曇天光に近い光であり、約480 mμと約590 mμに極大値を持ち、535 mμ付近に極小値をもった波長分布をしている。したがって、図-1・1より明らかなごとく、赤色部(600～700 mμ)は非常に少なく、つぎの植物栽培用とは、対症的な蛍光灯である。

○植物栽培用蛍光灯(東芝-FLR-40・BR/M)——図-1・1に示したように、主波長が約460 mμの青色の発光分布をもった蛍光物質と、主波長が約660 mμのシャープな赤色の発光分布をもった蛍光物質を組合わせることにより、赤色と青色の光を強く出すよう設計された蛍光灯である。この波長分布は、直接、植物を育成し生育に最も効率のよいエネルギー分布より求めたものではなく、緑葉植物の葉緑素の吸収曲線に合わせて作られたものらしく、葉緑素の吸収曲線にきわめて近似の波長分布をしており、また葉緑素形成効果も著しい(富田富雄, 1965)。

この栽培用蛍光灯と昼光色蛍光灯および白色蛍光灯の

表-1・1 栽培用・昼光色・白色蛍光灯の青色・赤色部割合

ランプの種類	青色部 400～500 mμ	赤色部 600～700 mμ	合計
栽培用蛍光灯	56	183	239
昼光色蛍光灯	79	30	109
白色蛍光灯	59	41	100

白色蛍光灯のエネルギーを100とした相対値

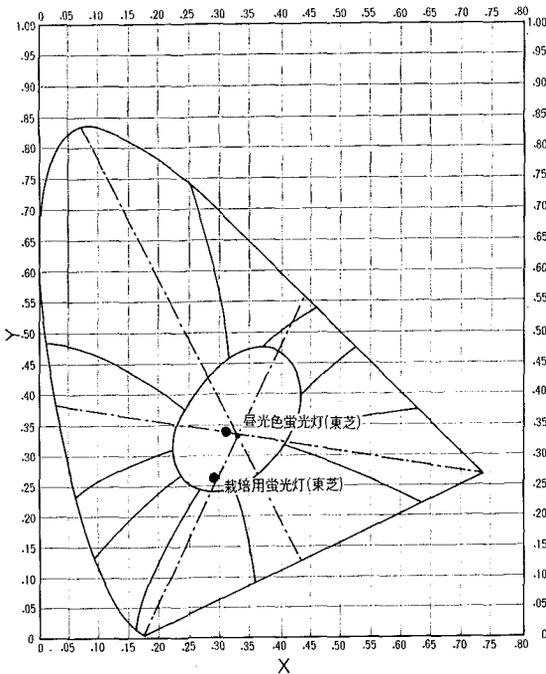


図-1.2 日光色・栽培用蛍光灯の色度図

青色部と赤色部の割合を比較してみると、表-1.1のごとくなり、青色部は白色蛍光灯とほぼ同じであるが、赤色部は白色蛍光灯の約4.5倍・日光色蛍光灯の6.1倍のエネルギー値を持っている。しかし、筆者が日射計を使用して測定したカロリー量は、栽培用蛍光灯0.11 cal/cm²/30本・日光色蛍光灯0.12 cal/cm²/30本と日光色の方が高いカロリー量を示した(東芝株式会社, 1965)。

なお、図-1.2に日光色蛍光灯と栽培用蛍光灯の色度図を示した。

○白熱灯(100V・500W)——色温度は約3,000°Kであり、約1μ付近にエネルギーの最大値を有する。

2) 寡照時における補光実験

寡照時に自然光の補光に人工光源を使用し作物を栽培する試みは、古くから行われている。(例えば、1881 Siemens, Dehérain など)(稲垣乙丙, 1931)特に、北海道のように緯度が高く、冬期間、日照時間が少ない地帯では、自然光の光量不足を補うため補光する必要がある。筆者は1964年のこのような時期に、人工光源で補光し、光源の波長の相違がどのように作物に影響を与えるかにつき実験を行った。使用したランプの種類は、日光色蛍光灯・栽培用蛍光灯・白熱灯である。

<実験方法>

i) 供試作物および品種

- ・トマト——福寿2号
- ・キュウリ——加賀節成・トキワ
- ・レタス——グレイトレイク366・ベンレイク

ii) 育苗

○は種 8月8日

あらかじめ蒸気消毒した土壌をペーパーポットに入れ、これにトマト、キュウリ、レタスの種子をは種した。

○育苗 は種したポットを入れた箱を電研式の育苗器内におき、発芽直後は、強い直射と地温の過度の上昇を防ぐため白寒冷紗、時には黒寒冷紗で日おいをした。

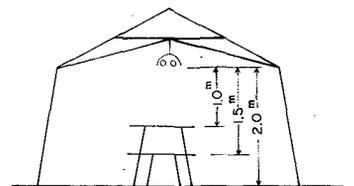
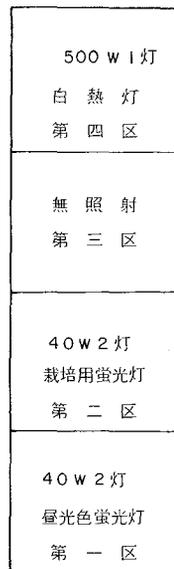
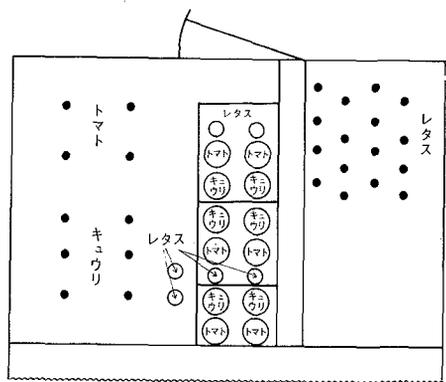


図-1.3 実験配置図

◎定植 9月22日

図-1・3に示したハウス内の床土と1/2,000ポットにつきに示す大きさになった苗を定植した。

トマト(福寿2号)~草丈 約15cm

本葉4枚程度

キュウリ(加賀節成)~草丈 約20cm

本葉4枚程度

キュウリ(トキワ)~草丈 約10cm

本葉3枚程度

レタス(グレイトレイク366・ペンレイク)

本葉3~4枚

iii) 実験区の設定

4.5×14.4mのビニールハウス内を、図-1・3に示したごとく4区に区切った。そして、ハウスの中央に図のように、ランプから1.0m・1.5mになるような台をおき、床面とこの台の上に定植したポットをおいて、光の強度による生育差を観測することにした。なお、各区は、互いに光の干渉をさけるため暗幕で仕切って補光光源を照射した。

iv) ランプの照射方法

照射時間は、可照時間の延長という意味から、表-1・2に示したごとく、日没後4時間~5時間の照射を行った。すなわち、札幌における春の定植時期の6月と、試験を行った10月を比較すると、1日の可照時間において約4時間の差があり、また、7月と11月を比較すると約5時

表-1・2 実験期間中の照射時間

期 間 (月・日)	照 射 時 間
9.22~10.2	4 時 間
10.3~10.9	一 時 中 止
10.10~10.22	4時間30分
10.26~11.20	5 時 間

間の差があるためである。

<実験結果および考察>

図-1・4, 1・5にトマト・キュウリの草丈の伸長を、表-1・3にレタスの収量を示した。図-1・4, 1・5よりトマト・キュウリは、各処理区とも一定の傾向はなく、照射ランプによる差は判然としない。また、レタスは、第1区が他区に比較して、一株平均重量は大きい。他は有意差はなかった。

この実験では、ランプ照射の一番強い台の上段で植物上70cmの距離があり、ランプの効果があるとすればこの段の作物に大きく表われるはずである。しかし、トマト・キュウリとも判然とした差が表われないのは、ランプの照射強度が弱いためと考えられる。すなわち、実験中の日照時間と日射量の調査結果は、表-1・4のごとくであった。これに対してランプの照射強度は、ランプ下70cmで約0.03 cal/cm²・minで実験中の平均日射量の1/30~1/40であった。光合成を目的として、一般蛍光灯

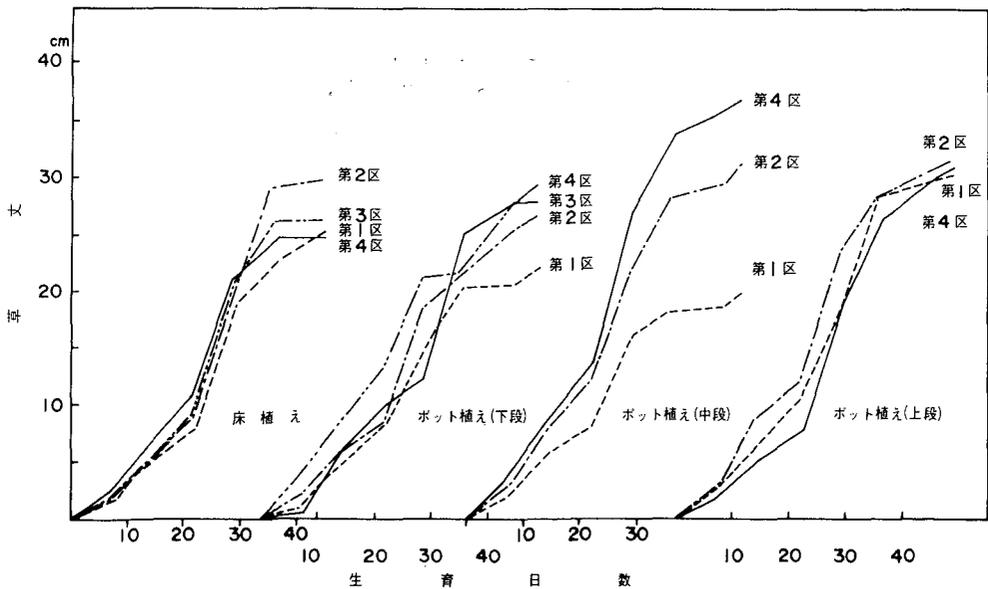
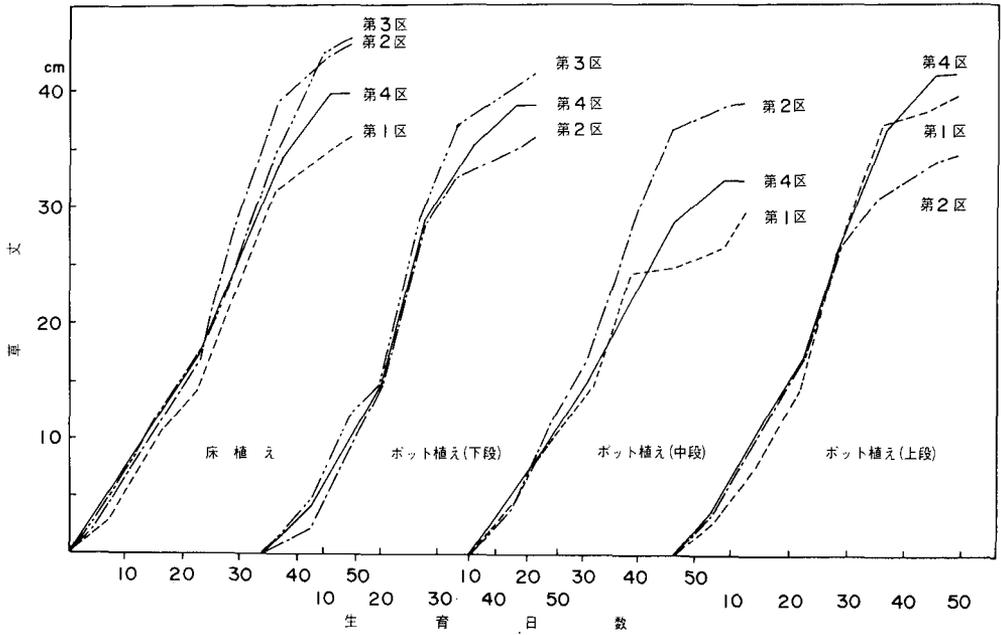


図-1・4 寡照時における補光とトマトの生育



図一・五 寡照時における補光とキュウリの生育

表一・三 レタスの収量

区分	1株平均重量 (g)	1株平均葉数 (枚)
第1区	190.3	26
第2区	140.9	25
第3区	138.0	26
第4区	126.3	23

注：各区の調査個体数、8株

を使用しその効果を期待する場合は、「80 W のランプを 60 cm の高さから1日当り 8~12 時間、照射する必要がある」(VEEN *et al.*, 1959) という報告があり、今回の実験において最大照射強度の所は、植物上 70 cm の距離でしかも 1 日の照射時間も 4~5 時間程度であったため、ランプの種類による差が表われなかったものと思われる。すなわち結論として、「ランプの光質の影響を実験するためには、強照射量を長時間処理しなければならない。」と言える。

表一・四 実験中の日射量・日照時間

月日	日射量 (cal)	日照時間 (h)	月日	日射量 (cal)	日照時間 (h)	月日	日射量 (cal)	日照時間 (h)	月日	日射量 (cal)	日照時間 (h)
9.22	474	8.4	10.13	266	5.8	10.27	324	9.5	11.10	167	6.2
23	372	8.1	14	328	9.4	28	260	6.0	11	181	4.2
24	483	10.2	15	299	8.0	29	142	2.4	12	128	0.9
25	96	0.1	16	301	5.5	30	92	0.1	13	50	—
26	238	4.8	17	101	1.2	31	214	7.1	14	40	—
27	300	4.5	18	206	3.1	11.1	80	—	15	—	3.1
28	280	7.5	19	322	8.6	2	125	1.0	16	119	3.2
29	392	9.9	20	346	7.6	3	134	2.5	17	187	4.6
30	465	9.7	21	101	0.6	4	112	1.3	18	108	5.0
10.1	171	3.9	22	210	6.0	5	131	3.7	19	141	2.0
2	399	9.1	23	97	1.9	6	193	4.7	20	200	5.7
10	97	0.7	24	203	3.6	7	192	4.5			
11	354	9.9	25	89	1.4	8	173	4.5			
12	359	8.8	26	216	6.2	9	227	7.4	平均	217	5.0

3) 育苗時の補光実験

◎育苗時の補光実験-1

強い照射量を作物に均一に照射し、その効果を検討するためには、作物体が小さいうち、すなわち、育苗時に行うのが望ましい。この実験は1965年5月5～6月18日まで、トマト・ピーマンを用いて昼光色蛍光灯・栽培用蛍光灯で照射して、育苗時の影響をみたものである。

<実験方法>

i) 供試作物および品種

- ・ トマト——福寿2号・東光
- ・ ピーマン——緑王・ニューワンダ

ii) 育苗

- は種 トマト 4月21日
- ピーマン 4月22日

径8cmのジフィーポットに土壌を入れ、二粒づつは種し、5月19日に間引して1本立とした。育苗には、ハウス内に図-1.6に示したような照射台を7ヶ作り、苗が小さいうちは上段下段の水受皿に前記のジフィーポット70ヶを入れて育苗した。苗がある程度大きくなった5月28日(トマト)・と6月3日(ピーマン)に、7寸鉢に移植し、トマトは10個体、ピーマンは12個体、処理を続行した。

ii) 照射期間

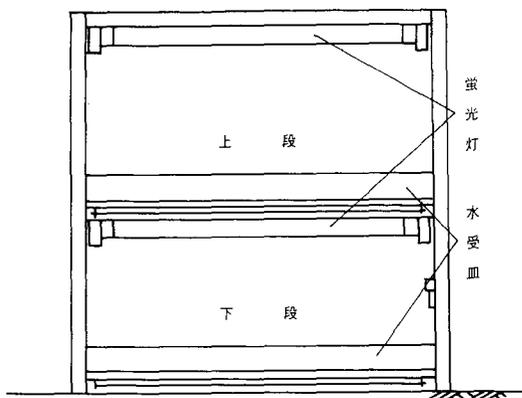


図-1.6 照射台の模式図

- ・ トマト 5月5日～6月12日
- ・ ピーマン 5月14日～6月18日

iii) 定植

定植日は、つぎのとおりである。

- ・ トマト 6月15日
- ・ ピーマン 6月18日

トマトの定植は、うね数10,1うね14株(50cm間隔)とし、1うねに各区の個体を1株ずつランダムに配置した。ピーマンの定植は、うね数12,1うね7株とし、トマ

表-1.5 育苗中の照射処理と一般管理

月	5月				6月			
	月日	4/21	5/5	5/28	6/12	6/15	6/12	6/15
トマト	照射期間		[照射期間]		[照射期間]			
	作業	は種	照射開始 (40cm高より)	移(照射高植50cmに変更)	照射終了	定植		
	照射期間		[照射期間]		[照射期間]			
ピーマン	照射期間		[照射期間]		[照射期間]			
	作業	は種	照射開始 (40cm高より)	移(照射高植35cmに変更)	照射終了	定植		
	照射期間		[照射期間]		[照射期間]			

表-1.6 実験区の設定

トマト区分	ピーマン区分	蛍光灯の種類・本数	照射時刻(時)	時間	備考
第1区	第1区	栽培用蛍光灯 40 W 2本	4~19	15	15時間はこの時期の可照時間
2	2	〃	3~12	9	
3	3	〃	12~20	9	
4	5	無照射			
5	4	栽培用蛍光灯 40 W 4本	3~16	13	
6	6	昼光色蛍光灯 40 W 2本	3~16	13	
7	7	栽培用蛍光灯 40 W 2本	3~16	13	

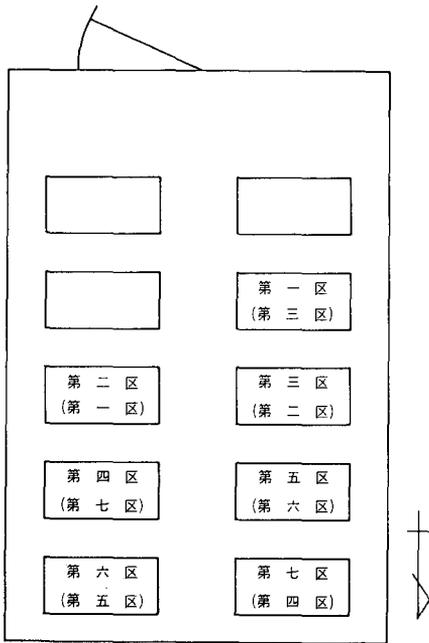


図-1.7 ハウス内の照射台の配置
()内は移植後の配置

トと同様に1うねに各区の個体を1株ずつランダムに配置した。

なお、定植までの管理を示すと、表-1.5のごとくである。

iv) 実験区の設定

実験区は、照射台をハウスの中に図-1.7のように配置した。各区の蛍光灯の種類、本数、照射時間は表-1.6のとおりである。

<実験結果および考察>

i) トマトの実験結果

トマトについては、照射開始後23日目の生育状態と、定植後の収量調査を行った。表-1.7に23日後の生育状

表-1.7 トマト苗の生育状態(照射23日後)

区分	草丈(cm)	茎径(mm)	生体重(g)	乾物量(g)	備考
福寿第1区	12.6	3.8	4.7	0.85	5株平均
2	16.6	4.0	5.4	0.79	
3	19.9	4.5	7.2	1.09	
4	17.6	4.5	7.0	0.94	
5	19.2	4.4	9.1	1.27	
6	21.9	4.9	9.5	1.32	
7	20.5	4.7	6.7	1.11	
東光第1区	20.4	4.4	10.7	1.45	
2	18.9	4.5	7.6	1.12	
3	20.4	4.7	7.0	1.01	
4	17.2	4.2	6.5	0.92	
5	23.7	4.9	12.3	1.55	
6	24.5	4.7	10.8	1.42	
7	26.6	5.4	12.7	1.77	

態を示した。

表-1.7よりつぎのことが言える。

- a) 第4区(無照射区)・第1区(栽培用2本・4~19時)・第2区(栽培用2本・3~12時)は、他の区に比較して生育がわるい。
- b) 第3区(栽培用2本・12~20時)は、だいたい中程度の生育である。
- c) 第5区(栽培用4本・3~16時)・第6区(昼光色2本・3~16時)・第7区(栽培用2本・3~16時)の生育は他区に比較して良好である。

定植後、トマトは花房6段で摘心を行い、4段目までの収量を調査した。苗の優劣が収量まで影響するとは、かならずしも言えないが、図-1.8に収量調査の結果を示した。図によると、a) 第2区・第5区・第6区は早期収

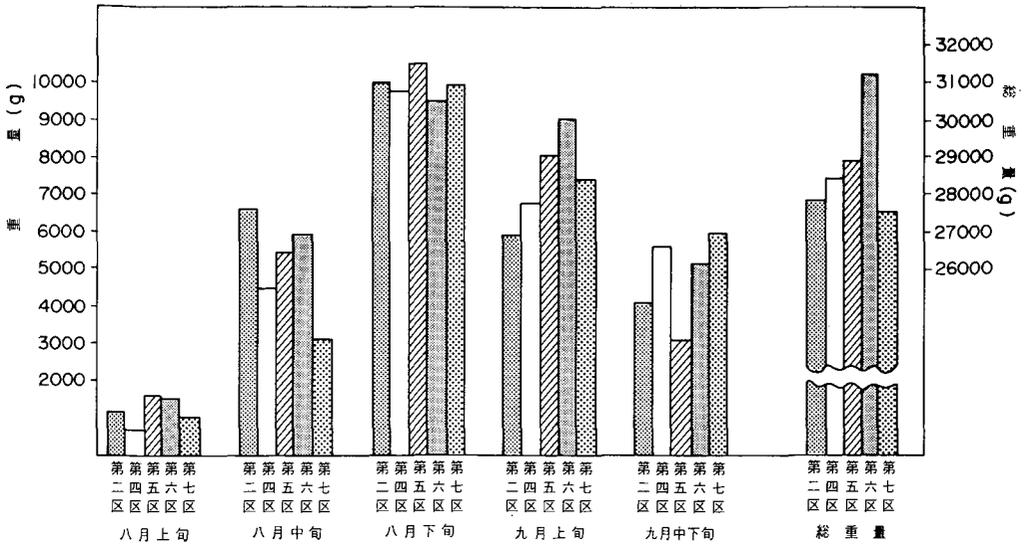


図-1-8 トマトの時期別収量

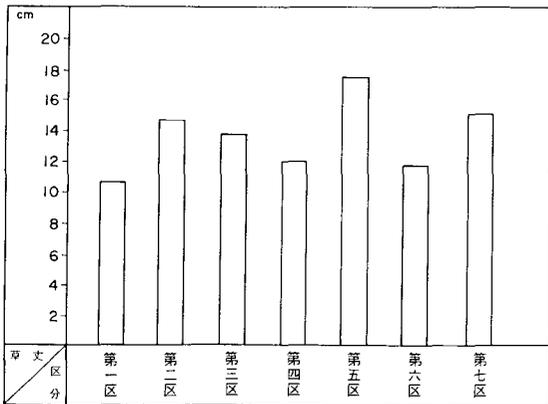


図-1-9 ピーマンの苗の生育状態(照射35日後)

量が多いのに対して、第4区・第6区・第7区は、後期の収量が多い。b) 全期間をとうして第6区が一番収量が多い。c) 無照射区(第4区)と第2区・第5区は総重量の差は大きくない。のようなことが言える。

ii) ピーマンの実験結果

ピーマンの照射処理後35日の生育状態を図-1-9に示した。この図によると、無照射区に比較して、照射区はいずれも草丈が低い。特に、トマトの草丈が高く、また収量も多かった第6区(昼光色蛍光灯2本)が、第1区について低いのが目だつ。

以上、トマトとピーマンの補光の結果、つぎのようなことが結論される。

- ① トマトの苗は、早期3時より夕方16時まで照射した区がいずれも生育がよい。
- ② 栽培用蛍光灯と昼光色蛍光灯の差は、トマトの苗では、はっきりしない。
- ③ トマトの収量は、昼光色蛍光灯で照射した区が最もよい。
- ④ ピーマンの苗は、トマトの場合とは全く相違した反応を示す。すなわち、無照射区の生育が最も良好で、照射の効果は見られない。
- ◎育苗時の補光実験-2

先の実験においてトマトは昼光色蛍光灯で照射した区が栽培用蛍光灯など、他の処理区に比較して多収量であったため、昼光色蛍光灯と栽培用蛍光灯によるトマトの苗の生育を比較する目的で、1966年、さらに育苗時の補光実験を行った。

<実験方法>

i) 供試作物と品種

トマト 福寿2号

ii) 育苗

は種 1966年2月15日

育苗法は、先の補光実験と同じであるが、水受皿にジィフィポット75個を入れた。苗の照射は、40W 蛍光灯2本を照射台上、50cmの高さから3月4日より58日間照射した。また、苗がある程度大きくなった4月15日に7寸鉢に苗を移植し、70cmの高さより照射した。

なお、照射時間は3時~19時の16時間である。

表-1.8 育苗中の照射処理と調査期日

月	2		3		4				5				
日	15		4		15	25	3	11	15	20	25	30	2
記事	は種		照射初め (照射距離50cm)		生育調査		生育調査	生育調査	移 植 (照射距離70cm)	生育調査		生育調査	定植
照射期間	58 日 間												

実験中の処理は、表-1.8のとおりである。

iii) 実験区の設定

- 第1区 栽培用蛍光灯照射
- 第2区 昼光色蛍光灯照射
- 第3区 無処理

<実験結果および考察>

生育調査は、表-1.8に示したごとく、移植前4回、10個体ずつランダムに採取して苗の草丈・茎径・葉数・生体重および乾物重の測定を行った。また、移植後は3回、鉢に植えた10個体についての草丈・茎径・葉数のみ測定した。なお、この測定結果を図-1.10に示した。

図より明らかなごとく、草丈・生体重・乾物重・葉数

などは、無処理区に比べ照射区は常に大きく、補光による効果が表われているものと思われる。そして、その特徴は、

- ① 草丈は栽培用蛍光灯の方が常に高い。
- ② 生体重・乾物重は、生育初期には栽培用蛍光灯の方が重い、処理30日以後には昼光色蛍光灯の方が重くなる。
- ③ 葉数・茎径は、ほとんど有意差がない。

などのことが結論づけられる。

異った波長分布の光源を作物に補光し、作物の反応をみようとした実験は、上記の3種類について行ったが、この3回の実験をとうして、つぎのようなことが結論さ

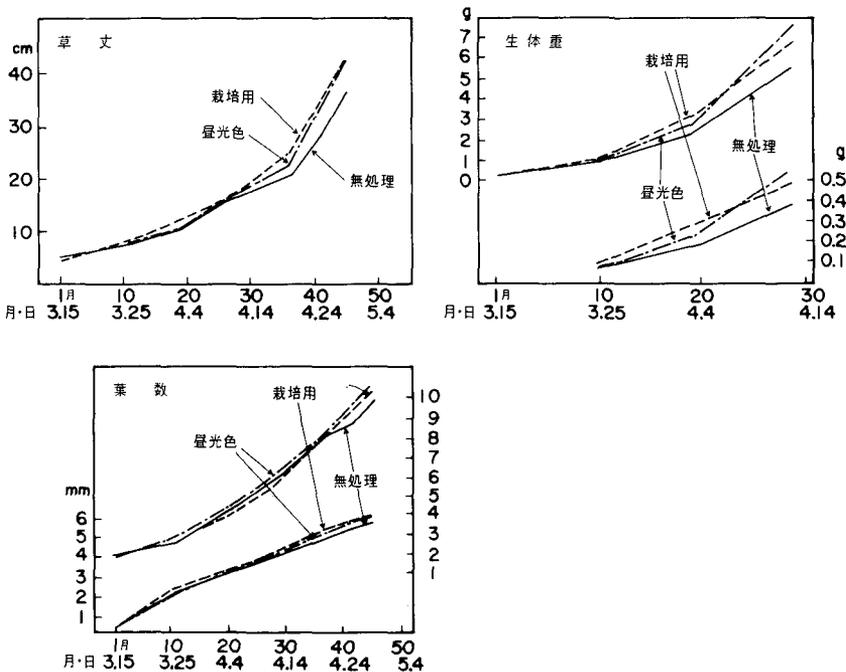


図-1.10 補光によるトマトの生育

れる。

- ① 蛍光灯を使用して補光を行う場合、強い照射量を長時間行わなければ、照射効果は認められない。
- ② トマト・ピーマンの反応より、供試作物の種類により反応は異なることが推察される。
- ③ トマトの生体重・乾物重は、栽培用蛍光灯より、昼光色の方が大きい。草丈については栽培用の方が大きい。

以上のごとく自然光の補光に蛍光灯を用いた場合、蛍光灯の光量は、自然光に比較すると非常に弱光のため、強い照射量を作物に照射しなければ補光の効果はあらわれない。したがって、照射量を強くするためには、作物体を蛍光管に近づけるか、また、蛍光管の本数を増す方法をとる必要がある。しかしこのような方法をとると、蛍光管のため自然光が遮光され、自然光が作物に充分あたらぬ障害があらわれる。さらにまた、自然光の光量・光質は時々刻々変化しており、それともない気温も変動する。供試作物は、これら種々の環境の影響を受け正確に蛍光灯の光質だけの影響というわけにはいかない。これらへい害を取り除き、真に光質の影響だけを調べるためには、人工気象室内の制御された環境で実験を行う必要がある。

第2節 昼光色・栽培用蛍光灯によるトマトの

室内育成実験

第1節において昼光色・栽培用蛍光灯などを用いて、光質の相違による作物の生育比較実験を行った。しかし、正確に光質の相違の比較を行うためには、制御された人工気象室で実験を行う必要があることが明らかとなった。そのため、第2節は、グロースキャビネット内で昼光色・栽培用蛍光灯の光質の差がトマトの生育におよぼす影響を実験したものである。1)の実験は、昼光色・栽培用ランプの蛍光管数を一定にした場合のトマトの生育状態を、2)の実験は、日射計で測定した光量を一定にした時のトマトの生育状態を明らかにした。

1) 蛍光管数を一定にした場合のトマトの生育

<実験方法>

i) 供試作物と品種

トマト 福寿2号

ii) 育苗法

ペーパーポットには種し、本葉4枚になるまでビニールハウス内で生育させ、その後グロースキャビネットに移して照射実験を行った。発芽、子葉の展開などの発芽生理は、当然、光の影響を受ける(中山包, 1969)。したがってこの時期の光質に対する反応は、本葉展開後の光

質の反応とは異り、その影響が、後の生育に影響することが予想される。したがって、本葉4枚までは、同じ条件で生育させた。

iii) 処理中の条件

本葉4枚になった苗を1/5,000 aポットに1個体ずつ移植し、1区10個体を実験に供した。実験に使用したグロースキャビネットの大きさは、1.5m 平方・高さ1.8mもの2連で、蛍光管は天井に17本とりつけられるように作られている。

処理条件は

- ◎ 蛍光管 昼光色区～FL40SD (東芝) 17本
栽培用区～FLR40BR/M (東芝) 17本
- ◎ 照射時間 16時間 (3～19時まで)
- ◎ 温度 明期 (3～19時まで) 25.0°C
暗期 (19～3時まで) 17.0°C
- ◎ 湿度 55～75%
- ◎ 照射時間 11日間

照射中の温度は、WENT (1957), 斎藤・その他 (1963)らの実験結果を参考にして、最適昼夜温度を決定した。また、照射時間は、DUNN (1957), 斎藤・その他 (1963), ARTHUR (1930)らの実験結果を参考にし、トマトの生育が最大になる最適時間を採用した。植物の生育は、開花と同様に長日性・短日性があることが知られており(WENT, 1957)、トマトは長日の16時間で生育が最大になることが上記の人達によってすでに報告されている。

植物の光合成反応には、光化学反応と熱化学反応があり、熱化学反応が充分行われる時は、植物の生育は、光化学反応が律速的に作用する。また、光化学反応が充分行われている時は、熱化学反応が律速的に作用することが一般に知られており(田口亮平, 1963)、今、光質の影響を実験するためには、熱化学反応が充分に行われなければならない。

湿度についての制御は、特に行わなかったが、実験中の測定ではおよそ55～75%であった。

なお、培土には砂を用い、肥料は大塚化学KKの液肥を用いた。

<実験結果および考察>

昼光色・栽培用蛍光灯照射による11日間の実験結果を表-1・9に示した。

実験結果は、「育苗時の補光実験-2」の場合と同様に、乾物重については昼光色の方が栽培用に比較して多く、昼光色蛍光灯照射区の方がまさっている。これに反して、草丈は栽培用蛍光灯の方が高い。

表-1.9 蛍光管数を一定にした場合のトマトの生育状態

区 分	乾 物 重 (g)	生 体 重 (g)	草 丈 (cm)	葉 数 (枚)	備 考
昼光色蛍光灯	0.53±0.17	5.96±1.88	12.4±1.4	7.3±0.7	
栽培用蛍光灯	0.47±0.13	5.00±1.46	13.3±2.0	7.0±0.7	

10 株平均±標準偏差

昼光色と栽培用蛍光灯の光量は、ゴルチンスキー日射計で測定した所、同じ蛍光管本数でも昼光色の方が高いカロリー数を示した(堀口郁夫, 1967)。これは両蛍光管のランプ効率をみても明らかである。ランプ効率とは、一ワット当りのルーメン数で表わされる。ルーメンで表わされるため、正確にはランプのカロリー数とは比例しなく植物の生育に対する指標とはならないが、およその値は示すものと思われる。

昼光色蛍光灯のランプ効率は3,200 lumen/40 wattであるのに対して、栽培用のランプ効率は、1,050 lumen/40 wattであり、昼光色蛍光灯の方が非常に大きな値を示し、可視光部のエネルギー量が大きいことを示している(東芝技術資料より)。したがって、同じ本数の蛍光管でも昼光色の方が高いエネルギー値を示し、その結果、乾物重は栽培用蛍光灯より多くなったものと思われる。一方、トマトの草丈について VINCE ら(1957)によると、赤色光で草丈が伸長し青色光で抑制されるという報告がある。今回の実験においても栽培用照射区が昼光色照射区に比べて草丈の伸長が大となったのは、栽培用の赤色部により草丈の伸長がうながされたためと考えられる。

2) エネルギー量を一定にした場合のトマトの生育

先の実験において、蛍光管数を一定にした場合、昼光色蛍光灯の方がエネルギー量が多く、これがトマトの生育に影響し栽培用蛍光灯より乾物重が大きくなることが判明した。したがって、エネルギー量を一定にし蛍光管数を変化した場合の生育状態を実験する必要がある。この実験はゴルチンスキー日射計で照射量を測定し、エネルギー量を一定にした場合の実験である。

<実験方法>

i) 供試作物および品種

トマト 福寿2号

ii) 育苗法

1)の実験とは若干育苗法を変更した。すなわち、発芽は28°Cの定温箱で行い、発芽後本葉2枚まで、昼光色・栽培用蛍光灯が1:1の割合で照射されているキャビネット内で生育させた。このキャビネットの光源の波長分布

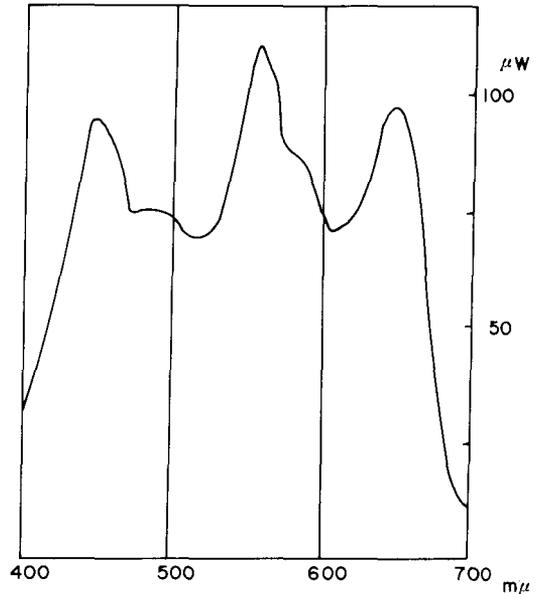


図-1.11 育苗キャビネット内の波長分布

を図-1.11に示した。

これは、育苗をビニールハウス内で行うとハウス内の日射、温度分布の不均一のため苗の生育にむらが出ることで、自然光の強い光量からキャビネットの弱い光量に環境を急変させた場合、新しい環境に苗がなれるまでに若干の日時を要するためである。

iii) 処理中の条件

処理中の条件は、1)の実験と同じである。但し、照射期間は17日間で、培土はパーミュキュライトを使用している点異なる。なお、処理中の照射強度は、ゴルチンスキー日射計で測定した所、0.028 cal/cm²・minで、昼光色蛍光管は9本、栽培用蛍光管は13本を使用した。

<実験結果および考察>

17日間の処理結果を表-1.10に示した。実験結果は明らかに乾物重・生体重・草丈とも栽培用区が優っている。

葉緑素の吸収スペクトルに合わせた波長分布を持って

表一・10 エネルギー量を一定にした場合のトマトの生育状態

区 分	乾 物 重 (g)	生 体 重 (g)	草 丈 (cm)	葉 数 (枚)	備 考
昼光色蛍光灯	0.92±0.11	13.34±1.95	18.95±4.4	9.6±1.3	蛍光管 9本
栽培用蛍光灯	1.06±0.14	14.98±1.97	22.90±2.0	11.0±0.7	蛍光管 13本

10 個体平均値±標準偏差

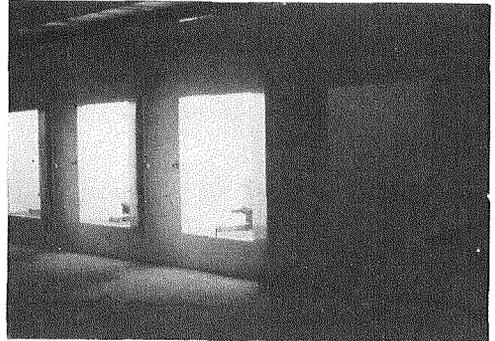
いる栽培用蛍光灯が昼光色蛍光灯より優っているのは当然のことであり、その効果は両ランプの波長分布を比較した場合、昼光色は赤色部のエネルギーが栽培用に比較して極端に低く、生育差はこの赤色部のエネルギー量の相違によるものと推察される。

第2章 二波長の混合と作物の生育

昼光色・栽培用蛍光灯を照射した場合、トマトの生育は照射エネルギー量を一定にすると栽培用蛍光灯の方が生育状態がよいことが判明した。これは、波長分布がトマトの生育に適しているためである。この葉緑素の吸収スペクトルに合わせた波長分布が植物の生育に最適の波長分布であれば、人間の視感度曲線のごとくこの分布に合致したフィルターを光量測定器にとりつけて、光量を測定すればよい。しかし、この栽培用蛍光灯の波長分布が最適なものであるかどうかは、これだけの実験では明らかでない。植物に対する最適の波長分布を見出すためには、種々の波長分布の光源を作り、この光源で植物を育成してみる必要がある。

この種々の波長分布の光源を作り出す方法に、二つの方法が考えられる。一つは、植物に必要な光(約300~800 mμ)の全域に均一な波長分布をもつ光源から、種々の波長をとりのぞいて希望の分布の光源を作り出す方法であり、他は単色光を組合わせて希望の分布の光源を作り出す方法である。前者の方法は、一定の波長を取り除く安価な方法がないこと、また、植物に必要な光の全域に均一な波長分布の光源がないことなどの理由で、今回の実験では、後者の方法を採用した。

実験はまず、二波長の混合からはじめた。植物は赤色光と青色光で高い活性を示すことが知られており、この赤色光と青色光の単波長を混合し、混合割合がどのくらいの比率の時、植物が最大の生育を示すかということを目標として今回の実験を行った。実験はすべて、大きさ1.5m²・高さ1.8mのもの4~6連のグロースキャビネットを使用して行った(写真-1.1参照)。このキャビネットは、40W 蛍光管30本が取り付けられるようになっている。



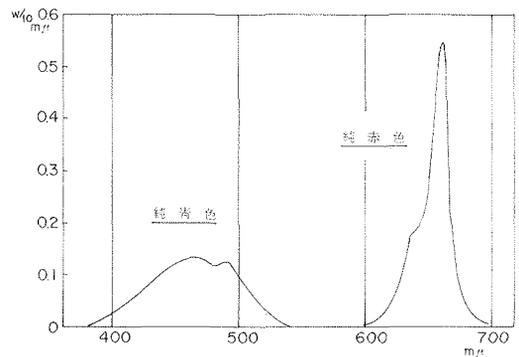
写真一・1 実験に使用したグロースキャビネット

第1節 赤色光と青色光の混合割合と作物の生育

光質と作物の反応は、前章第1節3)育苗時の補光実験のトマト・ピーマンの反応結果より作物の種類により異なることが予想された。したがって、赤色光と青色光の混合光(以下、単色光を混合した光を「混合光」とする)についても、多くの作物について実験することが望ましいが、今回の実験では、トマト・キュウリ・ピーマン・ハツカダイコンおよびダイズの5種類の作物について行った。

1) 実験に使用した混合光の波長特性

実験に使用した赤色光・青色光の光源としては、カラーランプ(三菱蛍光灯40W)を用いた。この蛍光灯



図一・12 赤色・青色カラーランプの波長分布

は、図-1・12に示したごとく、一般のカラー蛍光灯にくらべてきわめて波長幅の狭い単色光であり、また蛍光灯に特有な水銀の輝線を特殊塗料で防いでいるため、比較的純粋な単色光を得ることが出来る。

このランプの色度図を図-1・14に示した。この赤色・青色カラーランプの混合割合を種々変えることによって作られた混合光は、色度上の2点を結んだ直線上にx・y値があることになる。

また、図-1・13に実験に主に使用した赤色・青色混合光(以下、R-B混合光という)の波長分布曲線を示した。さらに、表-1・11にこの分光曲線より計算した赤色部(600~700 m μ)・緑色部(500~600 m μ)・青色部(400~500 m μ)の割合を示した。

2) 赤色・青色混合光とトマトの生育

<実験方法>

i) 品 種

福寿2号

ii) 育苗法

前章第2節2)に同じ。

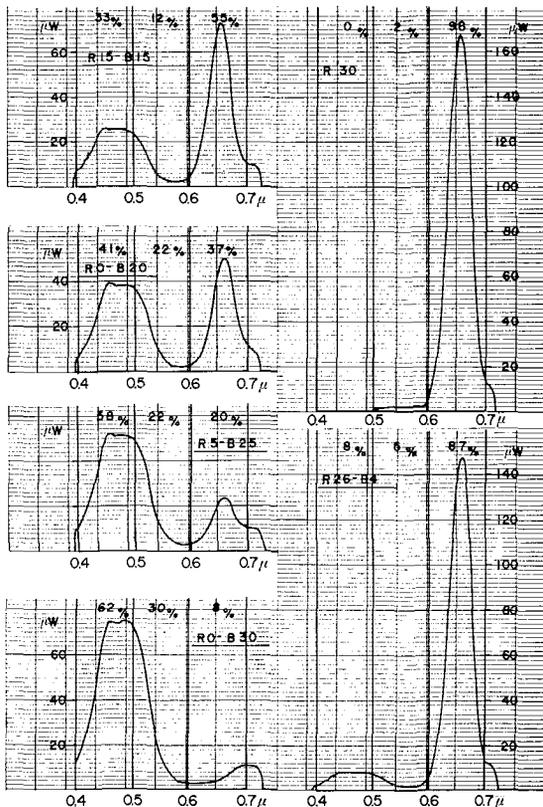


図-1・13 赤色・青色(R-B)混合光の波長分布曲線

iii) 照射処理法

実験はつぎの二種類について行った。

- ① 光量を一定にし、赤色光・青色光の混合割合を種々変えた場合で、使用した混合光源は、表-1・11に示した7種を含む総計22種類の混合光で実験を行った。
- ② 赤色光のみを一定にし、青色光の光量を変えて赤色光に混合した場合、逆に青色光のみを一定にし、赤色光の光量を変えて青色光に混合した場合で、使用した混合光源は表-1・12に示した7種類である。

iv) 照射中の条件

前章第2節2)と同じである。但し、照射期間は、実験

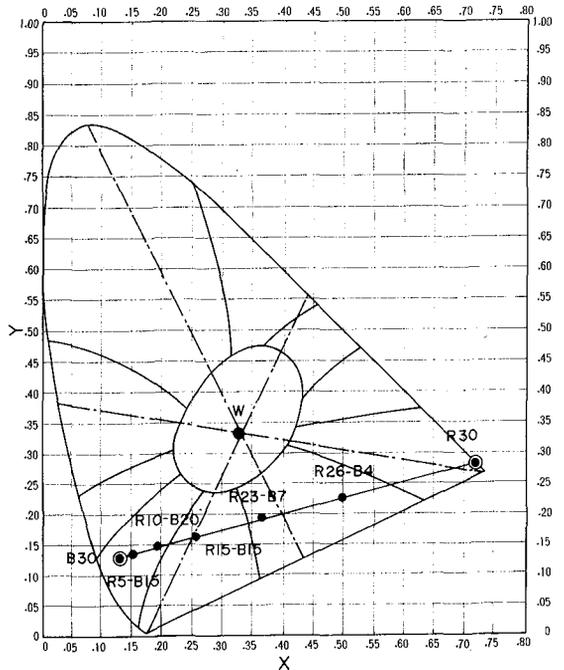


図-1・14 カラーランプとR-B混合光の色度図

表-1・11 R-B混合光の赤色・緑色・青色部の割合

区 分	蛍光灯の本数 赤 : 青	赤色部	緑色部	青色部
		600~700 m μ (%)	500~600 m μ (%)	400~500 m μ (%)
R30(-B 0)	30 : 0	98	2	0
R26-B 4	26 : 4	87	5	8
R23-B 7	23 : 7	83	6	11
R15-B15	15 : 15	55	12	33
R10-B20	10 : 20	37	22	41
R 5-B25	5 : 25	20	22	58
(R 0-)B30	0 : 30	8	31	62

表一・12 一定光量の赤(青)色光と青(赤)色光の混合光の波長割合

区 分	蛍光管の本数	赤 色 部	緑 色 部	青 色 部	光 量
	赤 : 青	600~700 m μ (%)	500~600 m μ (%)	400~500 m μ (%)	
R15-B 0	15 : 0	97	3	0	0.001
R15-B 5	15 : 5	70	7	23	0.016
R15-B10	15 : 10	63	10	27	0.019
R15-B15	15 : 15	55	12	33	0.024
R 0-B15	0 : 15	0	27	73	0.011
R 5-B15	5 : 15	25	19	56	0.014
R10-B15	10 : 15	37	17	46	0.018

により若干異ったが、およそ20日前後であった。

<実験結果>

i) 光量を一定にし、赤色光・青色光の混合割合を種々変えた場合

トマトを用いたR-B混合光による栽培は、4回累計22種類の混合光で行った。各回の照射強度は、各混合光源間で一定に保ったが、4回の実験の間の強度はまちまちである。この実験結果を図一・15に示した。

図の横軸は、混合光の赤色部の割合をとり、縦軸には

全蛍光管が赤色カラーランプの時の生育を100とした相対値で示してある。これらの図によるとR-B混合光によるトマトの乾物重は、つぎのようなことがいえる。

- ① 最大の乾物重は、赤色部の割合が80%付近にある。
- ② 赤色部の割合が70~98%の範囲の混合光では、きわめて高い乾物重を示す。
- ③ 40~70%までは、赤色部の割合の減少にほぼ比例して乾物重が減少している。
- ④ 40%以下では、ほぼ一定の値を示す。

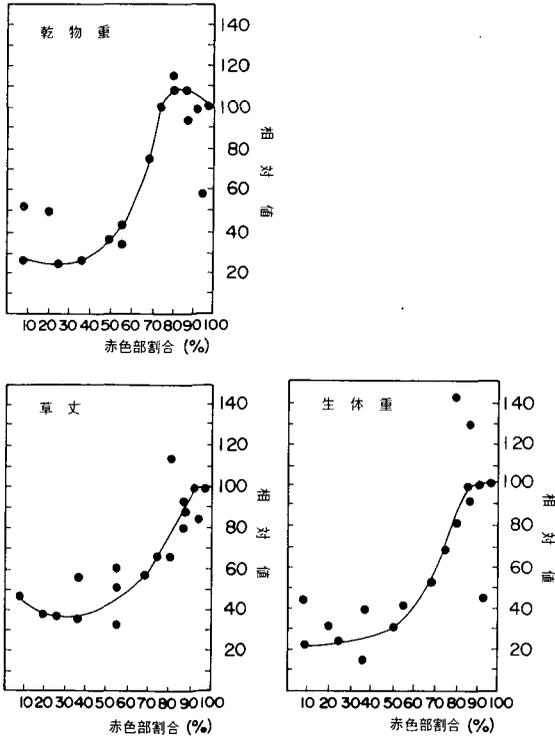
また、草丈と生体重はほぼ似かよった生育曲線を示しその特徴はつぎのように要約される。

- ① 草丈・生体重の最大値は、赤色部の割合が80~98%付近にあり、乾物重のように80%付近の最大点は判然とは現われていない。
- ② 40~85%までは、乾物重と同じように赤色部割合の減少に比例して、草丈・生体重も減少する。
- ③ 40%以下では、ほぼ一定の生育状態を示すが、その値は最大の草丈・生体重の1/2~1/4にすぎない。

以上のように、トマトの乾物重・草丈・生体重などの生育は、赤色部の割合がきわめて多い混合光で最大値を示す。特に、乾物重は赤色光のみよりも、赤色光にわずかの青色光を加えた混合光で最大の生育を示すということは、後に示すごとく、重要な意味をもつものと思われる。栽培用蛍光灯の赤色部の割合は56.7%であり、図一・14の色度図などから推察すると、栽培用蛍光管よりさらに植物育成に有用な波長分布が存在することは明らかである。

ii) 赤色光(または青色光)のみを一定にし、青色光(または赤色光)の光量を変えて混合した場合

トマトについて、赤色光と青色光の混合による影響をみるため、一定量の赤色蛍光管に青色蛍光管を少しづつ加えた場合、逆に、一定量の青色蛍光管に赤色蛍光管を



図一・15 R-B混合光照射によるトマトの生育

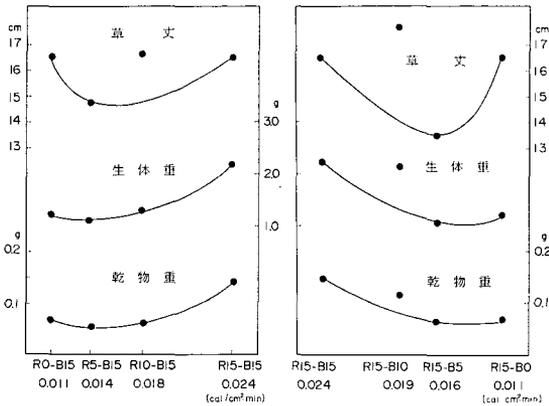


図-1-16 赤色光と青色光の混合割合とトマトの生育

少しずつ加えた場合の生育状態を実験した。その結果を図-1-16に示した。

赤色光と青色光の混合光は、光の混合による干渉のため赤色光または、青色光の光量は厳密には一定にならないが、図より (R15-B0) と (R15-B5) または、(R0-B15) と (R5-B15) を比較すると、R-B 混合光である (R15-B5)、(R5-B15) の方が生育が劣っている。この傾向は、草丈において著しく乾物重・生体重では差はわずかでほとんど有意差はない。しかも、さらに青色光または赤色光を加えた (R15-B10)、(R10-B15)、(R15-B15) は、全般的に生育の増加がみられる。これは、全光量の増加が影響しているためと思われる。以上の実験結果より、トマトの草丈の伸長において赤色光と青色光の混合光は、赤色光・青色光の単独の作用の他に、混合による相互作用が存在することが明らかとなった。

3) 赤色・青色混合光とキュウリの生育

<実験結果>

i) 品 種

加賀青長節成

ii) 育 苗 法

前章第2節2)に同じ。

iii) 照射処理法

実験はつぎの三種類の処理を実施した。

- ① 全光量を一定に保ち、赤色光・青色光の混合割合を種々変えた場合 (使用した混合光は、表-1-11に示してある7種類である)。
- ② 赤色光のみを一定に保ち、青色光の光量を変化させて赤色光に混合した場合 (使用した混合光は、表-1-12に示した4種類である)。
- ③ 赤色部の割合が98%の (R30-B0) と55%の (R15-B15) の二種類の混合光について、全光量を変えて照

表-1-13 キュウリの処理中の条件

区 分	照 射 時 間	温 度 (°C)
明 期	18 時 間	28
暗 期	6 時 間	20

射した場合。

iv) 照射中の条件

苗が本葉2枚展開時より照射を開始したが、照射期間 は ①の実験で17日間、②の実験で20日間、③の実験で16日間であった。また処理中の条件は表-1-13のとおりであった。

なお、照射時間・温度は、松尾・その他 (1968)、莖原・その他 (1967) の研究結果を参考として決定した。

<実験結果>

i) 全光量を一定に保ち、赤色光・青色光の混合割合を変えた場合

図-1-17に17日間照射した後の生育結果を示した。

図はトマトの場合と同様に草丈・生体重・乾物重の調査結果であり、また、横軸には、赤色部の全光量に対する

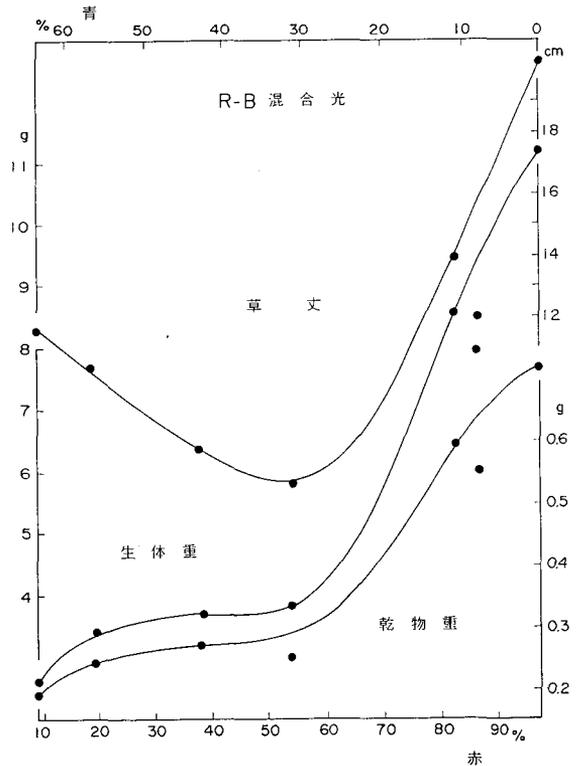


図-1-17 R-B混合光照射によるキュウリの生育

る割合をとってある。この図と図-1・15のトマトの結果を比較した場合、R-B混合光に対する生育の相違が存在することが明らかである。そしてその差異は、特に草丈において著しい。キュウリの場合の特徴をあげるとつぎのようなことが言える。

- ① 最大の草丈・生体重・乾物重は、赤色部の割合が98%のR30-B0混合光に現われており、トマトの反応とは明らかに異なる。
- ② 特に草丈は、赤色部の割合が98~50%程度までは、赤色部の割合が減少するにほぼ比例して草丈も減少し、50%付近で最低になり、さらに50%より赤色部が減少すると再び草丈の増加がみられ、V字型の反応を示す。
- ③ 生体重・乾物重については、赤色部の割合が50%以下の混合光では、トマトと同様ほぼ一定値を示しているが、赤色部が50%以上では、赤色部の割合が最大の混合光から赤色部が減少するのに比例して、生体重・乾物重も減少する。
- ④ トマトの乾物重のように、赤色光にわずかの青色光を加えた混合光で最大を示すという反応は、キュウリの場合あらわれない。

以上のようにキュウリは、トマトの反応とは異った反応を示すことは明らかである。この反応の相違は根本的な光に対する差異であるのか、または、MEIJER (1958) が言うように強度に対する感受性の差が現われたのか、また、トマトとキュウリの生育速度の相違のために現われた現象であるのかはさらに実験を行う必要がある。

ii) 赤色光のみを一定に保ち、青色光の光量を変えて赤色光に混合した場合

先の実験において、赤色部の割合が約50%以上含まれる混合光の照射をうけたキュウリは、赤色光のみの光から赤色部が減少するのに比例して草丈・生体重・乾物重が減少した。この現象は、赤色光の減少による作用かまた、青色光の増加による作用かを確認するため、トマトの場合と同様に、赤色光を一定の光量に保ち、青色光の光量を変えて加えた場合の実験を行った。実験結果を図-1・18に示した。

図におけるキュウリの反応は、トマトの場合ときわめて近似の反応を示している。一定量の赤色光に青色光を加えた場合、赤色光のみの光 (R15-B0) よりもこれに青色光を加えた混合光 (R15-B5) の方が光量が増加したのにかかわらず、草丈・生体重・乾物重は減少している。特に、草丈の減少は著しく、R15-B5 よりもさらに青色光を加えた R15-B10 でも減少している。これは、青色

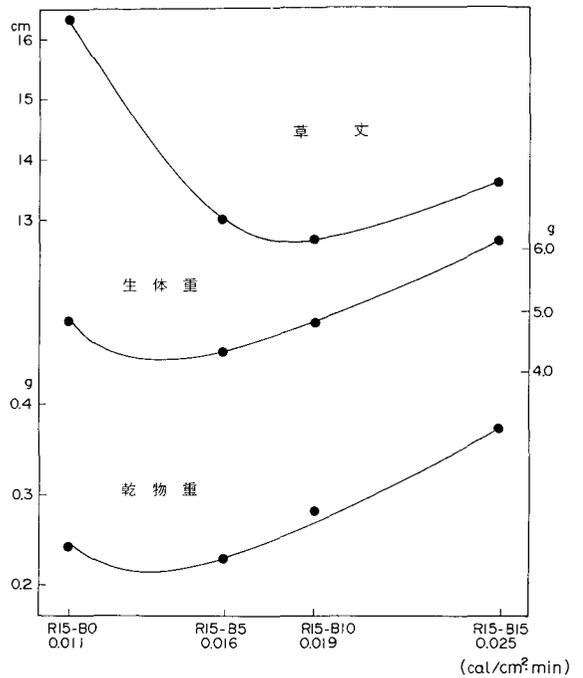


図-1・18 赤色光と青色光の混合割合とキュウリの生育

光が赤色光の作用を抑制したものと考えられ、トマトと同様に赤色光に青色光を加えた場合、混合による相互作用が存在することを意味している。したがって、図-1・17の赤色部の割合が赤色光のみの光より減少するにしたがって、草丈・生体重・乾物重が減少するのは、赤色光、青色光の単独の効果の他に混合による相互作用の効果も加わったためと考えられる。さらに赤色部の割合が減少し、50%以下になると、こんどは青色光の効果が強く現われ、キュウリの草丈はふたたび伸長するものと考えられる。

iii) (R30-B0)、(R15-B15)の混合光の光強度を変えた場合

グロースキャビネット内での実験は、蛍光管による光で、自然光に比較して著しく弱い場合である。したがって、より強い光をうけた場合の作物の反応を知るため (R30-B0) と (R15-B15) の二種類の混合光について光量を変えてキュウリに照射した。(R30-B0)の光は、先の実験で最大の草丈・生体重・乾物量を示した光源であり、一方 (R15-B15)の混合光は、草丈が最少であり、生体重・乾物重もきわめて生育が悪かった。この二種の両極端の光源について光強度がどの様にキュウリの生育に

影響を与えるかについて実験したもので、その実験結果を図-1・19に示した。

両光源の照射強度は正確に一致しなかったが、およその傾向が推測出来る。すなわち、草丈については、先の実験で最低の草丈を示した(R15-B15)混合光は、 $0.024 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ から $0.030 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ に光量が増加するにもなって草丈も増加しているが、草丈が最大であった(R30-B0)の場合は、 $0.023 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ から $0.034 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ に増加しても草丈の増加はなく実験結果ではむしろ減少している。このことは、光質によって草丈の伸長に対する光飽和量が異なることを意味している。(R30-B0)の光は、 $0.023 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ ですでに光飽和に達しているが、(R15-B15)はまだ飽和に達していないものと考えられる。したがって、自然光のような強光量のもとでは、光質による草丈の伸長の差は現われないことが予測される。

一方、生体重・乾物重についてみると、(R30-B0)・(R15-B15)とも光量を増すにつれて重量が増加している。すなわち、両光源とも光飽和に達していないことをものがたっている。これは、光合成の光飽和は強い光量を要するためであり、したがってこの実験からは、草丈のように光質による光飽和の差異については不明である。

以上の実験でキュウリとトマトのR-B混合光に対する反応は、異ったパターンを示したが、赤色部の割合の多い光源で生育がよいこと、赤色光・青色光の相互作用

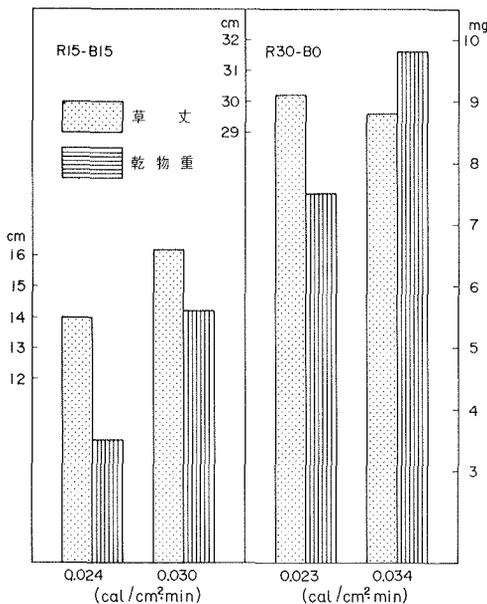


図-1・19 光量の相違によるキュウリの生育の影響



写真-1・2 R30・R15-B15 光照射によるキュウリの生育状態

が存在することなど類似点も多く存在することが明らかとなった。

4) 赤色・青色混合光とピーマン・ハツカダイコン・ダイズの生育

<実験方法>

i) 品種

ピーマン 緑王
ハツカダイコン コメット
ダイズ 北見白

ii) 育苗法

前章第2節2)に同じ。

iii) 照射処理法

ピーマン・ハツカダイコン・ダイズに対する実験は、光量を一定に保ち、赤色光・青色光の混合割合を種々変化した場合のみについて行った。使用した混合光源は表-1・11に示した7種である。

iv) 照射中の条件

ピーマン・ハツカダイコンは、本葉2枚が展開した後、混合光を照射し始め、ピーマンは24日間、ハツカダイコンは30日間処理を行った。また、ダイズは初生葉が展開後12日間処理を行った。なお、照射時間、温度は、

表-1.14 ビーマン・ハツカダイコン・ダイズの処理中の条件

供試作物	区分	照射時間 (時間)	温度 (°C)
ビーマン	明期	18	28
	暗期	6	20
ハツカダイコン	明期	16	25
	暗期	8	17
ダイズ	明期	14	23
	暗期	10	18

表-1.14 のとおりである。

ビーマンの照射時間・温度は、柴崎(1964, 1965)・池内・その他(1962)の研究結果を参考にし、ハツカダイコンは、関岡(1963)・卜蔵(1968)・橋本・その他(1969)、ダイズは、玖村(1964・1968・1969)の研究結果を参考にし決定した。

なお、ゴルチンスキー日射計で測定した全照射強度は、キャビネット中央のポット上面で0.020~0.025 cal/cm²・minであった。

<実験結果および考察>

ビーマンの生育結果を図-1.20 に示した。

図によるとビーマンの生育状態は、キュウリの反応と比べて類似のパターンを示している。すなわち、草丈は赤色部および青色部の割合の多い混合光ほど伸長が著しく、赤色部・青色部がそれぞれ50%含まれる混合光付近で最低の草丈を示す。しかし、キュウリより赤色光のみの光での伸長が、他の混合光と比較して相対的に低い。生体重・乾物重の反応もほぼキュウリの反応と同じで、赤色光のみの光で最大を示し、その後、赤色部が50%の混合光まで赤色部の割合に比例して重量が減少し、赤色部50%以下では、ほぼ一定の生体重・乾物重を示す。このように、ビーマンはキュウリと類似の生育パターンを示しトマトは異っていることは、第1章第1節3)育苗時の補光実験でもみられた。

つぎに、図-1.21 にハツカダイコンの生育結果を示した。

ハツカダイコンは、生体重・乾物重のみしか調査を行っていないが、その反応は、トマトの乾物重の反応と類似である。すなわち、最大の生育を示す混合光は、赤色光のみの光でなく赤色部の割合が80~87%で、10%前後青色部が混入した混合光である。

しかも、ハツカダイコンの反応は、トマトの場合より

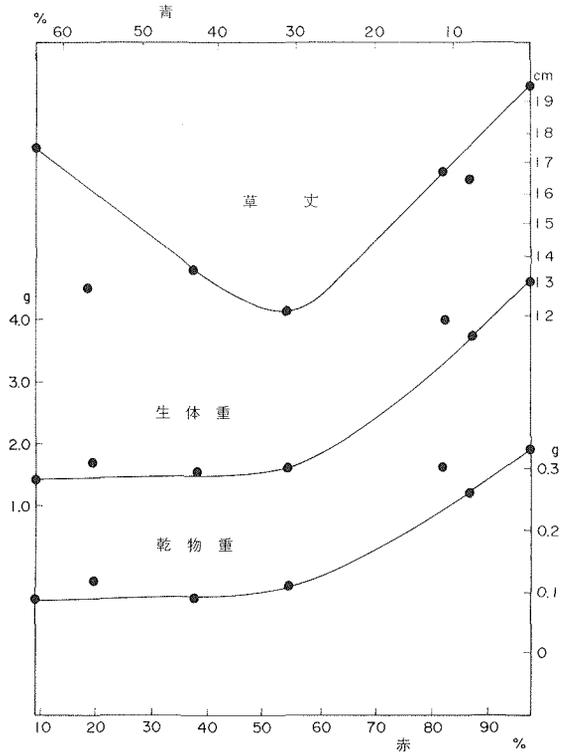


図-1.20 R-B 混合光によるビーマンの生育

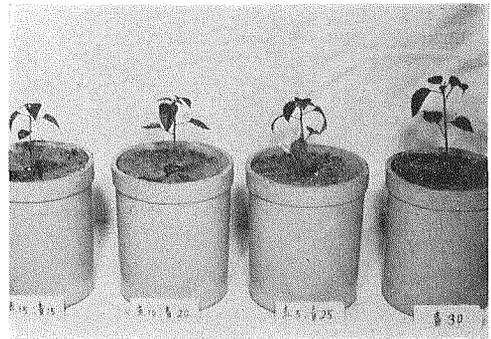
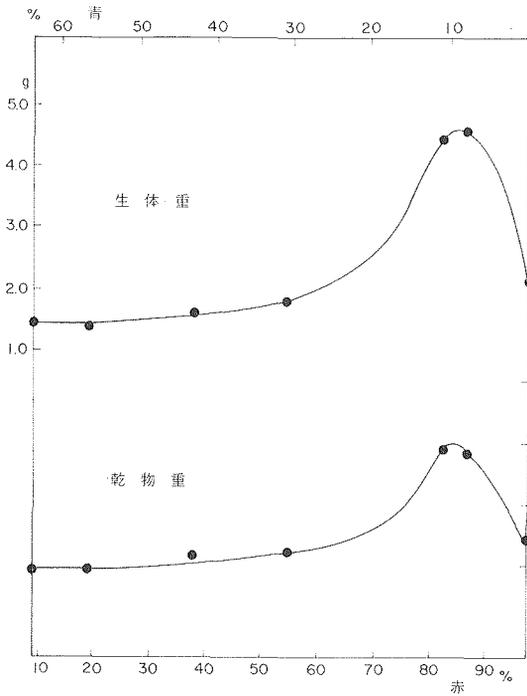


写真-1.3 R-B 混合光によるビーマンの生育状態

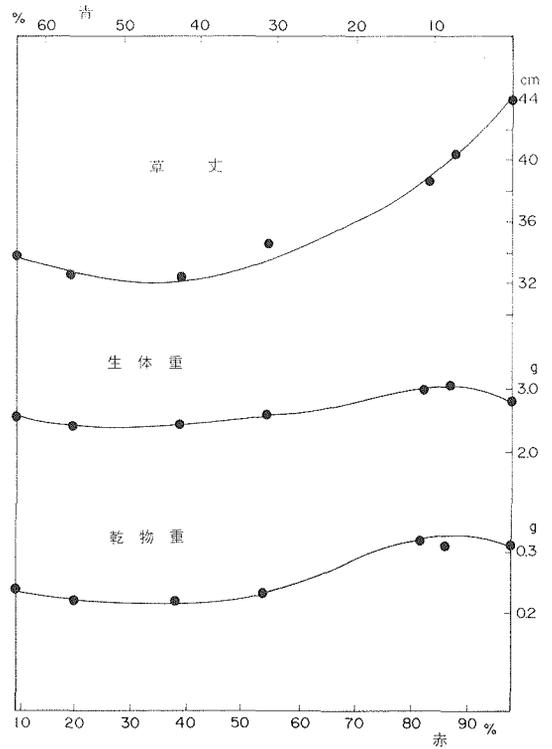
はっきり現われ、生体重も同じパターンを示しているのが注目される。これは、赤色部の割合が80~87%の混合光では、根の肥大が著しいのに対して、他の混合光ではほとんど肥大が行われていなかったためである(写真-1.4 参照)。

ダイズの生育状態を図-1.22 に示した。

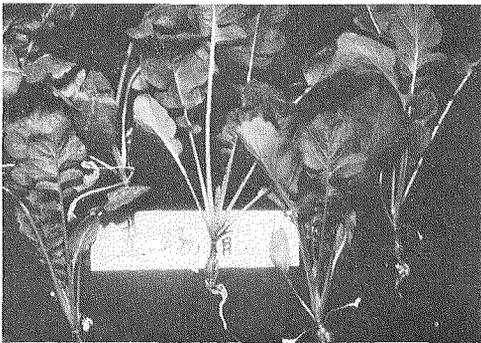
ダイズの生育状態は、今までの作物とは異った反応を示している。すなわち、草丈についてみると、その最大値はキュウリ・ビーマンなどと同じように赤色光のみの



図一・21 R-B 混合光によるハツカダイコンの生育



図一・22 R-B 混合光によるダイズの生育



写真一・4 R23-B7・R15-B15 混合光によるハツカダイコンの生育状態

光で現われているが、赤色部が50%以下の混合光ではほぼ一定の草丈を示し、キュウリ・ピーマンの生体重・乾物重の反応と同じ結果を示し、青色光による草丈伸長が著しくないことをものがたっている。一方、生体重・乾物重は、最大の重量を示す位置が赤色部の割合が80%付近の混合光にあり、トマトの乾物重、ハツカダイコンの生体重・乾物重などと類似の反応を示す。しかし、この傾向はトマト・ハツカダイコンほど著しくないのは、処理期間が12日間と比較的短期間であったことも原因していると思われる。

5) 総合考察

以上が5種類の作物について、赤色と青色の混合光が生育におよぼす影響について実験を行った結果である。これらの実験は、温度、照射時間などについては、今まで種々の研究者の報告した実験例を参照にし、その作物にとって最適の条件を採用しているため、光条件のみが作物の生育を左右しているものと考えられる。5種類の作物の赤色と青色の混合光に対する生育パターンは、3種に大別出来る。一つは、トマトの乾物重に代表される山型で、赤色光のみの光よりも赤色光にわずかに青色光を加えた混合光で最大の生育を示すパターンである。二

つは、キュウリの生体重・乾物重に代表される赤色光のみの光で最大を示す逆L字型、三つは、キュウリの草丈に代表されるV字型である。そしてそれぞれの型における作物の生育を類別するとつぎのようになる。

山型	トマトの乾物重・生体重・草丈 ダイズの生体重・乾物重 ハツカダイコンの生体重・乾物重
逆L字型	キュウリの生体重・乾物重 ピーマンの生体重・乾物重 ダイズの草丈
V字型	キュウリの草丈 ピーマンの草丈

トマトの生体重・草丈は、山型と逆L字型の中間に属すると思われるが、一応山型に入れた。

これらの反応のうち、乾物重は光合成の指標と考えられ、また、草丈は光成形の指標と考えられる。しかし、厳密には草丈は、光成形反応のみではなく、光合成の影響もうけている。すなわち、光合成量が多く、作物の生長が盛んな時には、当然、草丈も高くなり光合成の二次的影響もうけることになる。また逆に、光合成は光成形反応の影響もうける。光成形反応が、光合成に対して正の反応をもたらすものであれば（例えば、葉面積の増大にともなう受光面積の増大など）作物の乾物生産量は多くなり、負の反応をもたらすものであれば、（例えば、草丈のみが増大し、光合成産物が葉・根などに利用されない場合）乾物重は小さく、著しい時には枯死する場合もある。作物の全体の生育の指標としては、草丈よりも乾物重をとるべきであるが、今回はこれら二つを分けて考えた。

乾物重の赤色光と青色光の混合光についての研究は、ほとんど行われていない。わずかに DUNN (1957) が、赤色光と青色光の混合光は、単色光や暖白色光よりトマトの乾物重がよかったと報告しているが、赤色光と青色光の混合割合が明らかでなく、また、光量も feet-candle を使用している。一方、赤色光・青色光などの単色光と作物の生育については、多くの研究が行われており、トマトでは、赤色光が最も生育がよいという報告が多い (VINCE *et al.*, 1957)。

しかし、今回の実験で、赤色光と青色光を混合した場合、図-1・15~1・22 に示したごとく、その反応は作物によって異なり、また、青色光は赤色光の作用を抑制する作用があった。これらの反応は二波長の混合について充分調べられていないので理由は明らかでないが、つぎのように考えられる。赤色光は、光合成、光成形などの反応

に一般的に活性がある。したがって、他の生理作用や呼吸なども活発に行われることが予想される。今、純光合成量は、

$$\text{純光合成量} = \text{真の光合成量} - \text{呼吸による消費}$$

で表わされる。この純光合成量が最大になる時は、作物の乾物生産量が最大になる時であり、これが作物の種類によって異なるものと思われる。キュウリのように、赤色光に対する青色光の抑制効果が強く作用する作物は、わずかの青色光でも乾物生産量が減少するが、トマトのように青色光の抑制作用があまり強くない作物は、ある程度の青色光を加えた方が、呼吸が抑制され、純光合成量が最大になると考えられる。そして、赤色光の割合が、全光量の 50% 付近までは、青色光の抑制作用と赤色光の光量の減少によって急速に乾物重は減少するが、50% 以下になると青色光の作用が強く表われるものと思われる。したがって、キュウリのように、青色光による草丈の伸長作用が著しい作物は、V型の反応を示すが、青色光で大きな活性を示さない作物の乾物重やトマトなどの草丈は、山型や逆L字型の反応を示す。この場合、山型を示すか逆L字型を示すかは、トマトの乾物重、ハツカダイコンの乾物重・ダイズの乾物重などが山型を示すことにより、光合成は一般的に山型を示し、草丈の伸長の速いダイズなどは逆L字型で、また、伸長の遅い作物は、乾物生産量の影響が二次的に草丈の伸長に影響して、山型になるものと思われる。この仮説は、波長による呼吸の影響および赤色光と青色光の混合光について多くの作物の実験を行わなければ確認出来ない。しかし、今回の実験の目的は、最高の生育を示す波長分布を見出すことであるため、これらの実験は行わなかった。

さらに、図-1・19 に示したごとく、混合割合の異なる光源について光量の相違がキュウリの生育にどのように影響するか実験した例について、乾物重は、赤色光のみの光源 R30 も、赤色部が 50% 付近の光源 R15-B15 も光量の増加にともない増加している。しかし、草丈は R30 の場合、光量によって大きな変化がなかったが、R15-B15 の場合は光量の増加にともない増大した。これは、光合成が強エネルギー反応で光飽和点が非常に強いため光量の増加にともない乾物重も増加するが、光成形反応は、低エネルギー反応のため R30 では、 $0.02 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ でも飽和に達しているためと思われるが、R15-B15 は $0.024 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ では飽和に達していないことをものがたっている。これは、光質によりその飽和点が異なることを示している。この反応はトマトにおいても観測されている (堀口郁夫, 1968)。トマトを R-B 混合光の 0.015

cal/cm²・min と 0.031 cal/cm²・min で生育させた所、最大の草丈は、弱光区でも強光区でも大差はなかったが、赤色部の割合が少ない光源では、両区の草丈の差が大きくなっている。すなわち、光質によって草丈の伸長の光飽和量が異なることが判明した。したがって、自然界のように強光下では、光質による差はなくなるものと考えられる。この反応は乾物生産量でも発表されており、したがって、光質の問題が植物の生育に重要な意義を持つてくるのは、光飽和以下の光量の時であると考えられる。

第2節 赤色・青色混合光以外の単色光の混合と

トマトの生育

赤色光・青色光以外の可視部の波長については、植物に特別活性のあるものは報告されていないため、赤色光に黄色光・橙色光・緑色光を混合した場合についてのみ実験を行った。先の実験で赤色光に青色光をわずか加えた場合、トマト・ハツカダイコンなどの生体重・乾物重などが最大になった。この青色光を他の単色光に換えた場合にどのような反応を示すかという問題はきわめて興味ある問題であるため、トマトを使用して実験を行った。

<実験方法>

トマトの品種・育苗法・照射時間・温度などは、すべて前節2)と同じ方法である。混合光源を作りだすための単色光蛍光灯は、先の実験と同じカラーランプで、その波長分布曲線を図-1・23に示した。

なお、実験はつぎの二回に分けて行った。

- i) R30, R20-O10, R20-Y10, R26-B4, R26-Y4, R26-G4, の6種類の混合光を使用した実験で、処理期間は19日間である。
- ii) R30, R26-B4, R26-Y4, R26-G4, の4種類の混合光を使用した実験で、処理期間は21日間である。

R20-O10, R20-Y10はR30の赤色蛍光管10本を橙色・黄色蛍光管に換えた場合でR30に比較して照射光源の波長幅が広がっている(図-1・24参照)。赤色カラー

ランプは、図-1・23でも明らかのごとく、他のカラーランプに比較して、波長幅が非常に狭い。この波長幅を広げた場合の影響を実験するために設定した区である。一方、R24-B4, R26-Y4, R26-G4の混合光は、トマトにおいて最大の乾物重を示したR26-B4混合光の青色光を黄色・緑色光に換えた場合の効果を実験したものである。実験に使用した混合光の種類と波長割合を表-1・

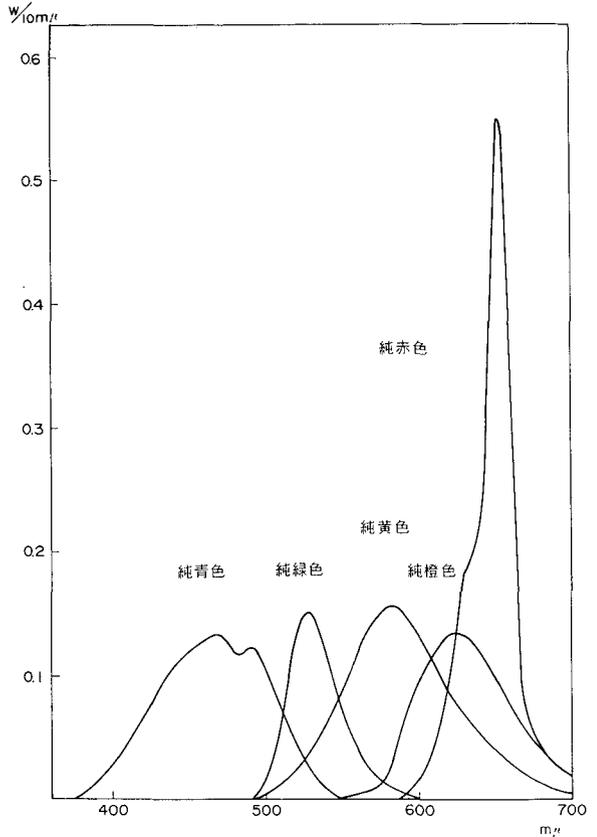


図-1・23 カラーランプの波長分布曲線

表-1・15 実験に使用した混合光源の波長割合

名 称	蛍光管の本数	赤 色 部 600~700 mμ (%)	緑 色 部 500~600 mμ (%)	青 色 部 400~600 mμ (%)	光 量 (cal/cm ² ・min)
R 30	赤 30	98	2	0	0.032
R 26—B 4	赤 26 : 青 4	89	5	6	0.032
R 26—Y 4	赤 26 : 黄 4	90	10	0	0.029
R 26—G 4	赤 26 : 緑 4	93	7	0	0.028
R 30—Y10	赤 20 : 黄 10	77	23	0	0.024
R 20—O10	赤 20 : 橙 10	94	6	0	0.028

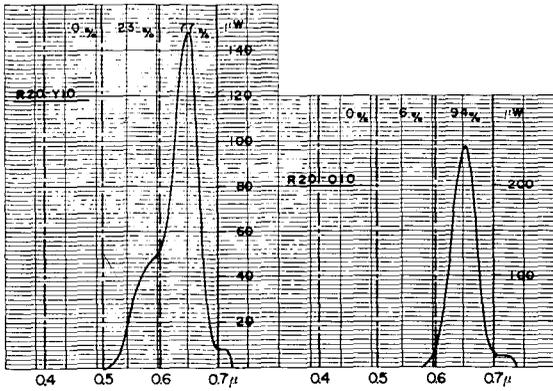


図-1-24 A 実験に使用した混合光源の波長分布曲線

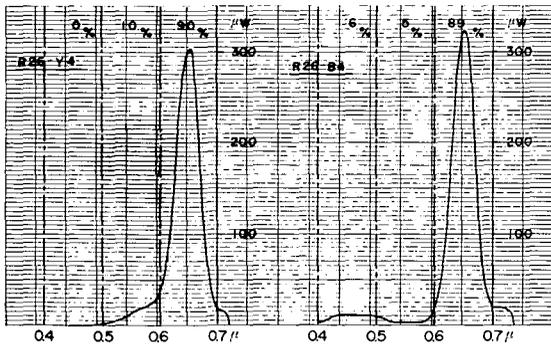
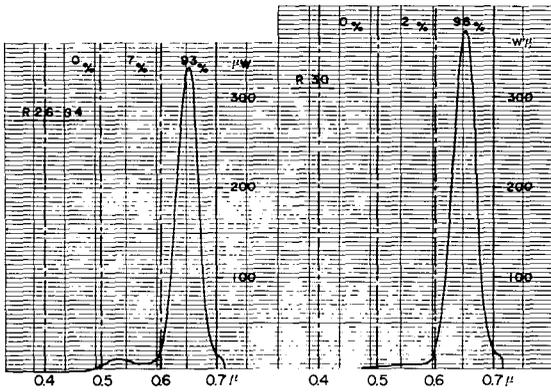


図-1-24 B 実験に使用した混合光源の波長分布曲線

15に、また波長分布曲線を図-1-24に示した。なお、照射強度は厳密に一定にならなかったが、結果は強度が同一になるよう補正した。

<実験結果および考察>

図-1-25に実験結果を示した。図は、R30を100とし

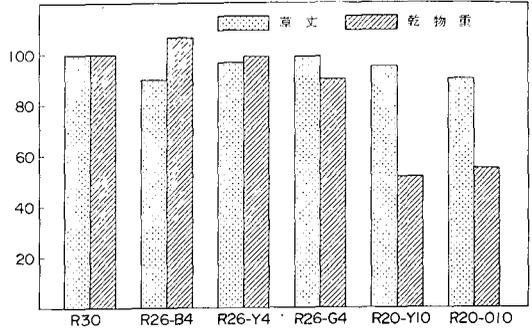


図-1-25 赤色光と黄色・緑色・橙色光の混合によるトマトの生育

た相対値で示してあり、また、R26-B4, R26-Y4, R26-G4は、二回の実験の平均値で示してある。

図より、R30, R26-B4, R26-Y4, R26-G4の4処理を比較すると、R26-B4の草丈がやや低い。これは前節の実験結果と一致しており、青色光による赤色光の抑制作用のためと思われる。しかし、R26-Y4, R26-G4の混合光は、R30の草丈とほとんど有意差はなく、黄色光・緑色光には青色光のような抑制作用が存在しないことが推察出来る。

乾物重について見ると、R26-B4が最大で、R26-G4が若干小さいが、R24-Y4とR30にはほとんど差がないことより、赤色・緑色混合光や赤色・黄色混合光には、赤色・青色混合光(R-B混合光)によるトマトの乾物重のように相互作用による極大値は存在しないことが予測出来る。

また、R30, R20-Y10, R20-O10の生育を比較すると、三処理とも草丈の相違は小さく有意差はないが、乾物重はR20-Y10, R20-O10ともR30の約1/2程度しかない。この実験は、赤色光の波長幅を広げた場合の実験で、この実験結果から赤色光の波長幅はさほど広くなくてもよいことが推察出来る。この結果は第3章に記述するごとく、三波長の混合実験でも確認された。すなわち、R27-B4と、赤色管10本を橙色管10本に置き換えたR17-O10-B4の混合光によるトマトの生育を比較した場合、後者で照射したトマトは前者で照射したトマトより全般的に生育が劣り、赤色光の波長幅を広げる必要がないことが判明した(第3章参照)。キュウリの場合は、トマトほど敏感でなく、波長幅を広げることによる生育差は大きくなかった。

第3章 三波長の混合とキュウリ・トマトの生育

第2章において、二波長の混合光と作物の生育につい

ての実験結果をのべた。その結果、赤色光のみの光源、または赤色光にわずかに青色光を混合した光源で作物の生育が最大になることが判明した。さらにこれらの草丈・生体重・乾物重などの生育は、およそ三つのパターンに分類された。これらの反応は、さらに他の単色光を加えた場合どのようになるか、実験する必要がある。そのため、赤色・青色混合光に橙色光・黄色光などを混合した光源を用いて、トマト・キュウリを生育させた。実験は第2章に用いたグロースキャビネット内で行い、実験法・その他の処理は、第2章の処理法と全く同じである。

第1節 赤色・青色と橙色の混合光とキュウリ・

トマトの生育

実験は、赤色・青色の種々の混合光に一定量の橙色の光を加えた場合の光源下でトマト・キュウリを生育させて実験を行った。R-B混合光に橙色光を加えた場合(以下R-O-B混合光という)、第2章第2節に見られたごとく、その波長分布曲線は、R-B混合光より赤色部の波長幅を広げた分布を示す(図-1・26参照)。この場合どのようにキュウリ・トマトの生育が変化するかを実験したものである。前述の実験においては、赤色光と橙色光、または赤色光と黄色光を混合した光源下でトマトを生育させた場合に、赤色光にわずかに黄色光を混合した光源(R26-Y4)下のトマトの生育は、赤色光のみの光源(R30)下のトマトの生育と大差がなかったが、黄色光・橙色光の光量をさらに増した光源(R20-Y10, R20-O10)下では、乾物重が減少することが判明した。この結果がR-O-B混合光でどのように変化するか興味ある問題である。

1) 赤色・青色と橙色の混合光源の波長特性

実験に使用した単色光蛍光灯は、第2章で用いたカラーランプで、その波長分布は図-1・23に示したとおりである。このカラーランプの赤色・青色と橙色を組合わせて混合光を作ったが、その混合割合と赤色部・緑

表-1・16 R-O-B混合光の波長割合

名 称	蛍光管の本数 赤:緑:青	赤色部	緑色部	青色部
		600~700 mμ (%)	500~600 mμ (%)	400~500 mμ (%)
R20-O10-B 0	20:10: 0	94	6	0
R16-O10-B 4	16:10: 4	87	6	7
R10-O10-B10	10:10:10	65	13	22
R 7-O10-B13	7:10:13	51	14	35
R 4-O10-B16	4:10:16	38	18	44
R 0-O10-B20	0:10:20	26	24	50

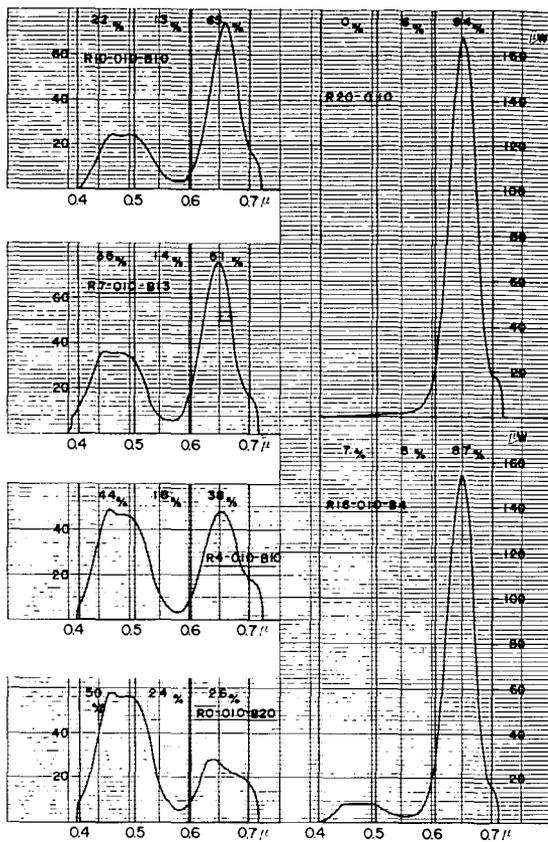


図-1・26 R-O-B混合光の波長分布曲線

色部・青色部の割合を示したのが表-1・16である。表に示したごとく、実験は、赤色と青色の混合割合を種々変化させ、それに一定量の橙色を加えるという方法で行った。

これらの混合光の波長分布曲線を図-1・26に示した。また、図-1・27に色度図を示す。これらの図より明らかなように、実験に用いた光源は、R-B混合光にきわめて近似している。

2) 赤色・青色と橙色の混合光とキュウリの生育

<実験方法>

は種・育苗法・実験中の処理法はすべて第2章と同じである。すなわち、暗発芽後本葉2枚まで育苗用キャビネット内で生育させ、その後、表-1・16の光源下で生育させた。処理期間は20日間、実験中の照射強度は、0.012 cal/cm²・minであった。

<実験結果および考察>

図-1・28に20日間の照射後のキュウリの生育状態を示した。

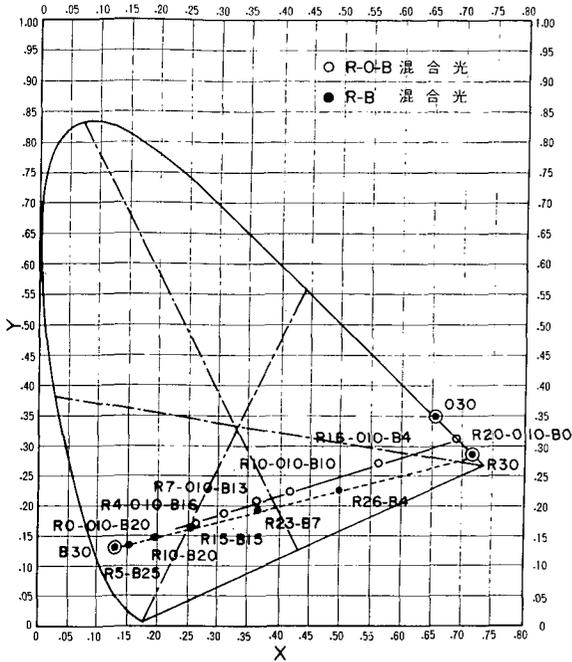


図-1-27 R-O-B混合光の色度図

結果は、R-B混合光の反応ときわめてよく近似している。草丈・生体重・乾物重などの最大値は、赤色部の割合が最も多いR-20-O10-B0の混合光で表われ、これより赤色部の割合が約65%までは、赤色部の量にほぼ比例して草丈・生体重・乾物重が減少している。さらに赤色部の割合の少ない部分では、生育はほぼ一定の値を示し、光質による影響が小さい。しかし、R-B混合光によるキュウリの草丈と比較した場合、R-B混合光はV字型を示していたがR-O-B混合光は逆L字型に近い反応を示している。これは、今回の実験の混合光が、赤色と青色の種々の混合光に一定の橙色光を加えるという方法をとったため、赤色部の割合が一番少ない混合光(R0-O10-B20)でも、青色光のみの光源に比較して赤色部が26%も含まれているため、青色光による草丈の伸長が赤色光によって抑制されたものと考えられる。したがって、R-O-B混合光によるキュウリの生育は、R-B混合光によるキュウリの生育と本質的な変化がないと言える。

3) 赤色・青色と橙色の混合光とトマトの生育

<実験方法>

は種・育苗法・実験中の処理法はすべて、第2章のト

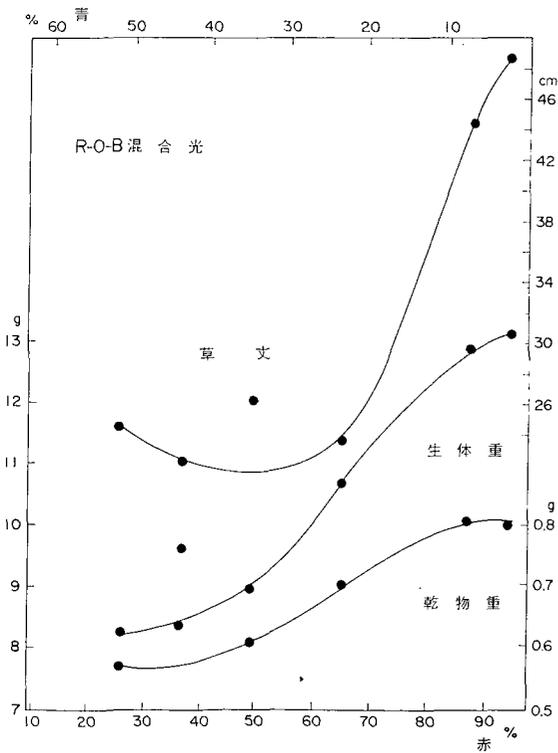


図-1-28 R-O-B混合光によるキュウリの生育

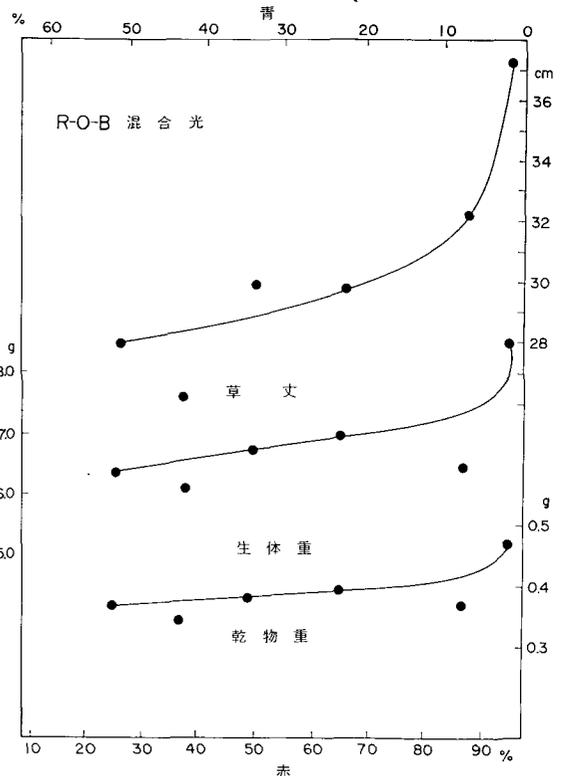


図-1-29 R-O-B混合光によるトマトの生育

マトの場合と同じである。ただし、処理期間は21日間
で実験中の照射強度は、 $0.012 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ である。

<実験結果および考察>

図-1.29 にトマトの生育結果を示した。R-O-B 混合
光によるトマトの反応は、R-B 混合光に比較して非常
に異った反応を示している。

すなわち、草丈・生体重・乾物重の最大値は、赤色部
の一番多いR20-O10-B0の混合光で起こっているが、こ
の光源以外の生育は、きわめて変動が小さく、ほぼ一定
の生育を示している。この反応は、草丈よりも生体重・
乾物重にその傾向がみられる。

以上のR-O-B 混合光による両作物の反応は、R-B 混
合光における反応と同様に、キュウリとトマトでは異つ
た反応を示している。キュウリは、R-B 混合光の場合とほ
ぼ同様な反応を示したのに対して、トマトはR-B 混合光
の場合とは全く異った反応を示した。R-B 混合光とR-
O-B 混合光の波長分布は、先に示したとおりきわめて近
似の波長分布を示している。したがって、トマトの反応
が橙色を加えたことにより変わったのは、 $600 \text{ m}\mu$ 付近
の波長幅の狭い単色光が影響を与えていることが推察さ
れる。

第2節 赤色・青色と黄色の混合光とキュウリ・

トマトの生育

赤色・青色と黄色の混合光(以下R-Y-B 混合光とい
う)は、橙色の場合と同様に、赤色と青色の種々の混合
光に一定量の黄色を加えたものである。この場合の波長
分布は、橙色を加えた場合よりさらに赤色部の波長幅が
広くなり、また緑色部の割合も増加する。したがって、
この実験は、これらの影響がどのようにキュウリ・トマ
トの生育に現われるかを調べたものである。

1) 赤色・青色と黄色の混合光源の波長特性

実験に使用した混合光源は、第1節に用いた橙色のか
わりに黄色を混合したもので、ランプの混合割合と混合

表-1.17 R-Y-B 混合光の波長割合

名 称	蛍光管の 本 数 赤:緑:青	赤色部	緑色部	青色部
		600~ 700 m μ (%)	500~ 600 m μ (%)	400~ 500 m μ (%)
R20-Y10-B 0	20:10: 0	78	22	0
R16-Y10-B 4	16:10: 4	71	24	5
R10-Y10-B10	10:10:10	50	33	17
R 7-Y10-B13	7:10:13	41	33	26
R 4-Y10-B16	4:10:16	31	35	34
R 0-Y10-B20	0:10:20	18	39	43

光の赤色部・緑色部・青色部の成分割合を示したものが
表-1.17 である。

表-1.17 と R-O-B 混合光の波長割合(表-1.16) を比
較した場合、明らかに赤色部の割合が小さく、その減少
分だけ緑色部が増加している。しかも、図-1.30 に示
した波長分布曲線をみても明らかのごとく、その増加は、
 $550 \sim 600 \text{ m}\mu$ の波長域であることがわかる。図-1.31 に
R-Y-B 混合光の色度図を示した。これらの混合光は、
色度図上で W (白色光) の部分に属するものが多い。

2) 赤色・青色と黄色の混合光とキュウリの生育

<実験方法>

は種・育苗法・実験中の処理法は、すべて第2章と同
じである。なお、混合光の照射期間は16日間、照射強度
は $0.025 \sim 0.026 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ であった。

<実験結果および考察>

R-Y-B 混合光の16日間の照射結果を図-1.32 に示し
た。図のキュウリの草丈・生体重・乾物重の生育パター
ンは明らかにR-B 混合光、または、R-O-B 混合光とは
異ったものである。

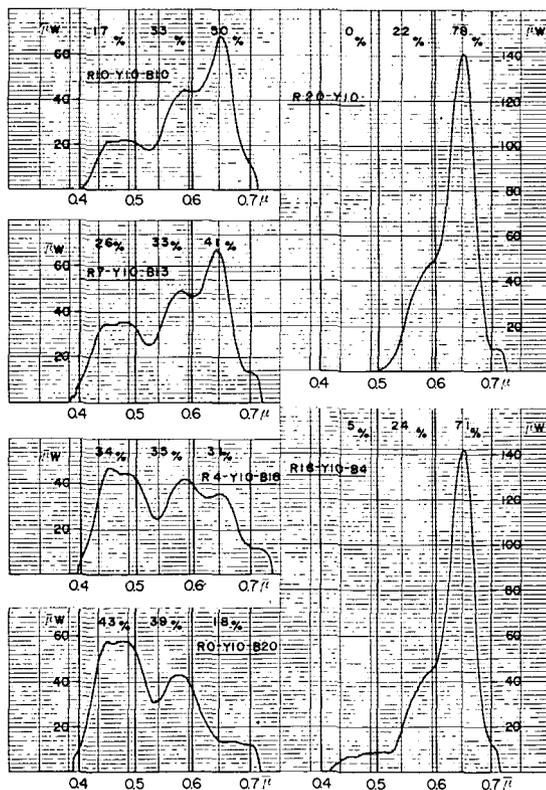


図-1.30 R-Y-B 混合光の波長分布曲線

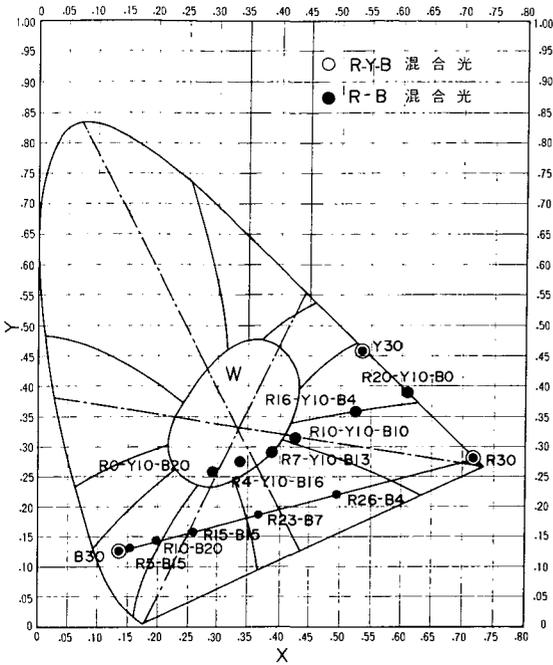


図-1.31 R-Y-B 混合光の色度図

これらの生育は、赤色部の割合の最大の混合光(R-20-Y10-B0)で最大の生育を示し、これより赤色部の割合とほぼ比例して生育も減少している。すなわち、V字型や逆L字型の様なはっきりした生育パターンを示さない。R-B混合光・R-O-B混合光とR-Y-B混合光の生育が異なることは、黄色光の主波長(584 mμ)付近に影響を与える波長が存在することが予測され、その影響は図-1.32より生体重・乾物重より草丈で大きいことがわかる。

3) 赤色・青色と黄色の混合光とトマトの生育

<実験方法>

は種・育苗法・実験中の処理法は、すべて第2章と同じである。なお、混合光の照射期間は20日間、照射強度は、0.025~0.026 cal/cm²・minであった。

<実験結果および考察>

図-1.33にトマトの生育結果を示した。

この反応はキュウリの場合と異り、R-O-B混合光の生育パターンに似ている。すなわち、赤色部の割合の最大の混合光(R20-Y10-B0)で、草丈・生体重・乾物重などの生育は最大を示し、これより赤色部の減少に比例して草丈は減少している。生体重・乾物重は、R20-Y10-B0混合光以外の混合光による生育は、大きな差がない

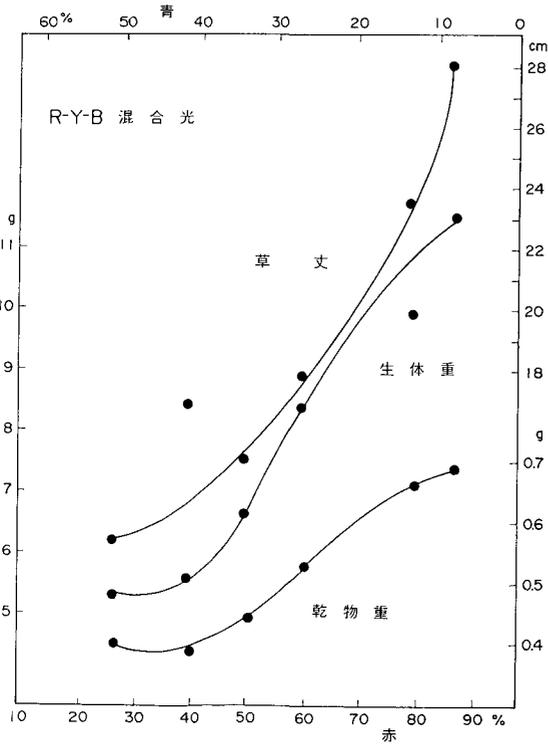


図-1.32 R-Y-B 混合光によるキュウリの生育

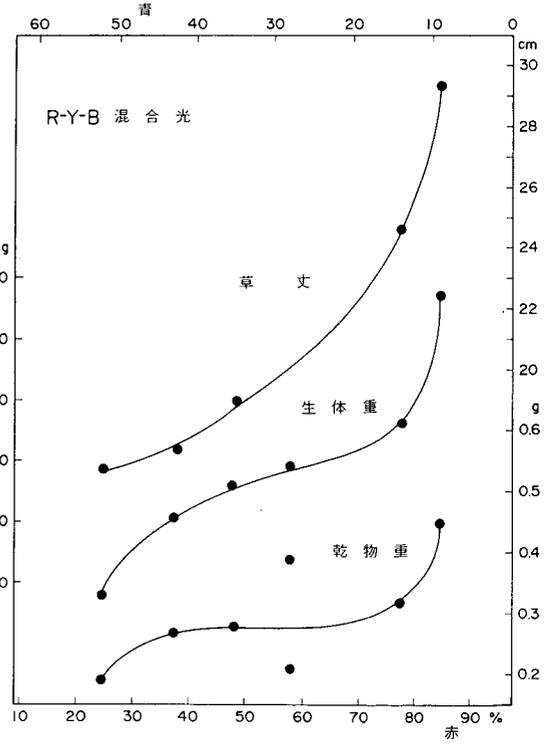


図-1.33 R-Y-B 混合光によるトマトの生育

が、R-O-B混合光による生育より、赤色部割合による変動が大きい。しかし、いずれにしてもトマトの場合、橙色光を含んだ場合と、黄色を含んだ場合で、その生育パターンに本質的な変化がないと言える。

4) 総合考察

三波長の混合として、R-B混合光に一定の橙色または、黄色を加えるという方法で混合光を作りキュウリ・トマトを生育させて、草丈・生体重・乾物重などを調査した。その結果、キュウリの場合は、橙色光を加えたR-O-B混合光照射による生育パターンは、R-B混合光とほぼ似たような反応を示したのに対して、黄色光を加えたR-Y-B混合光照射の場合は、使用した混合光の赤色部割合に比例した草丈・生体重・乾物重を示し、R-B・R-O-B混合光とはやや異った反応を示した。しかし、生育パターンは異ったが、最大の草丈・生体重・乾物重とも、赤色部の割合が一番多い混合光(R30, R20-O10-B0, R20-Y10-B0)でそれぞれ表われている。R-O-B混合光がR-B混合光と本質的に生育パターンが異なるのは、橙色蛍光ランプの主波長である606 m μ 付近にキュウリの生育を変えるような作用が存在しないためであり、一方、R-Y-B混合光が、他の混合光と生育パターンが異なるのは、黄色蛍光ランプの主波長である584 m μ 付近に生育を変える波長帯が存在すると推定出来る。また、この生育パターンの相違は、生体重や乾物重よりも草丈において著しいことから、584 m μ 付近の波長は、草丈などの光成形反応に強く作用するものであろう。混合光による研究例がきわめて少なく、キュウリの黄色光によるこのような発表例は、今までみあたらないが、単色光照射による結果は、橙色光より黄色光の方が草丈・節間長の伸長が著しいという報告があることより(荻原, 1963), 黄色光の光成形反応への活性は確実である。

トマトの場合は、キュウリの反応と異りR-B混合光とR-O-B・R-Y-B混合光で、赤色光にわずかに青色光を加えた時、最大の乾物重を示すいわゆる山型の反応は、R-O-B・R-Y-B混合光に表われないことは重要な意味を含んでいる。また、この生育パターンに影響を与える波長は、橙色・黄色の波長分布から606 m μ 付近に存在することが推察出来る。これらの事実は他に実験例がみあたらないため、原因などは不明であるが、連続波長光でトマトを生育させる場合は重要な意味を含んでいる。

三波長の混合による最大の生育は、キュウリ・トマトとも赤色部が一番多い混合光(R20-O10-B0, R20-Y10-B0)であった。したがって、これらの最大を示した混合光の比較と、赤色光のみのR30の光源の時の比較を行っ

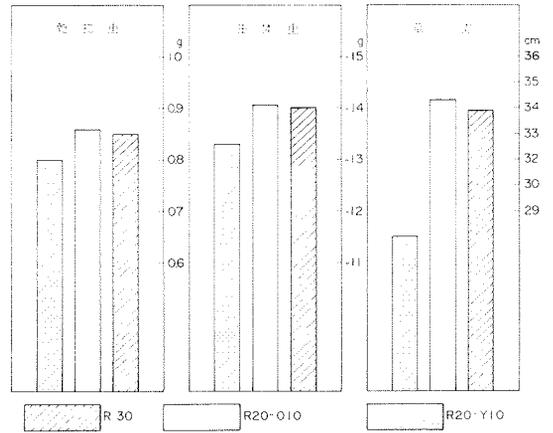


図-1.34 R30, R20-O10, R20-Y10 混合光によるキュウリの生育



写真-1.5 R30, R20-O10, R-Y 混合光によるキュウリの生育状態

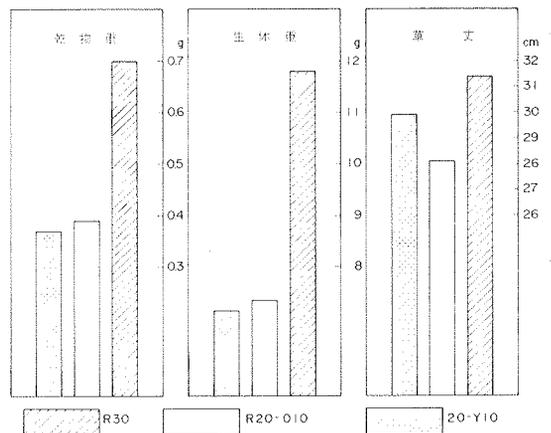


図-1.35 R30, R20-O10, R20-Y10 混合光によるトマトの生育

てみる必要がある。この実験を行った結果が図-1・34, 1・35である。

キュウリの比較をみるとR30とR20-O10(B0は以下省略する)の光源下では、草丈・生体重・乾物重の生育差はほとんどないが、R20-Y10(B0は省略)は全般的に生育が劣り、その差は草丈において著しく、先の結果と一致している。

一方、トマトの場合は、R20-O10, R20-Y10の両処理とも、R30に比較して生育が劣り、特に生体重・乾物重における減少が著しい。しかし、R20-O10, R20-Y10の間には、生体重・乾物重とも有意差はない。以上のようにこの実験においてもキュウリとトマトは異った反応を示し、両作物は光質に対する反応が異なることが明らかである。しかし、両作物とも赤色光のみの光源で最大の生育を示すことはきわめて重大な意味を持つ。R-Y混合光は先にも示したごとく、色度図上で白色光に属する混合光が多かった。これらの白色光よりも単色光の赤色光のみが生育がよいということになり、今迄の実験結果と異なる。しかしいずれにしても、二波長・三波長の混合光内では、キュウリの場合は、赤色光のみの単色光が一番生育がよく、トマトの場合は、赤色光にわずかに青色光を加えた混合光が最大の生育(乾物重)を示すと結論づけられる。

第2編 植物についての光量測定法に関する実験と光量測定器の試作

第1編において種々の波長を混合した光源を用いて、植物(主としてトマト・キュウリ)の反応を実験した。これらの実験は、植物にとって最大の生育を示す混合光を見出すことが目的であった。実験の結果、キュウリは赤色光のみの光源の時、トマトは赤色光にわずかに青色光を加えた光源の時、その生育が最大になり、作物の種類によって最適の混合光の波長分布が若干異なることが判明した。もちろん単色光を組合わせて作る混合光は無限に存在する。それらのすべての混合光について植物照射実験を行うことは不可能であり、また、植物は主として赤色光・青色光に活性が存在することが明らかになっているため、多くの単色光を混合して数多くの混合光源を作って実験を行う必要がない。

第2編は、第1編の実験結果をもととして、植物に対する光量測定法に関する実験と、光量測定器の試作を行った結果についてのべる。

第1章 植物についての光量測定法に関する実験

ファイトトロン・グロースチャンバーなどの人工気象室内の光量測定は、現在、日射計や照度計を用いて測定している。このうち光量の測定単位がエネルギー量で表わされる場合は、日射計で測定される場合が多い。これは、人工気象室内の光源が、 $0.4\sim 0.7\mu$ のいわゆる可視部に主な波長分布が存在するため、日射計で測定しても大きな誤差がないと考えられているためであり、また、他に適当な光量測定器がないためと考えられる。しかし以下に指摘するごとく、日射計で測定する方法は、光量の比較を行う場合適当でないことが判明した。この章は、日射計で測定する方法の誤りを作物の生育をとおして指摘し、植物のための光量測定法について種々考察したものである。

第1節 連続波長光と光合照射による作物生育の比較と光量測定法

昼光色蛍光灯・栽培用蛍光灯などの可視光全域に連続スペクトル分布をもついわゆる白色光は、単色光よりも作物の生育に良いという報告が一般的に多い。例えば、WENT(1957)は、トマトの生育は単色光のランプより白色光の方がよく、このことは単色光ランプの結合が必要であることを物語っているのとべている。また、VINCE, *et al.*(1956)も白色光照射によるトマトの生育は、赤色光照射の場合よりよく、用いた光源の内最大値を示したと報告している。さらに荻原は、キュウリの乾物重は、単色光より白色光の方が重かったと報告している。これらの結果は、単色光を組合わせて混合光を作り、白色光と同じ波長分布の光源を作り出した場合、この混合光源は、単色光のみの光源より作物の生育がよく、しかも単色光の混合が作物の生育に必要なことをものがたっている。しかし、第1編の実験結果では、三波長を混合してほぼ可視光全域に波長分布をもつ種々の混合光源を作り、作物に照射した場合、これらの混合光源より赤色光のみの方がよい生育を示した。さらに二波長の混合の場合、R15-B15の混合光は、図-2・2に示したごとく昼光色・栽培用蛍光灯ときわめて近似の色度を示している。したがって、R15-B15の混合光とこれら白色光照射による作物の生育は近似のものでなければならない。しかし第1編の実験でも明らかのごとく、R15-B15の混合光は、キュウリの場合、最低の草丈を示し、トマトの場合もこの光源より赤色光の多い光源の方が生育がよかった。この第1編の実験結果と、WENTらの実験結果の矛盾はどこにあるのであろうか。この矛盾を解決するた

めにつぎに示すような実験を行った。

1) 栽培用蛍光灯と R12-Y2-G4-B12 の

混合光の比較

連続波長光のうち、栽培用蛍光灯は、エネルギー量を一定にした場合、昼光色よりも生育がよかった。この栽培用蛍光灯の波長分布とほぼ同一の波長分布を有する混

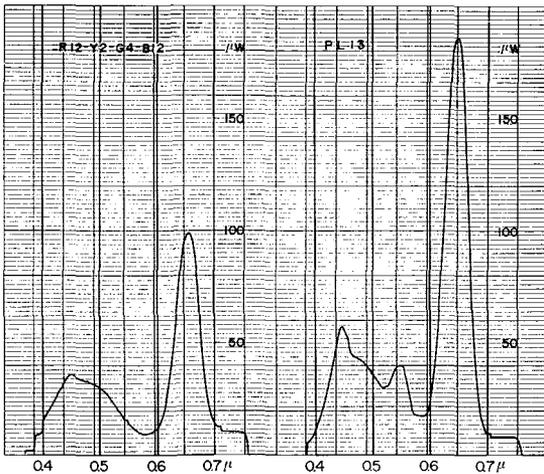


図-2.1 栽培用蛍光灯と R12-Y2-G4-B12 の波長分布曲線

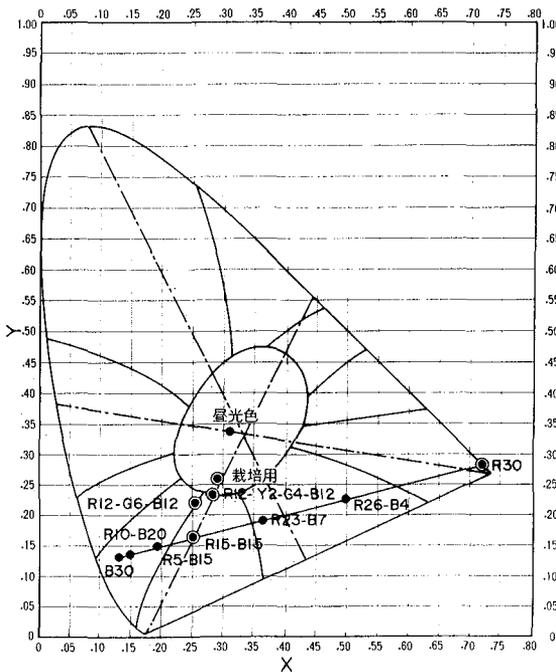


図-2.2 実験に使用した光源の色度図

合光をカラーランプを混合させて作り、光量を一定にしてトマト・キュウリの生育を比較した。この混合光は、カラーランプの純赤色12本、純黄色2本、純緑色4本、純青色12本(以下名称をR12-Y2-G4-B12とする)を混合したものであり、この混合光の波長分布・色度図・波長割合を図-2.1, 2.2および表-2.1に示した。なお、両区とも日射計で測定したエネルギー量は、約0.028 cal/cm²・minである。また、キュウリ・トマトの育苗法・実験方法は、第1編で行った方法と全く同じである。

表-2.1 栽培用蛍光灯と R12-Y2-G4-B12 混合光の波長割合

区分	波長	赤色部	緑色部	青色部
		600~700 mμ (%)	500~600 mμ (%)	400~500 mμ (%)
栽培用蛍光灯		57	18	25
R12-Y2-G4-B12		58	18	24

<実験結果および考察>

キュウリ(17日間照射)・トマト(20日間照射)の実験結果を図-2.3, 2.4に示した。これらの図によると明らかに栽培用蛍光灯の方が全般的に生育がまattering。特に、キュウリの場合は著しく、乾物重などは4倍も栽培用蛍光灯の方が生育がよい。トマトの場合は草丈のみが、R12-Y2-G4-B12の方が高いが、他の生体重・乾物

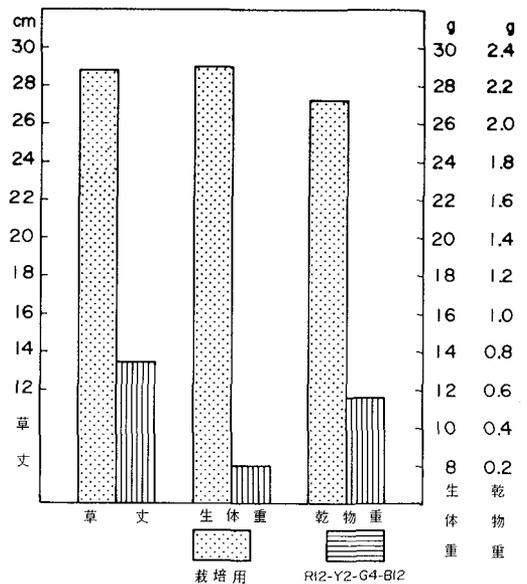


図-2.3 栽培用蛍光灯・R12-Y2-G4-B12 混合光によるキュウリの生育

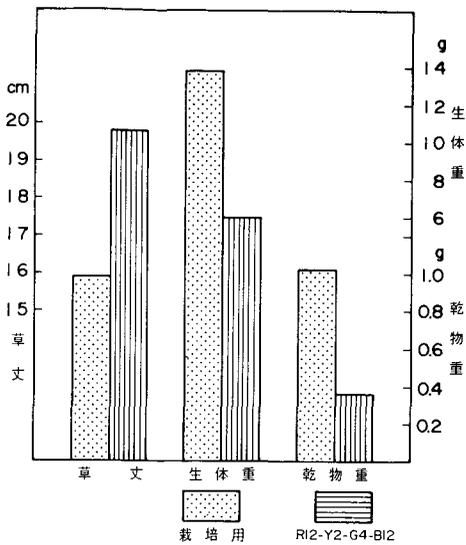


図-2.4 栽培用蛍光灯・R12-Y2-G4-B12 混合光によるトマトの生育

重のいずれも栽培用区がよく、特に乾物重は約3倍も大きく、R12-Y2-G4-B12はいわゆる徒長ぎみの苗になっている。

波長分布・日射計で測定したエネルギー量を同一にした両区で、このように作物の生育が異なるのは何に原因しているのであろうか。図-2.1に示された波長分布を両光源について比較した場合、栽培用蛍光灯区のエネルギーが全般的に大きいのに気付く、両曲線でかこまれた

面積を比較すると、296:221と栽培用が大きく、このことは、0.4~0.7 μ の範囲の光量が栽培用の方が大きいことを示している。すなわち、可視光部の光量の相違がこれらの作物の生育に影響を与えていることが予想される。そのため日射計に0.4 μ 以上の波長を透過するカットフィルター(L-40)をかぶせた時の読みと、約0.7 μ 以上の波長を透過するカットフィルター(R-68)をかぶせた時の読みをとりその差を求めて、0.4~0.7 μ の範囲のエネルギー量を求めてみた。その結果が表-2.2である。

表には、日射計の読みと、ガラスドームをポリエチレンドームに変えて測定した全放射量の値も示されている。この表より明らかなように、同じ日射量でも、その組成は異っていて有効光量(L40-R68)は、栽培用蛍光灯の方が約2.2倍も多い。すなわち、日射計の読みを同じにしても栽培用蛍光灯は植物に有効な部分が多く含まれているのに対して、R12-Y2-G4-B12混合光の方は、植物に利用されない部分が多いことが明らかである。日射計は、0.4~3.0 μ の広い波長範囲を測定出来るように製作されている。それに対して蛍光灯は可視光と蛍光灯自体の熱線(長波長放射)を出している。今まで、日射計で人工光線を測定する場合、この可視光のみが測定されるものとして使用されて来た。しかし、表-2.2から明らかなごとく長波長の影響もあることは明白である。この長波長は、ランプの温度が350~300°Kとすると7~10 μ に最大値があり、この内3 μ 以下の部分が日射計に感ずるものと思われる。したがって、植物の栽培をする場合、単に、日射計で測定しただけでは波長の相違に対する植

表-2.2 栽培用蛍光灯と R12-Y2-G4-B12 混合光のエネルギー量比較

区 分	L40 (mV)	R68 (mV)	L40-R68 (mV)	日射計読み (mV)	全放射量 (mV)
栽培用 蛍 光 灯	0.280	0.150	0.140	0.300	0.440
R12-Y2-G4-B12	0.265	0.200	0.065	0.290	0.520

物の影響の比較とはならない。

2) 赤色蛍光灯と昼光色蛍光灯の光量の比較

日射計で測定した光量を一致させても植物生育を比較する場合、充分でないことが明らかとなった。したがって、今まで実験に使用した純赤色カラーランプと昼光色蛍光灯の有効光量、日射計光量、全放射量などの割合を測定した。測定器は、東亜技術センター製の日射計を用いた。この測定器は、ガラスドームとポリエチレンドームがついており、日射計として使用する場合は、ガラスドームを用い、放射計として使用する場合は、ポリ

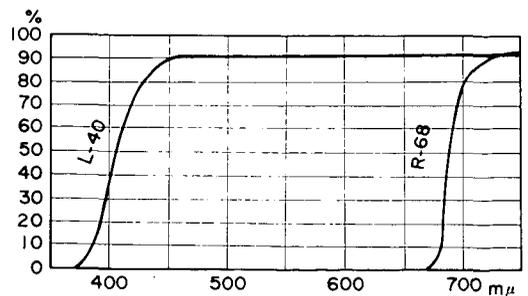


図-2.5 L-40・R-68 フィルターの波長別透過曲線

エチレンドームを用いて測定するようになっている。有効光量の測定は1)の場合と同様に、日射計にL-40, R-68フィルターをかぶせ、この2つの読みの差から求めた。使用したフィルターの波長別透過曲線を図-2・5に示した。

測定はグロースキャビネット内に純赤色カラードランプ30本、昼光色蛍光管30本を照射し、キャビネット中央の蛍光管から約90cmはなれた点に測定器を置いて光量を測定した。測定結果を図-2・6に示した。

図より赤色カラードランプの有効光量は、全放射量の24%であるのに対して、昼光色蛍光灯は39%であり、昼光色蛍光灯の有効光量が約15%も多い。また、日射計光量は、赤色カラードランプで58%であるのに対し、昼光色蛍光灯は73%と多く、赤色カラードランプは、熱などの無効放射が多いことがわかる。さらに表-2・3に両ランプの本数を同一にした場合の各々の光量の比較、日射計光量を同一にした場合の本数・有効光量、全放射量の比較、有効光量を同一にした場合の本数・日射量、全放射量の比較を示した。

表より明らかのごとく、本数を同一にした場合昼光色蛍光灯は、有効光量、日射計光量、全放射量などすべてがまさっており、有効光量を同一にするためには、赤色カラードランプ30に対して昼光色蛍光管は13でよく、

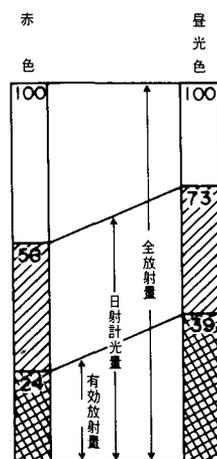


図-2・6 赤色カラードランプと昼光色蛍光灯の光量の比較

日射計光量を同一にするためには、昼光色蛍光管約15でよいことがわかる。このように、日射計で測定した光量を同一にしただけでは、植物に有効な光量は、ランプ効率のよい昼光色蛍光灯区の方が多く、当然植物の生育はよい。したがって、植物の光質の影響を実験する場合には、有効光量を同一にしなければならないことが必要である。

表-2・3 赤色カラードランプと昼光色蛍光灯の各種光量の比較

区 分	本 数 (本)	有効光量 (mV)	日射計光量 (mV)	全放射量 (mV)	備 考
赤色カラードランプ	30	0.135	0.330	0.570	
昼光色 蛍 光 灯	30	0.295	0.560	0.765	赤色 30 本と同一本数
〃	15	0.165	0.320	0.390	赤色 30 本と同一日射計光量
〃	13	0.135	0.265	0.345	赤色 30 本と同一有効光量

3) 栽培用光光灯と種々の混合光照射によるトマトの生育比較

栽培用蛍光灯とR12-Y2-G4-B12混合光照射によるキュウリ、トマトの生育は、両区の有効光量の相違のため栽培用蛍光灯照射区の方が全般的に生育がよかった。そのため、今回はR12-Y2-G4-B12と有効光量、全放射量を同一にした栽培用蛍光灯区(PL12)をつくり、トマトの生育比較を行った。また、この両区他にR30, R15-B15, R12-G6-B12の三区を設定してトマトの生育比較も行った。

<実験方法>

トマトの処理法、照射中の温度、照射時間などは、第

2編の方法と全く同じである。また、照射光源の波長分布を図-2・7に、その波長割合を表-2・4に示した。色度図は、図-2・2に示してあるが、この色度図でも明らかのごとく、R12-Y2-G4-B12・R12-G6-B12・R15-B15の三種の光源はきわめて近似の色度を示している。

さらに、実験に用いた光源の光量の測定結果を表-2・5に示した。栽培用蛍光灯区は他の区と有効光量を同一にするため、照射本数を調節し、全放射量を一致させるため遠赤外ランプを照射した。

<実験結果および考察>

トマトの20日間の照射結果を図-2・8に示した。

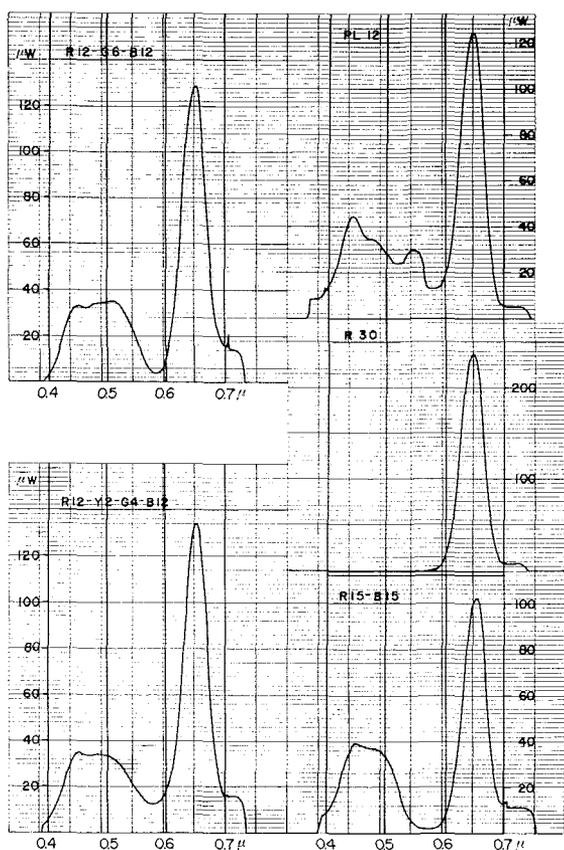
図は、R-30の草丈・乾物重を100とした相対値で表

表—2.4 実験に使用した混合光の波長割合

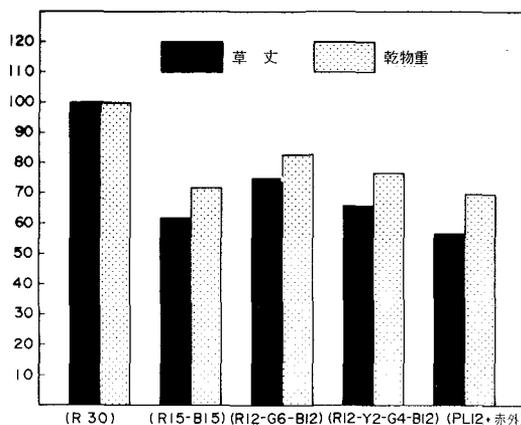
名 称	螢 光 管 数 (本)	赤 色 部 (600~700) m μ (%)	緑 色 部 (500~600) m μ (%)	青 色 部 (400~500) m μ (%)
PL12	栽培用 12+赤外	57	18	25
R30	赤 30	97	3	0
R15—B15	赤 15+青 15	55	12	33
R12—G6—B12	赤 12+緑 6+青 12	59	17	24
R12—Y2—G4—B12	赤 12+黄 2+緑 4+青 12	58	18	24

表—2.5 実験に使用した混合光の光量

名 称	螢 光 管 数 (本)	有 効 光 量 (mV)	日 射 計 光 量 (mV)	全 放 射 量 (mV)
PL12	12+赤外	0.065	0.305	0.525
R30	30	0.065	0.245	0.465
R15—B15	30	0.070	0.285	0.525
R12—G6—B12	30	0.060	0.275	0.510
R12—Y2—G4—B12	30	0.065	0.290	0.520



図—2.7 実験に使用した混合光の波長分布曲線



図—2.8 栽培用蛍光灯と種々の混合光照射によるトマトの生育

わされており、各区 10 個体を処理し、R12-G4-B12 区を除いては、二回反復した平均値で示した。図より明らかなように草丈・乾物重とも R-30 の赤色光のみの区が最大である。すなわち、今迄単色光より連続波長光の方が植物の生育にとって有効であるという実験結果は、光量測定法に誤りがあったことが明らかである。図-2.8 の R12-Y2-G4-B12、R15-B15 と PL12 の乾物重の間には有意差がなく、これらの波長の相違による乾物重の影響はきわめてわずかであると推察できる。一方、草丈についても、PL12 と R12-Y2-G4-B12、R15-B15 の間に

は、有意差がないが、乾物重よりその差が大きい。また R12-G6-B12 は、草丈・乾物重とも他の混合光や PL12 と比較して大きい。他に判然とした理由があげられないため実験誤差によるものと推察される。

以上の実験結果から、波長による植物の生育比較を行う場合、正確に植物に必要な有効光量と全放射量を一致させて比較実験を行う必要がある。有効光量と全放射量を一致させて生育を比較すると白色光などの連続波長光より赤色光のみの方が生育がよいことは、この実験結果からも明らかである。さらにトマトの場合は、第1編第2章第1節の実験で最大の乾物重を示した混合光は、赤色光にわずかに青色光を加えた混合光であったことより、白色光より生育がよい光源が存在することは明らかである。

第2節 植物のための光量測定法に関する若干の考察

波長と作物の生育の関係や、種々の光量測定法と作物生育の関係について実施した種々の実験より本章では植物のための光量測定法について考察を行う。

植物のための光量測定法は、いろいろ新しい試みが行われている。しかし、これらはいずれも光合成を主体にした太陽光のみの測定器であり、太陽光のようにほぼ一定の波長分布をもった強い光量を測定する時は、ある程度植物のための光量測定法として有効であるかもしれない。しかし、波長分布が種々異なる人工光源を含めた光量を測定するには、植物の生育とこの測定量は、かならずしも比例せず、不十分なものであり、また、植物の光に対する反応は、光合成のみでなく、光成形などがあってこれが間接的に乾物生産量に影響を与えるため、単に光合成に有効な範囲のみの測定では不十分である。ある光源では測光量と植物生育が比例しても、波長分布が異なる他の光源で全く関係がなければ、その測光法はきわめて不便なものであり、異種の光源で生育させた植物の相互比較は行えない。人工光源で生育させた結果が実際の圃場でも応用出来るためには、人工光源、太陽光の両方に適用出来ることが必要であり、また、その結果が、他の植物にも応用出来るものでなければならない。ある特定の植物に適用出来ても多くの植物に適用出来なければ使用に不便である。したがって、植物の光量測定のための基本条件としては、

1. 測光量が植物生育(特に、乾物生産量)と比例関係にあること。
2. 太陽光・人工光の両方に使用出来るものであること。
3. 多くの植物の生育に適用出来るものであること。

などの条件が満足されなければならない。

一方、光量測定器の様式は、

① 照度計などにみられるように、植物生育の特性にあったフィルターをかぶせて測光する方法

が第1に考えられる。この方法を確立するためには、人間の視感度曲線のように植物の波長別特性曲線を確立しなければならない。この波長別特性曲線は、この曲線に合致したフィルターをかぶせて測定した光量が、真に生育と比例するものでなくてはならない。単なる植物の吸収スペクトル曲線や、単波長照射による光合成量曲線を模倣したものであってはならない。各単波長に対する植物の生育と、単波長どうしの相互関係が明らかになって反応曲線が定まれば、それに合致したフィルターをかぶせて光量測定器を製造すればよい。しかし、第1編の実験の結果、赤色と青色は相互作用が存在し、赤色にわずかに青色を加えた時、トマトの乾物重など最大になり、また、青色光は赤色光の作用を抑制する働きがあった。さらに、R-B混合光の場合、赤色部、または、青色部の量に比例して草丈・生体重・乾物重などの生育が増減するのではなく、山型・逆L字型・V字型などの複雑な反応を示すことが明らかになった。このように単波長の混合が複雑な反応を示すことは、植物生育の波長別特性曲線が単一のものとして決定出来ないことを示している。ある一定の特性曲線を定めても、波長分布が異なる光源に対しては適用出来ない。したがって、フィルターをかぶせて光量を測定するという方法は、植物生育の光量測定には使用出来ないものと考えられる。つぎに考えられる測定法は、

② 色度によりみられるごとく、単色光別の反応曲線を定め、実際の光源をこの曲線と対比した係数で表わす方法

が考えられる。しかし、この方法も①と同様に単波長どうしの相互作用が表わされないし、また、混合光の複雑な反応を表わすことが出来ないなどのため、使用出来ないものと思われる。

第1編、第2編第1章および他の研究者の実験結果より、光量測定に考慮を払わなければならない植物の反応は、

- ① 植物の種類によって波長に対する反応が異なること。
- ② 植物の生育に光飽和が存在し、その光飽和の光量は波長により、また、植物の種類によって異っていること。
- ③ 単色光の反応のほか、単色光の混合による相互作用が存在すること。

などがある。これらの反応は、先にあげた、光量測定のための三つの基本条件を満足させることが出来ないことを示している。このことは、在来の光量測定法一日射計や照度計一では、植物の反応を表わすことが出来ないことを意味している。したがって、植物に対する光量測定法は、全く別の方法によらなければならない。

まず、全放射量と有効光量を測定しなければならないことは、第2編第1章の実験結果から明らかである。問題はこの有効光量で、有効光量の波長範囲をどのように定めるかが問題になる。光合成に直接有効な範囲(380~710 m μ)だけにするか、光刺激として作用し、間接的に光合成に影響を与える範囲(300~800 m μ と考えられる)も含めるか、否か議論のわかれる所である。

著者の見解としては、実験が近紫外や遠赤色光まで進んでいないため推論にすぎないが、近紫外の光量(300~400 m μ)と、400~800 m μ までの光量は、植物が必要とする光量のオーダーが異なるため、近紫外と400~800 m μ を同一に測定すべきでないと考え。つぎに、400~800 m μ の範囲の光量については、光飽和以上の光量と、飽和以下の光量に分けて考える必要がある。光飽和以上の光量では、植物の生育は、波長に対する影響がなくなることが、GABRILEISEN(1960)によって明らかにされており、したがって、植物生育の波長の影響を考える必要はない。光飽和以下の場合には、複雑な反応を示すため、統一的な光量測定法の確立は困難であり、また、植物の種類によっても反応が異なるため、各種波長別に光量をとるべきである。すなわち、植物に対する光量測定は、

- ① 全放射量
- ② 近紫外量(300~400 m μ)
- ③ 有効光量(400~800 m μ)
- ④ 有効光量内の波長別光量

の四種類の光量を測定し、植物生育の比較の際に使用すべきである。

第2章 光量測定器の試作

第1章第2節でのべたように、現在の実験段階では、植物のための光量測定は前述の四種類を比較するのが望ましいと思われる。このうち有効光量の波長別光量を100 m μ 幅に分けるとすると、全放射量と300~400 m μ 、400~500 m μ 、500~600 m μ 、600~700 m μ 、700~800 m μ の六種類の光量を測定しなければならない。このうち、全放射量は日射計のガラスドームを長波長を透過するポリエチレンドームに換えて測定すればよいが、300~800 m μ の間の光量測定器は、現在、スペクトロメーターし

がなく、一定波長幅のエネルギー測定は、日射計にカットフィルターをかぶせて測定しているのが実情である。そのため著者は、波長別エネルギー測定器を試作しており、未だ未完成であるが、その概略をここに示す。測定器は、① 太陽光、人工光の両方に使用出来るものであること。② 長期間戸外で使用することを考えて、構造が簡単で複雑な回路を必要としない。③ 100 m μ 幅の光量を出来るだけ正確に測定出来るものであること。の三つの条件を満足することに目標を置いた。また、一般的な光量測定器については、つぎのような条件を満す必要がある。

- ① 受光面は、全波長について選択吸収しないものであること。
- ② インピーダンスは、電位差計や記録計にあったもので、リード線の抵抗の影響を少なくするため、100~300 Ω 程度であること。
- ③ 温度ドリフト・零ドリフトが少ないこと。
- ④ 感度は、0.01~0.2 cal/mVであること。
- ⑤ コサイン則にあったものであること。
- ⑥ 時定数が小さいこと。

1) 受光エレメント

光量測定器の受光素子としては、光電管、光電子増倍管、光電池、光電導セル、熱電対、ボロメーター、サーミスターなどが考えられる。これらのうち、光電管などのいわゆる光電的検出器は、感度がよく人工光源のような弱光を測定する場合は都合がよいが、波長に対する感度が異なるため、各波長に対して種々の補正をしなければならない。すなわち、100 m μ 幅の波長を測定する場合、分光にプリズム、スリットを使用すると受光器の構造が複雑になり、シャープカットフィルターを使用すると、複雑な回路が必要になるため、結局、熱電対を使用することにした。熱電対は、受光面に塗布する塗料によって、全波長を均一に測定出来、各波長と電位差の係数が同一であること、受光器の構造が簡単に出来、しかも複雑な回路を必要としないなどの利点がある。しかし、反面高い感度が得にくいいため増幅器を必要とし、増幅器をつけた場合ドリフトが大きく現われるなどの欠点がある。したがって、熱電対を使用する場合、いかに感度のよい熱電対を使用するか、また、どのようにしてドリフトをおさえるかが問題になる。使用したエレメントは、図-2.9に示すように1.0 mm ベーク板に0.1 mm コンスタンタン線を90~120回まきつけて、中央部(A-B間)を銅メッキしたものである。このように中央部を銅メッキすると、図のA、Bを接点としたCu-Co熱電対と同じもの

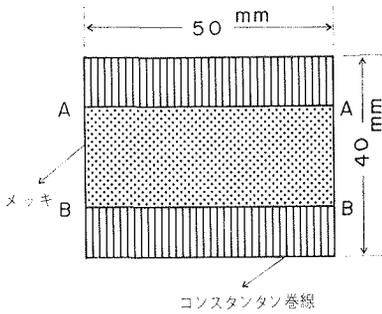


図-2.9 受光エレメント

であり約90~120対の熱電対を組合わせたことになる。このメッキは、硫酸銅メッキで、20V・80~100mAの電流を約6時間、通電して行った。

今、図-2.9のA、Bに温度差が生じれば、この温度差に比例して起電力が起こる。したがって、A、B接点上に波長透過の異なるカットフィルターをかぶせて光を与えると、かぶせたフィルターの透過量の差に比例した起電力が生ずることになる。例えば、400 μ m以上を透過するカットフィルターをA接点上に置き、500 μ m以上を透過するカットフィルターをB接点上に置くと、400~500 μ mのエネルギー量に比例した電位差が生ずることになる。この方法の特徴は、シャープカットフィルターを使用するため比較的正確に希望の波長幅の光を測定出来ることと、フィルターさえあれば波長幅を任意に選定出来るなどである。なお、製作したエレメントの内部抵抗は、230~300 Ω であった。また、この受光エレメントは、各波長に対して均一の吸収係数をもたなければならない。この条件を満すための塗料としてランプブラック、ゴールドブラック、パーソンズブラック、国産では、日本ペイントのサルホタイト3000がよいとされているが、今回はパーソンズブラックを使用した。この塗料の放射温度に対する吸収係数は、表-2.6のとおりである。

表-2.6 パーソンズブラックの
各光源に対する吸収係数

光源	可視部	2580°C の光源	1000°C の光源	200°C の光源	反射量 全放射量
吸収係数	0.985	0.985	0.980	0.985	0.02

2) 受光器

受光エレメントをケースに入れて受光器を作るわけであるが、この場合、考えなければならないことは、①時

定数を出来るだけ早い構造にする。② 温度ドリフト、零ドリフトを出来るだけ小さいものとする。③ コサイン則に合うようにする。などである。

時定数の問題は、同一感度の場合、放熱を早くすればよい。このエレメントの放熱は、表面からと裏面からの2つの面が考えられる。表面からの放熱は、上面にフィルターをのせるため一般の日射計より充分に行うことは期待出来ない。したがって、裏面からの放熱を早く行わなければならない。そのため、受光エレメントを図-2.10のように5.0mmの銅板にはりつけ、熱伝導を早く行えるようにした。なお、この銅板をはりつけることによってエレメントの裏面の場所による放熱の差もなくなり、零ドリフトもほとんどなくなった。

光量測定装置の様式に強制送風式と風防型があり、最初、強制送風型で実験を行った所、① 風のあたり方が均一にならない。② 外界の風の影響をうけ温度ドリフト、零ドリフトが大きい、などの欠点があったため風防型にした。

つぎに、コサイン則を満足させる必要がある。これには半円型の乳白色アクリルドームで光を拡散させること

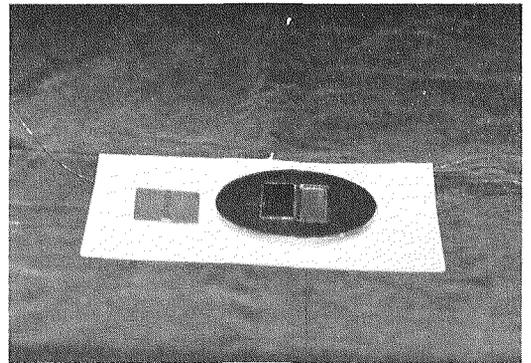


写真-2.1 受光エレメントと受光器

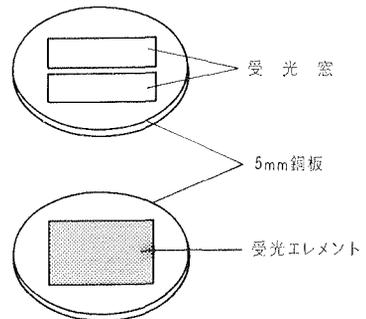


図-2.10 受光器

にした。しかし、乳白色の亚克力ドームを使用すると感度が落ちるなどの欠点がある。出来上がった測定器の外観を写真-2.2に示した。

この測定器は、戸外の日射の測定では、ゴルチンスキー日射計と同程度の感度(約7 mV/cal)があるが(図-2.11参照)、室内の人工光源では感度が不足するなどの欠点があるため、現在さらに改良中である。

この測定器の特徴は、一台でフィルターを交換することによって希望の波長幅のエネルギー量を測定出来る点にある。従来、フィルターを使用した分光日射計は、波長幅の狭い干渉フィルターを使用するか、カットフィルターを使用する場合は、ある特定波長以上の波長しか測定出来ないため、例えば500~600 m μ の波長幅を測定する場合は、500 m μ 以上の光量と、600 m μ 以上の光量を測定し、その差を求めなければならなかった。したがっ

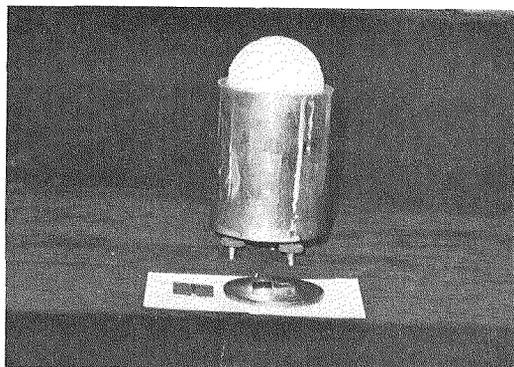


写真-2.2 試作した光量測定器

てこの測定器の完成によって一台で希望の波長幅の光を測定出来るようになる。

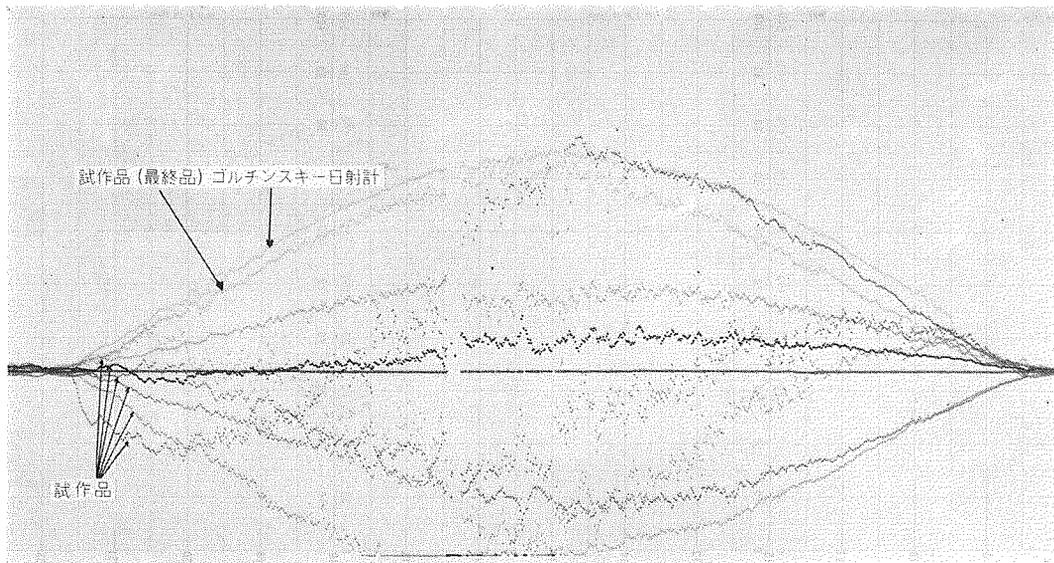


図-2.11 試作器とゴルチンスキー日射計の記録

要 約

以上、2編5章にわたり作物の生育と光の波長の関係について種々の実験を行い、その結果をもとにした植物のための光量測定法に関する実験と、光量測定器の試作についてのべたが、要約すればつぎのとおりである。

昼光色蛍光灯や栽培用蛍光灯などの連続波長光を用いた人工気象室内での予備実験の結果、ワット数・蛍光管数を同一にして作物の生育試験を行っても、蛍光管の波長分布の相違による生育比較は正確に行われないことが判明した。それは、植物に有効な範囲の光量が蛍光管に

よって異なるからである。すなわち、昼光色と栽培用蛍光灯照射によるトマトの生育は、ワット数・蛍光管数を一致させて照射すると有効は波長範囲の光量が多い昼光色の方が生体重・乾物重などの生育がよいが、エネルギー量(日射計で測定した)を一致させると、赤色部の多い栽培用の方が生育がよい。この結果から、波長による植物の生育比較実験を行うためには、照射エネルギー量を一致させなければならないことが判明した。

さらに、植物の生育が最大を示す光の波長分布を得る目的で種々の単色光蛍光灯を組合わせて混合光を作り、作物照射実験を行った。実験は、植物に活性が大きい赤

色・青色の二波長の混合光から着手し、その結果つぎのようなことが明らかになった。

- 1) 赤色・青色混合光に対する作物の反応は、作物の種類によって異り、トマト・キュウリ・ダイズ・ピーマン・ハツカダイコンを用いた実験結果では、三つのパターンに大別出来た。
- 2) 一つは、トマトの乾物重に代表される山型の生育パターンを示すもの。
二つは、キュウリの生体重・乾物重に代表される逆L字型の生育パターンを示すもの。
三つは、キュウリの草丈に代表されるV字型の生育パターンを示すものである。
- 3) キュウリ・トマトを用いた実験で、青色光は、赤色光の作用を抑制する働きをし、これは草丈において著しく表われる。
- 4) 混合光の強光量と弱光量を照射してキュウリ・トマトを比較した場合、草丈が最大を示す混合光では、光の強弱による草丈の差は小さいが、草丈の伸長が悪い混合光(赤色部の割合が少ない混合光)では、強光と弱光の草丈の差は大きい。すなわち、赤色部の割合が少ない混合光は光量増加による草丈の伸長が著しい。

赤色・青色混合光以外の二波長の混合については、赤色光に黄色・緑色・橙色を混合した場合について若干考察を試みた。赤色光のみのR30とR26-Y4照射によるトマトの生育差はほとんどみられなかったが、R26-G4はR30に比較して乾物重が若干劣った。

二波長の混合に引続いて、三波長の混合光とキュウリ・トマトの生育の関係について実験した。赤色・青色・橙色の三波長の混合光、および、赤色・青色・黄色の三波長の混合光でキュウリ・トマトを生育させた結果、これも赤色部の割合が多い混合光(青色光が入らないR20-O10-B0, R20-Y10-B0)で草丈・生体重・乾物重などが最大の生育を示した。また、これらの最大を示した混合光と赤色光のみのR30と比較すると、キュウリは、R30とR20-O11(B0は省略)との間には有意差はなく、R20-Y10(B0は省略)では全般的に生育が劣ったのに対して、トマトの場合は、R20-O10, R20-Y10ともR30に比較して生育が劣り、特に、生体重・乾物重の減少が著しかった。この二波長・三波長の混合光の結果から、キュウリの場合の最大の生育を示す光源は、可視光全域に波長分布がある混合光よりも、赤色光のみの光源において現われ、トマトの場合は、赤色光にわずかに青色光を加えた混合光で現われることが判明した。

多くの人達の研究の結果、単色光より太陽光に近い波

長分布を持った昼光色や栽培用蛍光灯で作物を照射した方が生育がよいというのが通説である。このことは上記の混合光の実験結果と異なる。そのため栽培用蛍光灯と近似の波長分布を有する混合光(R12-Y2-G4-B12)を作り両者の比較を行った。その結果、つぎのようなことが判明した。

- 1) 日射計で光量を一致させて栽培用蛍光灯と、R12-Y2-G4-B12混合光でキュウリ・トマトを生育させると、栽培用の方が著しく生育がよい。
- 2) 有効光量(400~700 m μ)と全放射量を一致させて比較すると両者の生育は近似の値を示す。
- 3) 有効光量と全放射量を一致させてR30と栽培用、R12-Y2-G4-B12でトマトを生育させた結果、R30は草丈・生体重・乾物重とも一番生育がよい。

以上のように、今迄定説的であった単色光より連続波長光の方が作物の生育によいという実験結果は、ランプの有効光量に考慮が払われておらず、光量の測定方法に誤りがあった結果であるということが明らかになった。

以上の結果から、植物の生育に関する光量測定については、つぎのことを考慮しなければならない。

- i) 植物の種類によって波長に対する反応が異なる。
- ii) 混合光を照射した場合には、単色光の反応のほか、トマトなどにみられるごとく、単色光の混合による相互作用が存在する。
- iii) 植物の生育には光飽和が存在し、飽和量は光質によって、また、植物の種類によって異なる。

したがって、在来の光量測定法(日射計や照度計のような方法)では植物に対する光量測定は出来ず、全く新しい方法を確立する必要があることが判明した。新しい測定法が確立するまでは、①全放射量、②近紫外量(300~400 m μ)、③有効光量(400~700 m μ または800 m μ)、④有効光量内の波長分布の四種類の光量を測定すべきであるとの結論に達した。著者は、このため光量測定器を試作し、ほぼ完成をみたが、なお、完全なものとするために研究を継続中である。

参考文献

- 1) 秋川久樹・篠原 潔(1964): ハウス内育苗におけるトマトの補光に関する研究, 愛媛県農業試験場・農業電化協会・新日本電気株式会社・四国電力株式会社報告書。
- 2) 東 堯・白石啓文(1964): けい光ランプ紫外線の制御, 東芝レビュー, 19-7.
- 3) ARTHUR, J. M. *et al.* (1930): Some effects of

- artificial climates on the growth and chemical composition of plants. *Amer. J. Bot.*, 17.
- 4) ARTHUR, J. M. and W. D. STEWART (1935): Relative growth and dry weight production of plant tissue under Mazda, Neon, Sodium and Mercury vapor lamps. *Contribution from Boyce Thompson Institute* 17.
 - 5) 卜蔵建治 (1968): 植物育成用蛍光灯に関する試験, 生物環境調節, 5.
 - 6) 卜蔵建治 (1968): 高圧放電灯が植物の生育におよぼす影響, 生物環境調節, 6.
 - 7) 卜蔵建治 (1969): 単色光メタルハライドランプおよび高圧ナトリウムランプが植物の生育に及ぼす影響, 生物環境調節, 7.
 - 8) 卜蔵建治 (1973): 人工光線による植物の栽培 (I), 農業および園芸, 48-3.
 - 9) 卜蔵建治 (1973): 人工光線による植物の栽培 (II), 農業および園芸, 48-4.
 - 10) BIGGS, W. W., *et al.* (1971): Photosynthesis light sensor and meter. *Ecology*, 52.
 - 11) BULA, R. J., Dale SMITH and E. E. MILLER (1954): Measurements of light beneath a small grain companion crop as related to legume establishment. *Botanical Gazette*, 115.
 - 12) BULLEY, N. R., C. D. NELSON and E. B. TREGUNNA (1969): Photosynthesis: Action spectra for leaves in normal and low oxygen. *Plant Physiol.*, 44.
 - 13) CALVERT, A. (1957): Effect of the early environment on development of flowering in the tomato. *J. Horticultural Science.*, 132.
 - 14) DUNN, S. (1957): In "The experimental control of plant growth" Ed. by F. W. WENT, The Ronald press.
 - 15) EMERSON, R. and C. M. LEWIS (1943): The dependence of the quantum yield of chlorella photosynthesis on wavelength of light. *Amer. J. Bot.*, 30.
 - 16) EMERSON, R. (1957): Dependence of yield of photosynthesis in longwave red on wavelength and intensity of supplementary lights. *Science*, 125.
 - 17) EMERSON, R. (1958): Yield of photosynthesis from simultaneous illumination with pairs of wavelength. *Science*, 127.
 - 18) 藤井健雄・その他 (1962): 果菜栽培温度に関する研究, 千葉大学園芸学部学術報告, 10.
 - 19) 古谷雅樹 (1967): 光と植物の形態形成, 科学, 33-9.
 - 20) GABRIELSEN, E. K. (1960): Lichtwellenlänge und photosynthese in ruhland, *Encyclopedia of plant physiology*, Berlin springer, 5-2.
 - 21) TAGEEVA, S. V. and A. B. BRANDT (1961): "In progress in photobiology" Ed. by B. C. CHRISTENSEN and B. BUCHMAN, Elsevier, Amsterdam.
 - 22) HARVEY, R. B. (1922): Growth of plants in artificial light. *Botanical Gazette*, 74.
 - 23) HENDERSON, S. T. (1970): Daylight and its spectrum. Adam Hilger Ltd.
 - 24) 橋本 徹・高橋和彦・丸山芳法 (1969): 東大バイオトロフ人工照明室における作物の生育試験と環境測定・主として補助光の波長分布との関係, 生物環境調節, 第7回講演要旨集.
 - 25) 北陸電力株式会社 (1965): 冬期間のトマトの補光育苗試験報告, 北陸電力株式会社呉羽電化試験農場報告.
 - 26) 堀口郁夫 (1965): 植物栽培用蛍光灯による植物照射試験, 農電北海道, 40年下期号.
 - 27) 堀口郁夫 (1968): 単色光蛍光灯の組合わせとトマトの生育, 生物環境調節, 6.
 - 28) 堀口郁夫 (1967): 作物育苗時の補光について—トマトの補光と補光源—, 北海道の農業気象, 18.
 - 29) 堀口郁夫 (1970): 光質の相違による大豆の生育, 生物環境調節, 8.
 - 30) 堀口郁夫 (1972): 赤・青混合光とキュウリ, ピーマン, ハツカダイコンの生育, 生物環境調節, 10.
 - 31) 稲垣乙丙 (1931): 農業気象学, 博文館.
 - 32) 稲田勝美 (1970): グロースチャンパーの人工照明(その1), 生物環境調節, 8.
 - 33) 池内庸雄・その他 (1962): ピーマンの品種, 生態に関する調査, 兵庫農試研究報告, 10.
 - 34) 玖村敦彦 (1964): 大豆の物質生産に関する研究(第2報), 日本作物学会紀事, 33.
 - 35) 玖村敦彦 (1968): 大豆の物質生産に関する研究(第3報), 日本作物学会紀事, 37.
 - 36) 玖村敦彦 (1968): 大豆の物質生産に関する研究(第4報), 日本作物学会紀事, 37.
 - 37) 玖村敦彦 (1969): 大豆の物質生産に関する研究(第6報), 日本作物学会紀事, 38.
 - 38) 松尾英輔・その他 (1968): 制御環境下におけるキュウリの生育反応(第3報), 園芸学会雑誌, 37.
 - 39) 蓑原善和・高梨成人 (1963): 低光度下のトマト育苗時における補助光線照射の影響, 農電研究会資料, 124.
 - 40) 蓑原善和・その他 (1966): 園芸における人工光線の応用と将来, 三菱電機技報, 40-9.
 - 41) 蓑原善和・その他 (1967): 人工光線下における園芸作物の生産反応に関する研究—第1報数種単色光線

- 下におけるキュウリ幼苗の生育, 農電研究所所報, 8.
- 42) 蓑原善和・その他 (1968): 単色蛍光灯下における園芸作物の形態形成に関する研究—第1報キュウリ, トマト, ナス, ピーマン, ハクサイの初期生育, 農電研究所会議用資料, 160.
- 43) 蓑原善和・その他 (1973): 園芸作物の生育に及ぼす赤色光・青色光の効果, 電力中央研究所農電研究所報告, 71011.
- 44) 松村清二・その他 (1962): 生物学領域における環境調節, 技報堂.
- 45) 富田富雄 (1965): 東芝プラントルックスが葉緑素形成におよぼす効果, 東芝商事株式会社植物育成照明シリーズ.
- 46) MILLER, E. E. (1951): Averaged measurement of optical transmission. The review of scientific instruments, 22-1.
- 47) MEIJER, G. (1958): Influence of light on the elongation of gerkin seedlings. Acta. Bot. Neerl., 7.
- 48) 縄田滋則 (1948): 輻射並びに光度測定に両用し得る自記分光計の試作, 東北大学科研報告, 8-1.
- 49) 西崎友一郎・その他 (1961): 環境調節実験室内の分光エネルギー分布の測定, 東北大学農学研究所彙報, 13-2.
- 50) 西村光響 (1963): 光合成の初期反応, 科学, 33-9.
- 51) 尾本義一・その他 (1964): 照明・電熱, 共立全書.
- 52) ROBERTSON, G. W. and R. M. HOLMES (1963): A spectral light meter: its construction, calibration and use. Ecology, 44-2.
- 53) 関岡 行 (1963): 2・3 根菜類における同化物質の転流・蓄積におよぼす環境要素の影響 (IV), 九大農学部学芸雑誌, 20-4.
- 54) 斎藤 隆・その他 (1963): トマトの生育ならびに開花結実に関する研究 (第2報), 園芸学会雑誌, 32.
- 55) 新日本電気株式会社 (1965): NEC ビタルックスによる早出し果菜類に対する補光処理試験成績.
- 56) 紫崎 臣 (1964): ピーマンの育苗, 農業および園芸, 39.
- 57) 紫崎 臣 (1965): ピーマンの開花結実の進み方, 農業および園芸, 40.
- 58) 杉 二郎・その他 (1962): 環境調節装置と環境条件に関する研究 (第2報) 人工光および自然光の波長別エネルギー測定器の試作について, 専売公社研究報告.
- 59) STUDER, F. J. (1946): A method for measuring the spectral energy distribution of low brightness light sources. J. Opti. Soc. Amer., 37-4.
- 60) 田口亮平 (1963): 作物生理学, 養賢堂.
- 61) 戸刈義次 (1971): 作物の光合成と物質生産, 養賢堂.
- 62) 高田 実・その他 (1957): 人工照明による植物栽培について, 照明学会雑誌, 41-9.
- 63) TOOMING, K. G. and V. I. GULIAEV (1967): 光合成有効放射の測定, 農林水産技術会議事務局調査資料課訳.
- 64) THOMAS, A. S. and S. DUNN (1967): Plant growth with new fluorescent lamps, 1 Fresh and dry weight yields of tomato seedlings. Planta (Berl), 72.
- 65) THOMAS, A. S. and S. DUNN (1967): Plant growth with new fluorescent lamps, 2 Growth and reproduction of mature bean plants and drarf marigold plants. Planta (Berl), 72.
- 66) 渡辺 斉 (1957): 苗床の条件とトマト胡瓜苗の光合成作用について, 千葉大園芸学部学術報告, 5.
- 67) 渡辺 斉 (1959): 低光度下におけるトマト苗の発育と温度・日長・灌水量との関係, 千葉大園芸学部学術報告, 7.
- 68) Van Der VEEN, R. and G. MEIJER (1959): Light and plant growth. Philips Technical Library.
- 69) VINCE, D. and R. H. STOUGHTON (1957): Artificial light in plant experimental work. In "Control of the plant environment" Ed. by Hudson, Butterworths scientific publications.
- 70) WASSINK, E. C. and R. J. A. T. STOLWIJ (1956): Effects of light quality on plant growth. Ann. Rew. Plant Physiol., 7.
- 71) WITHROW, A. D. and R. B. WITHROW (1947): Plant growth with artificial sources of radiant energy. Plant Physiol., 22.
- 72) WENT, F. W. (1957): Experimental control of plant growth. The Ronald press company.
- 73) 山本 正・その他 (1970): 人工照明室の環境条件とその作物生育特性, 生物環境調節, 7.
- 74) 山口勝也・その他 (1962): 自記輻射エネルギー測定装置について, 応用物理, 31-6.
- 75) YOCUM, C. S., L. H. ALLEN and E. R. LEMON (1964): Photosynthesis under field condition. V. Solar radiation balance and photosynthetic efficiency. Agronomy J., 56.
- 76) 中山 包 (1969): 発芽生理学, 内田老鶴圃新社.

Summary

The preliminary experiments for plant growth were performed by using daylight fluorescent lamp and plant-lux fluorescent lamp in the growth cabinets.

It was obviously that even if plants were grown under the same wattage or the same number of

the tubes of daylight and plant-lux fluorescent lamp, the differences between the plant growth under daylight and plant-lux fluorescent lamp could not know exactly. When tomato plants were irradiated with daylight or plant-lux fluorescent lamps on condition of the same wattage or the same number of tubes wet weight and dry matter of tomato plant under daylight fluorescent lamp were better than those under plant-lux fluorescent lamp, however, if their both energy were the same, wet weight and dry matter of tomato plant under plant-lux fluorescent lamp were better than those of daylight fluorescent lamp. This reason is that the amount of effective energy for plant growth of daylight fluorescent lamp is greater than that of plant-lux fluorescent lamp under the same number of lamp tube on the other hand, plant-lux fluorescent lamp provided much energy of red region than that of daylight fluorescent lamp when both energy was the same. The energy of red region is the most effective for plant growth. From these results it became clear that the irradiation energy of both lamps must be provided the same amount for the comparison of plant growth.

Then, the plant were irradiated by various mixed light of color fluorescent lamps for the purpose of obtaining spectral distribution that plant growth would be the maximum value. At first, the effect of two-light mixture, red and blue that showed activity for plant growth, were examined and the following results were obtained.

- 1) The effects of mixture of red and blue light varied with the species of crops. According to the results of experiment used tomato, cucumber, soybean, spanish parpria and radish, this effects appeared as three types.
- 2) The first is mount type that was represented with dry matter of tomato plant. The second is J type that was shown as dry matter and wet weight of cucumber, the third is V type was represented with length of cucumber.
- 3) In the experiments used tomato and cucumber, blue light restrained activity of red light. Especially it's effect remarkably appeared in the height of these plants.
- 4) When two kinds of light intensity on mixed light were irradiated to tomato and cucumber, the plants had similar heights in high light intensity ($0.031 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$) and low light inten-

sity ($0.015 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$), under condition of mixed light that showed maximum plant height. But, under condition of mixed light that the plants showed low elongation, the plant heights were clearly different between high light intensity and low light intensity. Namely, under condition of the mixed light included little rate of red region in all energy, the plant height notably elongated by increasing light intensity.

Except mixed light of red and blue, some experiments under light sources mixed two lights, e. g. red and yellow, red and green and red and orange, were performed. The differences between the growth of tomato plant irradiated with red light only (R30) and that of mixed light of red and yellow (R26-Y4) were not so large, but dry matter irradiated with mixed light of red and green (R26-G4) was little worse than that of red light only (R30).

In case of R20-O10 or R20-Y10 expanded red wavelength, the dry matter irradiated with R20-O10 or R20-Y10 was much inferior than that of R30. It became clear that the tomato plant did not require so wide range of red wavelength.

After the experiments of mixed light of two wavelength the effects of mixed light of three wavelength were examined for cucumber and tomato plant. As cucumber and tomato plant were irradiated with mixed light of three wavelength, red, blue and orange light, or red, blue and yellow light, the plant heights and dry matter showed the maximum values under condition of mixed light having the most ratio of red light, e. g. R20-O10-B0, R20-Y10-B0. Then the plant growth on R20-O10-B0, R20-Y10-B0 were compared with that of R30, the growth of cucumber under R30 was similar value under R20-O10-B0, but the growth of cucumber under R20-Y10-B0 was less than that of R30. However, in case of tomato plants under R20-O10-B0, and R20-Y10-B0, the plant growth were less than that of R30, especially wet weight and dry matter.

From these result, it was recognized that the light showed the maximum growth of cucumber was rather red monochromatic light than continuous wavelength light of all visible region, on other hand, regard to tomato plant the light was red light mixed with little blue light.

It is common theory of many studies that the

daylight and plant-lux fluorescent lamps having similar spectral distribution to natural solar radiation was better than monochromatic light for plant growth. This theory is different from above result of mixed light. Therefore, the effect of plant-lux fluorescent lamp was compared with that of the mixed light (R12-Y2-G4-B12) that have similar spectral distribution with plant-lux.

Results obtained may be summarized as follows;

- 1) After the intensities of plant-lux and R12-Y2-G4-B12 measured by solarimeter were made equal each other, then cucumber and tomato plant were irradiated with them, consequently the growth under plant-lux was remarkably better than that of R12-Y2-G4-B12.
- 2) After the light intensity of effective region (400~700 m μ) and total radiation of both light sources were made the same values, they were irradiated to plants, in consequence the plant growth under both lamps were similar to each other.
- 3) After the light intensity of effective range and total radiation of R30, plant-lux and R12-Y2-G4-B12 were made equally each other, the plants were irradiated with them, then plant height, wet weight, and dry matter under R30 were much better than that of the others.

It was common theory that the plant growth under continuous wavelength light had the maximum value in comparison with that monochromatic light. However, as above results, this theory had

a significant error, because it did not consider the light intensity of effective region of lamps.

From the above results, on the measurement of light intensity for plant growth, we must be careful for the following points.

- 1) The reactions to spectral distribution of light depend upon the species of plants.
- 2) When plants are irradiated with mixed light, there are not only the reaction of monochromatic light but also the interaction of combination of two light, as the growth of tomato plant.
- 3) There are the existence of light saturation for plant growth, and the intensity of light saturation is different with the kind of monochromatic light and the species of plants.

From above reason, usual measurement of light intensities (e. g. solarimeter and luxmeter) can not use for plant growth so that we have to establish a new measurement entirely. Untill a new measurement is established, we must measure the following light intensities.

- 1) Total radiation.
- 2) Near ultra violet (300~400 m μ).
- 3) Effective light region for plant growth (400~700 or 800 m μ)
- 4) Spectral distribution in effective light region.

The instrument agreed with these objects was produced by author and it is nearly successful, but futher research is now doing to make it complete.