側方からの光照射がバレイショ培養小植物体の 生長および形態に及ぼす影響

林 真紀夫・古在豊樹*・落合 学**

東海大学開発工学部 410-03 沼津市西野

*千葉大園芸学部 271 松戸市松戸

**現在: トピーグリーン(株) 136 江東区新砂

Effect of the Sidewards Lighting on the Growth and Morphology of Potato Plantlets *in vitro*.

Makio HAYASHI, Toyoki KOZAI* and Manabu OCHIAI**

*School of High-Technology for Human Welfare, Tokai University, Nishino, Numazu
410-03 Japan*

**Faculty of Horticulture, Chiba University, Matsudo 271 Japan*

***Present Address: Topy Green Ltd., Shinsuna, Kotoh-ku 136 Japan*

Summary

Growth and morphology of potato (*Solanum tuberosum* L. cv. Benimaru) plantlets in the vessels in the sideways lighting were compared with those in the vessels in conventional downwards lighting with and without addition of sugar to the medium. The amount of electricity for lighting per plantlet in the sideways lighting was set to be the same as that in the downwards lighting.

When sugar was added to the medium, dry weight, fresh weight, leaf area, and the maximum diameter of stem of the plantlets on day 28 in the sideways lighting were 1.4, 1.9, 1.8, and 1.1 times greater than those in the downwards lighting, respectively. When sugar was not added to the medium, these values were 1.7, 1.9, 1.7, and 1.2, respectively. On the other hand, shoot length of the plantlets in the sideways lighting was 60% of that of the plantlets in the downwards lighting regardless of sugar treatments.

The sideways lighting promoted the growth of potato plantlets, therefore, the sideways lighting could reduce the relative consumption of electricity for lighting by shortening the culture period and produce the plantlets with reduced stems.

緒 言

人工光を用いた植物工場での作物生産では、照明用や空調用の電力代が多額である¹⁾。照明用電力代の節減は、空調用の電力代の節減にもなる。このことから、照明用電力の節減のための照明法および照明法と植物生育についての検討^{2,3,4)}が従来からなされてきている。

植物組織培養(以下、培養)苗生産においても、増殖あるいは発根過程において培養室内でランプによる人工照明がなされているので、照明代や空調代の節減および苗質向上の見地からの照明法の検討が必要である。しかし、培養苗生産に関する照明法の検討は少ない。これは、植物工

場での野菜などの作物栽培に比べて、培養は一般に弱光条件下で行われているため、照明法にまで検討が及ばなかったためであろう。

従来の培養苗生産においては、蛍光灯を培養棚面上数十 cm に設置し、培養器の上方から下方に向けて光照射（以下、下方光照射）する方法が一般的である。これに対し、筆者らは培養器の近接側方から光照射（以下、側方光照射）する方法^{5,6)}についての検討を行っている。この方法では、従来の上方から光を照射する方法に比較し、①光源の発光量に対する小植物体の受光量の比の増大、②培養器の立体的配置による培養室空間の有効利用、③小植物体下位葉への照射光量の増大、④草丈が低く葉面積が大きく、茎葉部重量に対する根部重量の比が大きい苗が得られる、などの利点が考えられる。

既報⁵⁾において、無糖培養における側方光照射の生育試験結果について述べた。本報では、有糖培養と無糖培養の両方の試験区を設けて、側方光照射が培養小植物体の生長および形態に及ぼす影響について試験した結果について述べる。

材料および方法

Table 1 に全試験区共通の培養条件を示す。増殖培養ステージ後期のバレイショ (*Solanum tuberosum* L. cv. Benimaru) 小植物体を、葉を 1 枚含み生体重が 40~50 mg になるよう節ごとに切りそろえて外植体とした。この外植体を角形ポリカーボネイト製培養器（ベルディ(株)：プラントボックス）当り 4 本植え付けた。この日を試験開始 0 日目とする。

Table 1 General description of the experimental conditions.

Plant material	Culture vessel
Species : Potato	Type : Box type polycarbonate vessel
(<i>Solanum tuberosum</i> L. cv. Benimaru)	Volume : 370 ml
Explant : Single node cutting with a leaf,	Size : L 75×W 75×H 98 mm
40-50 mg fresh weight explant ⁻¹ ,	Number of vessels : 20 vessels treatment ⁻¹
4 explants vessel ⁻¹	Culture room
Medium	Air temp. : 23°C during the photoperiod,
Basal composition : Murashige and Skoog (1962)	18°C during the dark period
Gelling Agent : Agar 8 g l ⁻¹	Relative humidity : 65%
Growth regulator : None	Photoperiod : 16 h d ⁻¹
pH : 5.8 before autoclaving	CO ₂ concentration : 400-500 μmol mol ⁻¹
Amount : 60 ml vessel ⁻¹	Light source : Fluorescent lamps (cool-white)

Table 2 Description of the treatments.

Treatment symbol	Direction of lighting	Sucrose conc. [g l ⁻¹]	N ¹⁾ [h ⁻¹]
S-S0	Sidewards	0	6.6
S-S20	Sidewards	20	0.7
D-S0	Downwards	0	6.6
D-S20	Downwards	20	0.7

Note 1) N : Number of air changes per hour of the vessel.

Fig. 1 Schematic of the lighting systems. (Unit : mm)

試験区は、光照射の方法と培地中ショ糖の有無を組み合わせた4試験区とした。Table 2に各試験区特有の培養条件を示す。試験区 S-S0 区および S-S20 区では、Fig. 1のように培養器の側方（棚面上）に3本の白色蛍光灯（三菱電機オスラム㈱：ネオルミスーパー 40 型，38 W）を設置し、培養器の側方から光照射した（以下、側方光照射区）。D-S0 区および D-S20 区では培養器を側方光照射と同じように配置し、3本の白色蛍光灯を側方光照射と同位置の上方 25 cm（蛍光灯の中心軸が棚面上 34 cm）に設置し、培養器の上方から下方へ光照射した（以下、下方光照射区），したがって、両区における培養器当りの蛍光灯消費電力は同じである。側方光照射区の培養器は、1日に1回培養器の垂直軸に関して水平方向に 180 度回転させた。

培養器がない場合の培養棚面上の蛍光灯間中間点における水平面および蛍光灯の長さ方向に平行な垂直面での光合成有効光量子束密度（PPFD）は、側方光照射区で、それぞれ、28 および 81 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ，下方光照射区で、それぞれ、48 および 29 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ である。

S-S0 区および D-S0 区は培地にショ糖を含まない区（以下、無糖区）であり、S-S20 区および D-S20 区は培地にショ糖を含む区（以下、有糖区）である。無糖区の培養器のフタには直径 10 mm の3個の穴をあけ、そこにガス透過性雑菌不透過性フィルター（日本ミリポア工業㈱：ミリシール，孔径 0.5 μm ）を張り付けてある。培養器の換気回数は、Table 2 に示してある。4試験区の中で、無糖区の D-S20 区が、従来の培養法に最も近い区である。

試験開始 7, 14, 21 および 28 日目に、小植物体の生長量および培養器内外の炭酸ガス濃度などを測定した。これらの測定値より、明期の純光合成速度、乾物率などを算定した。

結 果

Table 3 に 14, 28 日目ににおける小植物体の生体重、乾物重などを、Table 4 に同日における小植物体の外植体から伸長したシュートの基部から茎頂までの長さ（以下、シュート長）およびその最大茎径（以下、最大茎径）、葉面積などを示す。

1. 乾物重、生体重、S/R 比および乾物率

28 日目ににおける全乾物重は、S-S0 区 > S-20 区 > D-S20 区 > D-S0 区であり、有糖区および無糖区ともに側方光照射区 > 下方光照射区であった。有糖区における側方光照射区の全乾物重は、下方光照射区のその 1.4 倍、無糖区でのその 1.7 倍であり、それぞれの区間に有意差（有意水準 1%，以下同様）があった。

Table 3 Fresh and dry weight per plantlet, shoot root dry weight ratio (S/R ratio), and percent dry matter of the potato plantlets *in vitro* on the 14 th and 28 th days. (For treatment symbols, see Table 2.)

Treat. symbol	Days after treat.	Dry weight [mg plantlet ⁻¹]				Fresh weight [mg plantlet ⁻¹]				S/R ratio	Dry matter [%]
		Leaf	Stem	Root	Total	Leaf	Stem	Root	Total		
S-S0	14	8.2	5.7	2.2	16.2	75	89	45	209	6.2	7.7
	28	26.7 c	14.4 a	11.1 b	51.9 b	340 c	267 a	195 b	802 b	3.7	6.5
S-S20	14	10.0	7.8	4.5	22.4	101	124	72	297	4.0	7.5
	28	20.8 b	13.0 a	13.4 b	47.2 b	247 b	211 a	203 b	660 b	2.5	7.1
D-S0	14	5.1	4.4	1.0	10.5	48	74	20	142	9.5	7.4
	28	13.8 a	11.6 a	5.8 a	31.2 a	169 a	237 a	94 a	500 a	4.4	6.2
D-S20	14	5.7	6.8	2.8	15.3	62	122	45	229	4.5	6.7
	28	12.2 a	13.4 a	7.2 a	32.7 a	142 a	244 a	98 a	484 a	3.6	6.8

Means within a column followed by same letters are not significantly different at the 1% level.

Table 4 Length of newly developed shoot, maximum stem diameter of newly developed shoot, leaf area per plantlet, number of unfolded leaves per plantlet, and net photosynthetic rate per plantlet (Pn; [$\mu\text{mol CO}_2$ plantlet⁻¹ h⁻¹]) of the potato plantlets *in vitro* on the 14 th and 28 th days. (For treatment symbols, see Table 2.)

Treat. symbol	Days after treat.	Shoot length [mm]	Maximum diameter of stem [mm]	Leaf area [cm ² plantlet ⁻¹]	Number of leaves [plantlet ⁻¹]	Pn
S-S0	14	27	1.3	2.5	5.8	3.59
	28	64 a	1.8 c	10.4 c	9.8 b	5.98
S-S20	14	37	1.5	3.2	7.1	0.78
	28	60 a	1.7 bc	7.9 bc	9.4 ab	0.79
D-S0	14	43	1.0	2.0	5.1	2.07
	28	101 b	1.5 ab	6.0 ab	9.2 ab	3.98
D-S20	14	57	1.2	2.3	5.8	0.71
	28	96 b	1.5 a	4.4 a	8.9 a	0.79

Means within a column followed by same letters are not significantly different at the 1% level.

28 日目の有糖区における側方光照射区 (S-S20 区) の葉部乾物重および根部乾物重は、下方光照射区 (D-S20 区) のそれらの、それぞれ 1.7 倍および 1.9 倍であり、両区間に有意差があった。無糖区においても側方光照射区 (S-S0 区) の葉部乾物重および根部乾物重は、下方光照射区 (D-S0 区) のそれらの、それぞれ 1.9 倍および 1.9 倍であり、両区間に有意差があった。なお、7 日目においては下方光照射区 (D-S0 区および D-S20 区) にのみ発根がみられたが、14 日目以降では側方光照射区の方が根部乾物量は大きくなった。他方、28 日目における茎部乾物重は、有糖区および無糖区ともに、側方光照射区と下方光照射区の間有意差がなかった。

28 日目における全生体重、葉部生体重、根部生体重および茎部生体重に関しても、側方光照射区と下方光照射区の間には、それぞれ、上記の全乾物重、葉部乾物重、根部乾物重および茎部乾物重と同様の大小関係がみられた。

以上のように、28日目において、茎部以外の乾物重および生体重に関しては、側方光照射区>下方光照射区であった。

また、同日における乾物重（全乾物重、根部乾物重および茎部乾物重）および生体重（全生体重、根部生体重および茎部生体重）に関して、側方光照射区および下方光照射区ともに有糖区と無糖区の間に有意差はなかった。

28日目における乾物重ベースのS/R比は、有糖区および無糖区ともに側方光照射区<下方光照射区であった。乾物率は有糖区>無糖区であり、側方光照射区>下方光照射区であったが、前者の差が後者の差よりも大であった。

2. シュート長および茎径

28日目におけるシュート長は、側方光照射区<下方光照射区となり、有糖区および無糖区ともに側方光照射区は下方光照射区の0.6倍となり、それぞれの区間に有意差があった。シュート長に関して、側方光照射区および下方光照射区ともに有糖区と無糖区の間には有意差はなかった。なお、D-S20区では20日目頃に、D-S0区では25日目頃に小植物体の茎頂が培養器のフタ内面に到達していた。

他方、28日目における茎径は側方光照射区>下方光照射区となり、有糖区では側方光照射区が下方光照射区の1.1倍、無糖区では1.2倍となり、それぞれの区間に有意差があった。有糖区と無糖区の間には有意差はなかった。

3. 葉面積および葉枚数

28日目における葉面積は、S-S0区>S-S20区>D-S0区>D-S20区であった。有糖区では側方光照射区（S-S20区）が下方光照射区（D-S20区）の1.8倍、無糖区でのそれは1.7倍となり、それぞれの区間に有意差があった。同日における葉面積は、側方光照射区および下方光照射区ともに有糖区<無糖区であったが、それぞれの区間には有意差はなかった。

28日目における葉枚数は、8.9~9.8枚の範囲にあり、試験区間の大小関係は、葉面積のそれと同様であった。

4. 純光合速度

28日目の純光合成速度は、無糖区>有糖区であった。無糖区では側方光照射区>下方光照射区であったが、有糖区では側方光照射区=下方光照射区であった。純光合成速度に関しては、側方光照射区と下方光照射区の差に比べ無糖区と有糖区の差が顕著であった。

5. 小植物体の形態

Fig. 2にシュート長（外植体から伸長したシュート基部から各葉位までの長さ）および葉位別葉面積を、Fig. 3に28日目における各試験区の小植物体の様子を示す。Fig. 3は、培養器のフタを外して撮影したものである。

14日以降、有糖区および無糖区ともにシュート長は側方光照射区<下方光照射区であり、節間長は側方光照射区<下方光照射区であった。28日目における同じ葉位の葉面積は、側方光照射区>下方光照射区であり、また、無糖区>有糖区となる傾向がみられた。

目視から、特に無糖区において側方光照射区の葉が下方光照射区のそれに比べ下方に垂れさがり、葉が裏面にやや巻き込む傾向が見られた。

Fig. 2 Distance of each node position from the base of newly developed shoot and leaf area per leaf at each node position. Each symbol indicates a leaf at each node position of the shoot. (For treatment symbols, see Table 2.)

Fig. 3 Potato plantlets cultured *in vitro* for 28 days. (For treatment symbols, see Table 2.)

考 察

有糖区および無糖区ともに、側方光照射区の培養小植物体は下方光照射区のそれに比べ、全生体重および全乾物重が大、S/R比が小、シュート長が小、莖径が大、葉面積が大、節間が短かく、両区間に小植物体の生長および形態の違いがみられた。側方光照射区の方がいわゆるがっしりした形態であった。無糖区における結果は既報⁵⁾の結果とほぼ一致する。側方光照射区と下方光照射区の形態の違いは、側方光照射区の小植物体の受光量が下方光照射区のそれより大であったことに主に起因すると思われる。下方光照射の光源を小植物体に近接させ、小植物体への照射光量をほぼ同じとした側方光照射と下方光照射の比較試験は、別途必要であろう。

側方光照射区と下方光照射区の形態の違いに比べると、有糖区と無糖区の間での形態の違いの方が小であった。他方、純光合成速度に関しては、側方光照射区と下方光照射区に比べ、有糖区と無糖区の間での違いが顕著であった。有糖区と無糖区の純光合成速度の違いが大きいことは、今までのいくつかの報告⁶⁾と同様である。

有糖区の側方光照射区では葉が下方を向き、やや裏面に巻き込む傾向がみられた。この原因は、受光量が大きいことによるのか、側方から光照射したことによるのか不明である。この点についての説明も必要であろう。

以上により、下方光照射区に比べ側方近接から光照射した側方光照射区では、同じ照明用消費

電力量で培養期間の短縮および草丈の低い良質苗の生産が期待されよう。

参考文献

- 1) 高辻正基：野菜工場，丸善，p 123～142(1987)
- 2) 池田彰・江崎謙治・河相好孝・中山繁樹：全方向光照射における植物生産特性 (II)，生物環境調節，25: 1～5(1987)
- 3) 谷村泰宏・池田彰・江崎謙治・河相好孝・中山繁樹・岩尾憲三・蔭山裕之：蛍光ランプを用いた人工光型植物工場の研究 (その 1)，生物環境調節，29: 81～88(1991)
- 4) 池田彰・谷村泰宏・江崎謙治・河相好孝・中山繁樹・岩尾憲三：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: 111～123(1992)
- 5) Hayashi, M., N. Fujita, Y. Kitaya and Kozai, T.: Effect of sideward lighting on the growth of potato plantlets *in vitro*, Acta Hort., 319: 163～166(1992)
- 6) Kozai, T.: Micropropagation under photoautotrophic conditions. (In Micropropagation: Technology and Application, eds Debergh, P. and R. Zimmerman) Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p. 447～469(1991)

書 評

Climate under Cover-Digital Dynamic Simulation in Plant Bio-engineering

Takakura, Tadashi, Kluwer Academic Publishers 155 pages, (1993)

ハードカバー：135 ギルダ/56 ポンド，ペーパーバック；75 ギルダ/30.5 ポンド

(日本代理店 ㈱ニュートリノ Tel. 0424-84-5550)

著者は、園芸施設の環境調節あるいは環境解析に関して、シミュレーションモデルの手法を取り入れた研究を長年に行っている。コンピュータがまだ普及していない 1970 年以前からこの新しい手法による研究に着手しており、この研究分野での先駆者である。本書は、大学でのコンピュータシミュレーションの講義用テキストとして書かれたもので、著者の長年の研究である。温室、トンネル、べたがけ、マルチなど、被覆条件下における温熱、光、水分、CO₂ などの物理的環境、およびこれら環境と植物の生育関係についてのシミュレーションモデルによる解析法を集成したものである。今までにこの内容の類書がなく、貴重な一冊と言える。

全体は以下の 10 章から構成されている。

1. Introduction.
2. Definition of covering and properties of covering materials.
3. Digital simulation.
4. Heat balance of bare ground.
5. Solar radiation environment.
6. Temperature environment under cover.
7. CO₂ environment.
8. Water and water vapor environment.
9. Control function.
10. Plant response to the environment.

1 章では、世界の施設園芸の概況、各種被覆材の利用状況、廃プラスチック処理の現状などについて概説されている。2 章では、マルチ、べたがけ、トンネル、雨避け、温室などへの被覆材の利用、各種被覆材の特性について述べられている。3 章では、システムダイナミクスおよびシミュレーション言語の概説、CSMP によるモデルの作成、地温予測モデルについて記述されている。

(p. 14 へつづく)