

プリズムライトガイドおよび無電極放電ランプを用いたグロースチャンバにおける光熱環境およびトマト・キュウリ苗の生育[†]

東出 忠桐*・島地 英夫**・濱本 浩*
嶋津 光鑑*・高市 益行

(平成 15 年 11 月 6 日受理)

Characteristics of Light and Heat Conditions of a Chamber with Prism Light Guides and Electrodeless Discharge Lamps and its Effect on Growth of Tomato and Cucumber Seedlings

Tadahisa HIGASHIDE, Hideo SHIMAJI, Hiroshi HAMAMOTO,
Teruaki SHIMAZU and Masuyuki TAKAICHI

Synopsis

We investigated light and heat conditions and influences on plant growth in a growth chamber with prism light guides and electrodeless discharge lamps (LP chamber). In the LP chamber, the photosynthetic photon flux (PPF) was higher than in a conventional chamber with metal halide lamps and a glasshouse, heat radiation was lower than the others. In the chamber with metal halide lamps, growth of tomato seedlings with high PPF was restricted by excessive heat. However, in the LP chamber, the plants were able to grow with high PPF without excessive heat. With high PPF conditions in the LP chamber, plant heights were relatively small. There were no significant differences in nutrient and water absorption except in severe conditions. In the LP chamber, growth of cucumber seedlings at high temperatures was smaller than at the optimum temperature. However the leaf number at high temperatures was larger than at the optimum temperature.

Key Words: Prism light guide, Electrodeless discharge lamp, Growth chamber, Photosynthetic photon flux, Thermal radiation, Leaf temperature

I 緒 言

人工光による植物栽培は、天候等の環境条件を問わず、常に一定の環境条件が再現できるという利点がある。このため、たくさんの人工光源に関する研究（卜蔵，1970；

池田ら，1992；堀口，1969；森ら，2001；山崎ら，2000；渡辺ら，1997）や人工気象室における植物生理学的な研究が行われている。しかし、太陽光にくらべて人工光では一般に光量が少なく、植物が徒長する等の問題も見られる。人工光で太陽光と同等の光量を得るためには光源に至近距離まで近づかなければならない。しかし、一般

〒470-2351 愛知県知多郡武豊町南中根 40-1
果菜研究部

* 現 独立行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構近畿中国四国農業研究センター

** 現 独立行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構花き研究所

† 本研究の一部は、2000 年 3 月に開催された温暖地における施設栽培に関する第 5 回国際シンポジウム（スペイン）および 2000 年 11 月に開催された人工光利用に関する第 4 回国際シンポジウム（カナダ）において発表した。

にランプからは熱線の発生が大きいと、植物を光源に近づけすぎると葉焼けなどの障害を引き起こすおそれがある。また、ランプの光量を強くした場合、熱の発生が大きくなることから、空調コストを上げるといった問題もある。

ところで、照明分野における新しい技術のひとつに、プリズムライトガイドというものがある（NISHIMURA, 1997）。これはプリズムの原理を応用したもので、光源と発光部分を分離することが可能である。このため、光源から離れた場所への照明や、照射方向の変更が可能であり、一つの光源で広範囲の照明ができる等の利点がある。また、マイクロ波により発光する新しいタイプのランプが、無電極放電ランプである（古在ら, 1993）。無電極放電ランプは、フィラメントや電極を持たないため、従来の光源よりも極めて長い寿命を持つ。

近年、これらの技術を利用し、低発熱照射システムを用いた植物育成用のグロースチャンバが開発されている。本報告では、開発されたグロースチャンバの光や熱環境の特性について、従来の光源のグロースチャンバや太陽光と比較して解析を行った。また、トマト、キュウリ苗

を栽培し、新しいグロースチャンバの光熱環境が、生育、葉温、養分吸収等へ及ぼす影響についても解析した。

II 材料および方法

1 照射システム

プリズムライトガイドはプリズムの原理を用いており、円筒形で内部は中空となっている。図-1は、プリズムライトガイドの断面の模式図である。円筒形に添った側壁に小さな無数のプリズムがあり、そこに光源からの光があたり、一定方向以外の光は屈折あるいは反射する。プリズムライトガイド内部で屈折や反射を経て、一定方向に向かった光は外壁の発光面全体からほぼ均整のとれた状態で発せられる。無電極放電ランプは、一般の電球のようなフィラメント、すなわち、電極がなく、希ガスに電磁波を照射することにより発光するもので、マイクロ波ランプともよばれる。電極が切れることがないため長寿命であり、光質を変化させずに調光が可能である。プリズムライトガイドと無電極放電ランプを組み合わせた照射システムが図-2である。この照射システムでは、光源の光が直接、照射されるのではなく、光源と離れた部位から発光されるのが特色である。本研究では、この照射システムを備えたグロースチャンバ（内寸 100cm×80cm×123cm、タバイエスペック、TGC-1000）を用いた。

2 光熱環境の測定

プリズムライトガイドを用いたグロースチャンバにおける光の放射特性を調査するため、波長別光エネルギー分析装置（Li-Cor, LI-1800）を用いて分光分布を測定した。このとき、光源による差異を比較するため、メタルハライドランプ（小糸工業, KG-206SHL-D-SP）を光源としたグロースチャンバ、太陽光が光源であるガラ

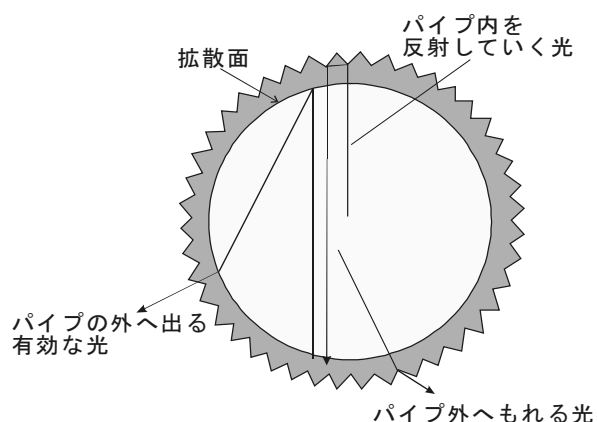


図-1 プリズムライトガイド断面模式図

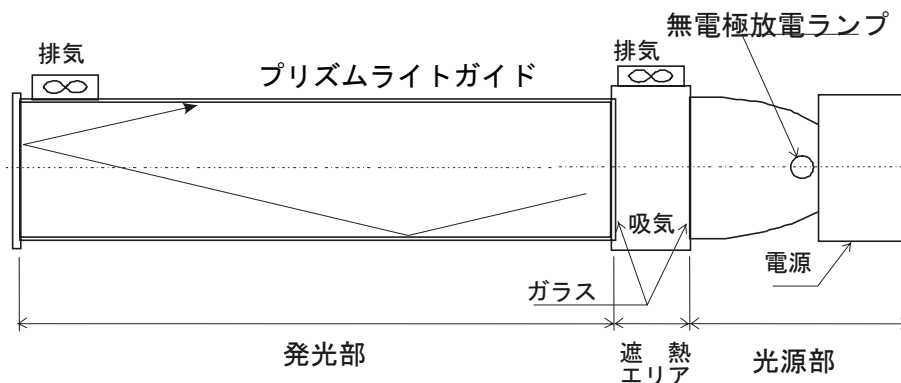


図-2 プリズムライトガイドと無電極放電ランプを用いた照射システム

ス温室についても分光分布を測定した。

プリズムライトガイド (LP) を用いたグロースチャンバの光熱環境の特色を調べるため、光合成有効放射と熱の関係について、黒紙の温度を測定することにより調査した。LP チャンバ、メタルハライドランプ (MH) を光源としたグロースチャンバ、ガラス温室 (GH) において、光量の異なる位置に $10 \times 22 \text{ cm}$ の大きさの黒紙を水平に設置した。黒紙の裏面に熱電対をテープで接着して、温度を測定した。このとき、同位置における光合成有効放射光量子束 (PPF) および気温についても測定した。

3 試験 1 異なる光源下におけるトマト苗の栽培

トマト (*Lycopersicon esculentum* Mill.) 苗の生育について、LP チャンバ、MH チャンバ、ガラス温室において比較を行った。1999 年 4 月 1 日、品種 ‘強力米寿’ をフェノール樹脂培地 (オアシスくさび形、128 穴トレイ) に播種し、播種より 2 週間後、LP チャンバ、MH チャンバおよびガラス温室に移動させ育苗試験を行った。両チャンバの環境条件、すなわち、明期気温/暗期気温、日長、相対湿度、光合成有効放射光量子束 (PPF) は、それぞれ、LP チャンバでは $28/20^\circ\text{C}$ 、12h、70%、約 $1140 \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ 、MH チャンバでは $28/20^\circ\text{C}$ 、12h、70%、約 $520 \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ 、とした。ガラス温室では、最低気温 10°C となるように加温を行い、それ以外の温度制御は行わなかった。チャンバ内における発光部と植物先端の距離は、LP チャンバでは 13cm、MH チャンバでは 70cm とした。播種より 3 週間後、草丈、乾物重、葉面積、葉色 (SPAD 値、ミノルタ葉色計 SPAD-502) について調査した。

4 試験 2 異なる光源および光量下におけるトマト苗の栽培

光源や光強度 (光合成有効放射光量子束、日射) の異

なる環境条件下における、トマトの苗の生育、葉温、養分吸収について調査した。2000 年 7 月 19 日、品種 ‘強力米寿’ をフェノール樹脂培地 (オアシスくさび形、128 穴トレイ) に播種した。播種より 9 日後 (2000 年 7 月 28 日) に、7L の培養液を入れたポリコンテナに鉢上げし、光源および光合成有効放射光量子束 (PPF) のレベルの異なる処理条件下にて植物体の育成を行った。処理条件は、LP チャンバにおける高 PPF 条件 (LP-H) および低 PPF 条件 (LP-L)、MH チャンバにおける高 PPF 条件 (MH-H)、中 PPF 条件 (MH-M)、低 PPF 条件 (MH-L) およびガラス温室 (GH) の 6 つであり (表-1)、発光部からの距離により PPF レベルを調節した。植物体は湛液方式で栽培し、1 つのポリコンテナにつき 4 個体、処理区あたり 3 コンテナ、12 個体の植物体を用いた。培養液には園試処方 (堀, 1966) 50% 濃度培養液 ($4 \text{ meq L}^{-1} \text{ KNO}_3$, $4 \text{ meq L}^{-1} \text{ Ca}(\text{NO}_3)_2$, $2 \text{ meq L}^{-1} \text{ MgSO}_4$, $2 \text{ meq L}^{-1} \text{ NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, 3 ppm Fe, 0.05 ppm Mn, 0.5 ppm B, 0.05 ppm Zn, 0.02 ppm Cu, 0.01 ppm Mo) を用い、エアーポンプにより常時通気した。両チャンバの環境条件は、12 時間日長、相対湿度 70%、明期 28°C 、暗期 20°C とした。各処理区における植物の葉面温度については、サーモグラフィー (NEC San-ei, TH1101) を用いて測定した。処理開始より 12 日後 (2000 年 8 月 9 日)、植物体の新鮮重、乾物重、草丈、葉面積について測定した。また、培養液を採取し、硝酸、リン酸、カリウム、カルシウムおよびマグネシウム濃度の変化から養分吸収量を求めた。各養分の分析には高速液体クロマトグラフィー (Shimadzu LC-VP) および誘導プラズマ発光分析装置 (Seiko Instruments SPS7700) を用いた。

表-1 試験期間中の各処理区における明期の光条件

施 設		光合成有効放射光量子束		日 射	
		明 期 ($\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$)	12 日間の積算 (mol m^{-2})	明期 (W m^{-2})	12 日間の積算 (MJ m^{-2})
LP-H	LP チャンバ	1016.4	482.98	346.4	164.63
LP-L	LP チャンバ	176.3	83.77	59.3	28.17
MH-H	MH チャンバ	727.3	345.60	497.4	236.34
MH-M	MH チャンバ	346.2	164.49	258.5	122.82
MH-L	MH チャンバ	237.9	113.06	178.0	84.61
GH	ガラス温室	—	*388.21	—	*276.83

* 屋外

5 試験3 LPチャンバでの異なる温度条件下におけるキュウリ苗の栽培

高い光合成有効放射光子束を持つLPチャンバにおいて、異なる温度条件下にて、キュウリ (*Cucumis sativus* L.) 苗の育成試験を行った。品種には‘シャープ1’を用い、ろ紙を敷いたシャーレ内に種子を置いて水浸し、30℃で18時間程度の催芽処理を行った。その後、50穴セルトレイを半分にしたものに培養土(クレハ園芸培土)を入れ、1穴おき(千鳥)にトレイあたり13粒播種した。植物体は、子葉展開直後にLPチャンバへ搬入し、以下の条件で育成した。LPチャンバにおける温度条件として、明期34℃、暗期26℃とする区、明期28℃、暗期20℃とする区の2つの処理区を設けた。その他の環境条件については、11時間日長、相対湿度を明期80%、暗期70%、光合成有効放射光子束は700~900 $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ とした。34-26℃区については2002年2月24日から3月6日まで、28-20℃区につい

ては2002年3月16日から3月26日まで、それぞれ10日間の育成試験を行った。

III 結 果

1 LPチャンバにおける光熱環境

図-3に、両チャンバおよび温室における波長別放射特性を示す。なお、LPチャンバ、MHチャンバおよびガラス温室における測定時のPPFは、それぞれ1110, 1003, 1150 $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ であった。LPチャンバでは、波長550nm付近にピークがあり、450-700nmの可視光域の光が多い。また、760nm以上の赤外域は、ガラス温室やMHチャンバに比べて少なく、熱の放射が少ないことがわかる。

図-4に、光合成有効放射光子束に対する黒紙と気温との温度差の関係を示す。MHチャンバでは、黒紙と気温との温度差が最も大きく、光合成有効放射光子束

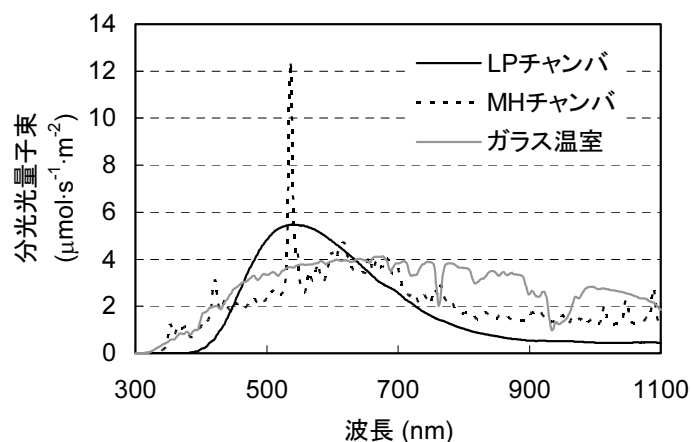


図-3 LPチャンバ、MHチャンバおよびガラス温室における波長別放射特性

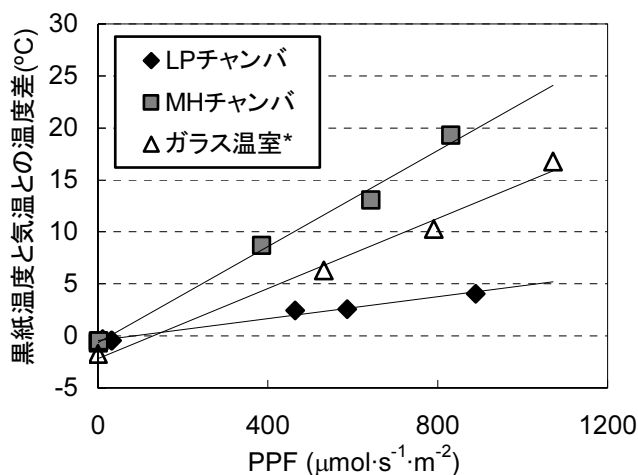


図-4 光合成有効放射 (PPF) に対する黒紙と気温との温度差の関係

束が $800 \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ 付近では、約 20°C もの温度差が認められた。一方、LP チャンバでは、黒紙と気温との温度差は最も小さく、光合成有効放射光量子束が $900 \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ 付近でも温度差は 5°C 以下であった。ガラス温室における黒紙と気温との温度差は、LP チャンバと MH チャンバとの中間であった。

2 光源の違いがトマト苗の生育に及ぼす影響（試験 1）

LP チャンバでは発光面と植物との距離は 15cm 以下と非常に近く、光強度の非常に大きい状態であったが、肉眼では葉の障害などの症状はみられなかった。各区における草丈、乾物重、葉面積、葉色および積算 PPF について、表-2 に示す。積算 PPF は、LP チャンバで最も多く、次いで MH チャンバ、ガラス温室の順であった。このため、乾物重については、LP チャンバ、MH チャンバ、ガラス温室の順に大きく、葉面積においても同様の傾向がみられた。ただし、MH チャンバにおいては乾物重あたりの葉面積、すなわち、比葉面積が大きかった。葉色についても、LP チャンバ、MH チャンバ、ガラス温室の順に SPAD 値が大きかった。一方、草丈は MH チャンバにおいて最も大きかった。

3 光源および光量の違いがトマト苗の生育に及ぼす影響（試験 2）

表-3 に、光源や光強度条件の異なる各区における葉数、草丈、乾物重、葉面積を、図-5 に試験終了時の植物体の外観を示す。各区の光環境は表-1 に示したとお

りである。LP チャンバ、高 PPF 条件（LP-H）において、乾物重、葉数、葉面積ともに他の区より大きかった。MH チャンバにおいて、中 PPF 条件（MH-M）と低 PPF 条件（MH-L）を比較すると、乾物重は MH-M 区の方が大きかったが、草丈および葉面積は MH-L 区の方が大きかった。MH チャンバ、高 PPF 条件（MH-H）では、葉数、草丈、葉面積ともに最も小さかった。図-6 は、各区における積算光合成有効放射光量子束と乾物重との関係を示したものである。MH-H 区では、積算 PPF が比較的多いにも関わらず、乾物重が小さかった。MH-H 区以外では、積算 PPF の多いほど乾物重が大き

い傾向がみられた。各区の葉面温度について示したものが、図-7 および表-4 である。光源の違いは葉温に影響を及ぼしており、LP チャンバ区において最も葉温が低かった。MH チャンバ区においては、PPF が高くなるほど葉温も高くなる傾向がみられた。MH-H 区の葉温は、平均 37.1°C 、最高 38.7°C に達したが、クロロシスやネクロシス等は肉眼では確認できなかった。

表-5 に、各区の植物体の乾物重あたりの養水分吸収量を示す。水分吸収量については、MH-H 区および LP-L 区が他の区に比べて大きかったが、他の区の間には有意差は認められなかった。硝酸体窒素吸収については、処理区間の有意差は認められなかった。リン酸吸収については、MH チャンバ区（MH-H、MH-M、MH-L）において、他の区よりも有意に大きかった。カルシウム吸収については、LP-L 区およびガラス温室区において

表-2 各区における草丈、乾物重、葉面積、葉色および積算 PPF

	積算 PPF (mol m^{-2})	草丈* (cm)	総乾物重* (g)	葉面積* (cm^2)	比葉面積* ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$)	葉色 (SPAD 値*)
LP チャンバ	837	13.4 ± 0.6	1.90 ± 0.14	81.1 ± 2.5	51.4 ± 2.4	48.5 ± 2.8
MH チャンバ	624	17.6 ± 0.3	1.14 ± 0.06	73.2 ± 3.5	76.1 ± 0.4	41.6 ± 1.8
ガラス温室	573	11.6 ± 0.5	0.69 ± 0.06	40.8 ± 3.0	70.6 ± 1.2	30.5 ± 0.7

* Mean $\pm$ standard error (n=6)

表-3 光源および光強度の異なる条件におけるトマト苗の生育

	葉数	草丈 (cm)	乾物重 (g)	葉面積* (cm^2)
LP-H	6.7 ± 0.1	22.5 ± 0.4	2.21 ± 0.20	530.4 ± 42.7
LP-L	5.2 ± 0.1	28.8 ± 0.6	0.59 ± 0.04	192.3 ± 15.7
MH-H	4.8 ± 0.2	13.8 ± 0.5	1.02 ± 0.11	111.2 ± 14.2
MH-M	6.3 ± 0.1	22.1 ± 0.5	1.66 ± 0.15	372.2 ± 31.3
MH-L	6.0 ± 0.0	27.9 ± 0.5	1.38 ± 0.05	411.1 ± 19.3
GH	6.1 ± 0.2	22.3 ± 0.5	1.25 ± 0.09	302.8 ± 14.8

Mean $\pm$ standard error (n=12) ; * n=8.

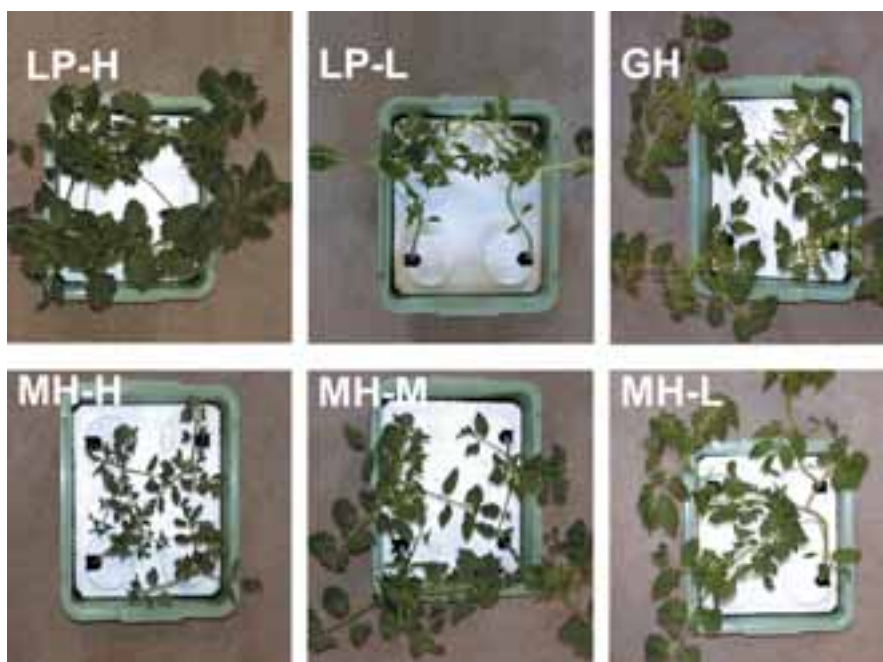


図-5 試験終了時の植物体

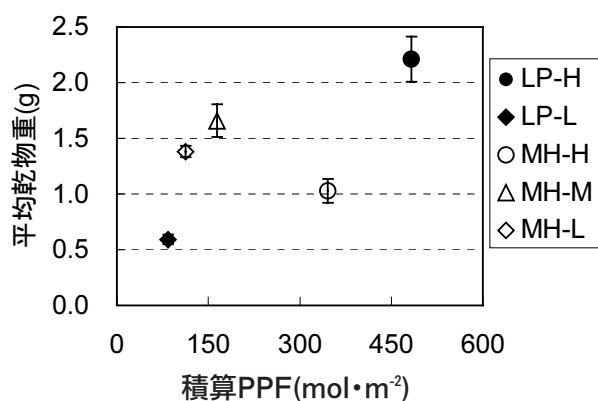


図-6 各処理区における積算光合成有効放射と乾物重との関係

エラーバーはstandard error(n=12)を示す。

表-4 各処理区のトマト苗の葉面温度

	葉温 (°C)	
	平均*	最高
LP-H	31.1±0.2	32.1
LP-L	31.2±0.1	32.1
MH-H	37.1±0.2	38.7
MH-M	33.5±0.3	34.9
MH-L	32.4±0.1	33.2
GH	34.0±0.4	35.6

2000年8月7日, 8日測定, 放射率: 0.90

* Mean±standard error (n=12)

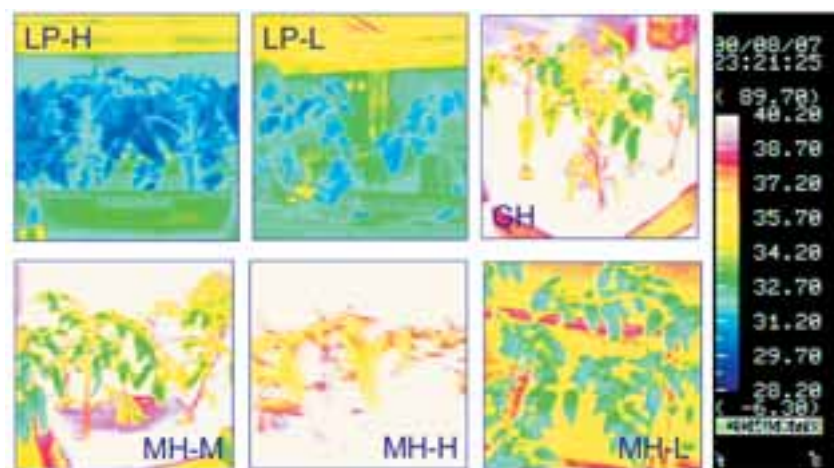


図-7 各処理区の植物体の熱赤外画像

他に比べて小さかった。

4 LP チャンバでの異なる温度条件がキュウリ苗の生育に及ぼす影響 (試験 3)

温度条件がキュウリ苗の草丈、葉数および乾物重に及ぼす影響について表-6 に示す。28–20℃区が 34–26℃区に比べ、草丈および乾物重ともに大きかった。一方、葉数については、高温の 34–26℃区が大きかった。

IV 考 察

LP チャンバでは、太陽光や MH チャンバに比べて 450–700nm の可視光域が多く、760nm 以上の赤外域は少ない (図-3)。植物の光合成に使われる光合成有効放射の波長域は 400–700nm とされており、LP チャンバでは植物生産に対して効率的に光エネルギーを供給しているものと考えられる。今回、比較対照に用いた MH チャンバは陽光ランプおよび BOC ランプを光源としており、人工光源の中ではこれまで太陽光に近いものとされている。しかし、MH チャンバにおいて太陽光並みの $1000 \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ 以上の高い光合成有効放射を得ようとする、黒紙に照射した場合には気温よりも 20℃以上の温度上昇がみられ、多くの熱照射を伴うこととなる (図-4)。一方、LP チャンバでは、高い光合成有効放射条件においても、熱の影響は、MH チャンバだけでなく太陽光に比べても小さい。これには 2 つの要因があると考えられ、一つは光源と発光部とを分離した照射

システムの構造に由来するものであり、もう一つは光源の波長組成に由来するものである。LP チャンバを用いれば、熱の影響を抑え、従来、人工光では不可能であった高い PPF における植物生産や実験が可能であると考えられる。また、グロースチャンバでは、空調設備によりチャンバ内の気温をコントロールしている。したがって、熱照射が少なければ、空調設備および電力消費の低減を実現することができる。

光合成有効放射が多いほど、植物の乾物生産は増加するが、MH チャンバにおける高 PPF の場合には、生育は抑制されていた (図-6)。MH チャンバでは、葉温が高く、高 PPF 条件では、最高 38℃にものぼった。MATSUI ら (1972) は、植物の葉温に影響を与える要因は、気温、光、湿度、および風速であると報告している。今回の実験では、両チャンバの気温および湿度条件は同じであり、風速については測定していないものの、チャンバの設計上、両チャンバ内の風速は 0.5 m s^{-1} 以下であり、大きく異なることはないと考えられる。波長別の放射特性や黒紙温度の結果からもわかるように (図-3, 4)、MH チャンバでは赤外域が多く、熱の影響が大きい。葉温の違いをもたらした要因は、光源の違いによるものと考えられる。MH チャンバにおける黒紙と気温との温度差は、PPF が $800 \mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ の場合には、17℃以上にもなっている (図-4)。植物体の葉温は蒸散潜熱のため黒紙の場合ほど高くなることはないが、MH チャンバの高 PPF 条件では、著しく水分吸収量が多かった (表-5) ことから、蒸散がさかんに行われていたことが

表-5 各処理区における植物体乾物重あたりの養水分吸収

	水吸収 ($\text{g} \cdot (\text{g DW})^{-1}$)	養分吸収 ($\text{mg}(\text{g DW})^{-1}$)				
		NO_3	PO_4	K	Ca	Mg
LP-H	472±38	217.2± 6.5	11.1±0.5	58.0±1.3	19.7±1.5	6.8±0.6
LP-L	672±60	319.4±77.0	10.4±1.5	68.4±2.5	7.7±0.2	4.9±0.6
MH-H	808±93	237.9±16.8	17.5±1.7	50.2±2.1	22.9±2.7	9.1±1.1
MH-M	538±30	246.4± 9.8	14.3±0.2	71.2±2.2	21.2±1.9	7.1±0.8
MH-L	470±10	256.8±11.5	14.3±0.7	74.9±3.3	24.1±2.6	7.7±0.9
GH	521± 7	197.6± 2.6	10.8±0.4	55.2±2.4	11.6±1.3	5.1±0.4

Mean±standard error (n=3)

表-6 異なる温度条件下におけるキュウリ苗の草丈、葉数および乾物重

気温 (°C)		草丈 (cm)	葉数	新鮮重 (g)		乾物重 (g)	
昼	夜			地上部	地下部	地上部	地下部
28	20	7.3±0.2	2.0±0.0	6.38±0.24	3.27±0.19	0.67±0.03	0.13±0.01
34	26	6.6±0.3	2.4±0.1	5.17±0.34	3.06±0.22	0.54±0.04	0.13±0.01

Mean±standard error (n=13)

うかがえる。なお、ガラス温室については、相対湿度が10%近くであり、環境条件が大きく異なることから、直接、比較することはできない。SAGER (1984) は、レタスの生長と葉温に対する赤外放射の影響について、赤外放射は生育適温では葉温を上昇させるが、乾物生産には影響せず、高温時には乾物生産を抑制することを報告している。図-4から推察すると、MH チャンバにおける高PPF条件では、赤外放射が非常に大きいものと考えられる。このことが、MH チャンバ高PPF条件における生育抑制の要因のひとつであると考えられる。

チャンバ内の気温が同じであっても、苗の葉温は、光源により大きく異なっていた(表-4, 図-7)。このことより、光源が異なる場合、作物の生育に対する設定気温の影響は大きく異なることが推察される。つまり、人工光下で作物生育に対する温度の影響を調べる場合、光源の種類が大きく関与している可能性があるといえる。

LP チャンバにおいてPPFが高い場合には、トマト苗の乾物生産はガラス温室よりも大きいものに関わらず、草丈が低い、いわゆるがっしりとした苗となっていた(表-2, 3)。逆にMH チャンバでは、草丈および比葉面積が大きく、いわゆる徒長ぎみな苗となっていた。赤色光と遠赤色光の比率は、植物の茎等の伸長に影響を与え、赤色光の割合が多いと茎等の伸長が抑制されることが知られている(MORGANら, 1976; 村上ら, 1991, 1995; TAKAICHIら, 2000)。今回の実験では、遠赤色光(700-800nm)に対する赤色光(600-700nm)の比は、LP チャンバにおいて2.16、MH チャンバでは1.60、ガラス温室で1.10である。したがって、LP チャンバでは、草丈の伸長が抑制傾向になると考えられる。なお、LP チャンバでPPFが低い条件でも、草丈が長くなり徒長傾向がみられるが、これは光量の不足によるものと推察できる。

試験1においてLP チャンバのトマト苗は、SPAD値が高く、葉色が濃い(表-2)ことが示されたことから、試験2では養分吸収に差異がないか検討した。その結果、養水分吸収については、環境条件が極端なLP-LやMH-Hを除き、大きな差異はみられなかった。養水分吸収において大きな差異がないという点から、LP チャンバにおいても通常の肥培管理でよいものと考えられる。なお、今回、植物体内の成分含量については調べておらず、葉色の差異の原因については特定することはできなかった。

試験3では、LP チャンバを用いてPPFが高いレベルにおけるキュウリ苗に対する温度の影響を調査した。

この結果、乾物重は34-26℃区よりも28-20℃区で大きかった。一般に、作物の呼吸は温度の上昇に伴って増加することから(TAJIMA, 1965; KUら, 1977)、適温以上の高温では、みかけの光合成速度が低下する(MURATAら, 1965)。キュウリの光合成速度の適温は、巽ら(1970)によれば、気温14-20℃であるが、これは一般的な生育温度としては低いと考えられる。巽らの報告では白熱灯を光源としていたことから、設定気温より、光源から発せられる熱の影響が大きかったものと推察される。一方、鳥生ら(1982)は、キュウリの光合成の適温は30℃付近であり、35℃以上の高温で光合成が低下することを報告している。本実験における明期気温は28℃および34℃であり、光合成の適温範囲にあると考えられるが、鳥生らの報告と本実験では光条件が異なるために直接、比較することはできない。光合成速度と温度の関係は、光熱条件によって大きな影響を受けることから、今後は本チャンバにおけるこれらの関係について調査が必要である。また、高温区の乾物生産が少なかった原因としては、光合成速度が同等であったとしても、高い暗期気温により呼吸が増加し、光合成産物が消費された点も考慮する必要がある。

乾物生産が高温の34-26℃区より適温の28-20℃区で大きかったのに対して、葉数については高温区が適温区よりも多くなっていた。一般に温度によって生育が促進される場合には、乾物生産だけでなく葉数も多くなる傾向がある(堀ら, 1971)。しかし、本試験では、高温時に乾物生産は減少したが、葉齢が逆に増加している興味深い現象がみられる。今回の試験だけでは、これがどういった原因、機構によるものか判断することはできないが、今後、詳細に検討することにより、苗生産等の場面における生育制御手法として利用できる可能性も考えられる。

V 摘 要

プリズムライトガイドと無電極放電ランプを組み合わせた照射システムを用いたグロースチャンバ(LP チャンバ)、メタルハライドランプ光源のグロースチャンバ(MH チャンバ)およびガラス温室の光熱環境特性を調べたところ、LP チャンバでは熱の照射が少ない状態で高い光合成有効放射(PPF)が照射されていた。これらの中でトマト苗を栽培したところ、PPFが多いほど生育がよいが、MH チャンバで高PPFの場合には生育抑制がみられた。このとき、植物体の葉温はLP チャン

バで低く、MH チャンバの高 PPF で著しく高かったことから、生育抑制は熱照射の影響によるものと考えられた。また、苗の養水分吸収については、著しく熱照射が多条件および PPF が低い条件以外では差異はみられなかった。LP チャンバ高 PPF 条件で、温度条件のみ変えてキュウリ苗を栽培したところ、高温の方が適温に比べ、乾物生産は少なかったが、葉齢は進んでいた。

引用文献

- 1) ト蔵健治 (1970): 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およぼす影響. 生物環境調節, 7, 100-104.
- 2) 堀 裕 (1966): 蔬菜・花卉のれき耕栽培, 60-80. 養賢堂. 東京.
- 3) 堀 裕・新井和夫 (1971): 昼夜温とその組み合わせがそ菜の生育に及ぼす影響. I 育苗時の昼夜温の組み合わせとトマトおよびキュウリ苗の生育, ならびにそれらを均一栽培に移した場合の収量・草型について. 園試報告 A, 10, 205-227.
- 4) 堀口郁夫 (1969): 単色蛍光灯の組み合わせとトマトの生育. 生物環境調節, 6, 94-97.
- 5) 池田 彰・谷村泰宏・江崎謙治・河相好孝・中山繁樹・岩尾憲三 (1992): 蛍光ランプを光源とした人工光型植物工場の開発—近接照明による照明電力の低減—. 植物工場学会誌, 3 (2), 111-123.
- 6) 古在豊樹・北宅善昭 (1993): マイクロ波ランプとその植物育成用人工光源への利用. 農および園, 68 (9), 988-996.
- 7) KU, S. B. and G. E. EDWARDS (1977): Oxygen inhibition of photosynthesis. I. Temperature dependence and relation to O_2/CO_2 solubility ratio. *Plant Physiol.*, 59, 986-990.
- 8) MATSUI, T. and H. EGUCHI (1972): Effects of environmental factors on leaf temperature in a temperature-controlled room (II). *Environ. Control in Biol.*, 10, 105-108.
- 9) MORGAN, D. C. and H. SMITH (1976): Linear relationship between phytochrome photoequilibrium and growth in plants under simulated natural radiation. *Nature*, 262, 210-212.
- 10) 森 康裕・高辻正基 (2001): レーザー光によるサラダナ栽培試験. 植物工場学会誌, 11 (3), 7-12.
- 11) 村上克介・洞口公俊・森田政明・相賀一郎 (1991): 遠赤色光付加照射によるヒマワリ幼植物の伸長成長制御. 生物環境調節, 29, 73-79.
- 12) 村上克介・中村 立・児玉邦雄・崔 海信・清田 信・相賀一郎 (1995): 自然光の赤色光/遠赤色光量子比を変化させる植物生長制御被覆資材の開発 (1) 被覆材の設計. 生物環境調節, 33, 31-36.
- 13) NISHIMURA, M. (1997): New lighting system for expressways with prism light guides. *Light & Engineering*, 5 (1), 5-13.
- 14) TAJIMA, K. (1965): Studies on the physiology of crop plants in response to the effect of high temperature. I. Effect of high temperature on growth and respiration of crop plants. *Proc. Crop Sci. Soc. Japan*, 33, 371-374.
- 15) TAKAICHI, M., H. SHIMAJI and T. HIGASHIDE (2000): Effect of red/far-red photon flux ratio of solar radiation on growth of fruit vegetable seedlings. *Acta Hort.*, 514, 147-156.
- 16) 異 穰・堀 裕 (1970): そ菜の光合成に関する研究. II 温度および光の強さとそ菜幼植物の同化特性. 園試報告 A, 9, 181-188.
- 17) 鳥生誠二・高橋和彦・金 文秀 (1982): 果菜の光合成に及ぼす高温の影響. 愛媛農試報告, 22, 17-21.
- 18) SAGER, J. C. (1984): Spectral effects on the growth of lettuce under controlled environment conditions. *Acta Hort.*, 148, 889-897.
- 19) 山崎 文・土屋広司・宮島博文・本間孝宣・菅博文 (2000): 半導体レーザー光がサラダナ生育に及ぼす影響. 植物工場学会誌, 12 (2), 93-98.
- 20) 渡辺博之・遠藤政弘 (1997): LED 光源. 高辻正基編. 植物工場ハンドブック, 44-51. 東海大学出版. 神奈川.

Characteristics of Light and Heat Conditions of a Chamber with
Prism Light Guides and Electrodeless Discharge Lamps and
its Effect on Growth of Tomato and Cucumber Seedlings

Tadahisa HIGASHIDE, Hideo SHIMAJI, Hiroshi HAMAMOTO,
Teruaki SHIMAZU and Masuyuki TAKAICHI

Summary

Light and heat conditions were measured in a growth chamber with prism light guides and electrodeless discharge lamps (LP chamber), a growth chamber with metal halide lamps (MH chamber) and a glasshouse. In the LP chamber, photosynthetic photon flux (PPF) was larger and heat radiation was smaller than in the others. Growth of tomato seedlings increased in high PPF condition. However, the growth with high PPF in the MH chamber was restricted. Leaf temperature with high PPF in the MH chamber was higher than that in the LP chamber. We thought that excessive heat had restricted the growth with high PPF in the MH chamber. There were no differences in nutrient or water absorption, except with conditions of the largest heat radiation and the lowest PPF. Cucumber seedlings were grown with high PPF in the LP chamber. The growth at high temperatures was smaller than that at the optimum temperature. However the leaf number at high temperatures was higher than that at the optimum temperature.

Received: November 6, 2003
Department of Fruit Vegetables
40-1 Minaminakane, Taketoyo, Aichi 470-2351 Japan
Present address:
National Agricultural Research Center for Western Region
Zentsuji, Kagawa, 765-0053 Japan