

研究ノート

強光下での通気培養における
培養器内温度の調節

谷 晃*・清田 信*・相賀一郎*

1. はじめに

培養小植物体の光合成能力を十分に発揮させるには、培養器内に二酸化炭素を供給し、かつ強い光の照射下で培養することが必要である¹⁾。しかし、光強度を高めることによる培養器内部の気温の上昇は著しい。例えば、蛍光灯の照射下でポリカーボネート製の培養器を用いた場合、光合成有効量子束密度 (PPFD) が $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{sec}^{-1}$ の光条件下で、培養器内部の気温が約 5°C 上昇する²⁾。このような昇温は、小植物体の成長に直接影響を与えるだけでなく、換気率の高い培養器を用いた場合、内部湿度の低下や、それにとまなう培地水分の減少を招く。したがって、強光下での培養を可能にするには、培養器内部の温度調節が不可欠である。

このような観点から本研究では、培養器内部の昇温抑制を目的として、培養装置の構造および培養器内部への通気が内部気温の変化におよぼす影響について検討した。

2. 材料および方法

測定に用いた培養器は、ポリカーボネート製の植物培養用容器 (植物組織培養 PC ビン, 大日本プラスチック

製) で、底面積が 100cm^2 、容積が約 $1,000 \text{cm}^3$ であった。温度の測定には、直径 0.3mm の銅-コンスタンタン熱電対を用いて、それらを培養器上面、内部の中心付近および培養器底面に固定し、それぞれ上面温度、内部気温、培地温度として測定した。培地には、標準濃度の MS 塩³⁾を用い、その溶液を培養器に 100ml ずつ分注し、ジェルライトで凝固させた。培養用ランプには、3 波長域発光形蛍光灯 (55 W, FPL55EX-N (A), 松下電器産業製) を用いた。波長 $400\text{-}700 \text{nm}$ での PPFD は、培養器上面で $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{sec}^{-1}$ (照度: 約 $35,000 \text{lux}$) に調節した。培養室温は $23 \pm 0.5^\circ\text{C}$ に維持した。

測定は、光源からの赤外線をカットするアクリルフィルター⁴⁾の装着、 5cm 格子状の培養棚の使用、および培養装置に取付けたファンの作動という 3 つの処理条件を組み合わせて行なった。また、アルファルファ小植物体⁵⁾を移植して温度を測定し、その時の通気流量の影響について調べた。

各条件下で温度が安定した後、5 分間隔で 12 回測定した値を平均した。この平均値と培養室温との差を上昇

Table 1. The effect of the acrylic filter and the shape of the shelf on changes in the temperature in the vessel

condition	increased temperature ($^\circ\text{C}$)				
	filter	upper surface	inside air	medium	shelf
board shelf	---	12.6	8.4	5.8	5.8
board shelf filter	10.8	7.4	6.0	3.8	3.6
lattice shelf filter	10.2	6.5	4.4	2.6	1.6

There were no plantlets in non-aerated vessels.
Three vessels were used in each treatment.
Each value was the mean of 3 measurements.

*大阪府立大学農学部

(〒591 大阪府堺市百舌鳥梅町4丁804)

Table 2. The effect of the outside air flow and the shape of the shelf on changes in the temperature in the vessel

condition	increased temperature(°C)			
	upper surface	inside air	medium	shelf
board shelf fan off	7.5	6.0	3.9	3.9
board shelf fan on	3.1	3.2	2.0	2.3
lattice shelf fan on	2.4	2.2	0.8	0.4

There were no plantlets in non-aerated vessels.

The acrylic filter was used. Outside wind velocity on operating the fan was 1.2-1.5 m/s

Three vessels were used in each treatment.

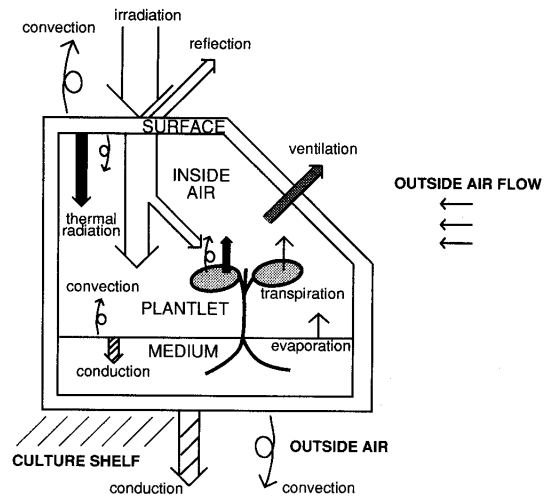
Each value was the mean of 3 measurements.

Table 3. The effect of alfalfa plantlets on changes in the temperature in the vessel

leaf area (cm ²)	increased temperature(°C)		
	upper surface	inside air	medium
0	2.9	2.7	1.3
8.9	3.0	2.8	1.3
19.6	3.3	3.2	1.4
35.5	3.6	3.5	1.7

The acrylic filter and the lattice shelf were used.

Outside wind velocity was 0.9-1.1 m/s.

**Fig. 1** Heat balance in the culture vessel

温度とした。なお、通気処理²⁾では、直径 0.1 mm の熱電対を培養器内のアルファルファ小植物体葉面に付着させ、葉温を測定し、葉温と気温の差を求めた。

3. 結果および考察

PPFD が $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{sec}^{-1}$ の光条件下では、従来の培養法（アクリルフィルターなし、板状の棚）で内部気温は 31.4°C となり、培養室温より 8.4°C 上昇した (Table 1.)。これに対して、アクリルフィルターの装着によって特に上面温度が 5.2°C 低下し、内部気温および培地温度も低くなった。フィルターを使用すると、培養器上面での放射エネルギー（全波長域、単位： W m^{-2} ）は、フィルター使用前と比べて 75% に減少した。しかし、PPFD (400-700 nm, 単位： $\mu\text{mol m}^{-2} \text{sec}^{-1}$) は 96% が透過し、フィルター使用前後で大きな差はなかった。また、培養棚を格子状のものに取り替えると、培地の温度は 1.2°C 低下し、内部気温の上昇は 4.4°C に抑えられた。

さらに、フィルター装着下でのファンによる外気の流動は培養器内部の昇温を効果的に抑制した (Table 2.)。

ファンの作動に加えて格子状培養棚を使用すると培地温度が 1.2°C 低下し、内部気温の上昇は 2.2°C にとどまった。これは、板状培養棚が放射エネルギーを吸収して暖まるのに対して、格子状培養棚はその吸収が少なく、しかも、培養器底面の大部分が外気に触れることによって、底面からの放熱が促進されたことによるものと考えられる。

小植物体が培養器内で成長するにしたがって培養器内部の温度がどのように変化するかを調べるため、小植物体を培養器内へ移植して、温度を測定した。この測定は、フィルターの装着、ファンの作動および格子状培養棚の使用下で行なった。培養器内の小植物体の葉面積が増加するにしたがって、培養器内部の各温度とも高くなった (Table 3.)。葉面積 35.5 cm^2 では、上部表面、内部空気および培地の温度は、移植前と比べてそれぞれ 0.7°C 、 0.8°C および 0.4°C 高かった。このことは、培養器内部

Table 4. The effect of flow rate of aeration on changes in the temperature in the vessel

flow rate (l/min)	increased temperature(°C)			leaf-air temp. difference
	upper surface	inside air	medium	
0 (no plantlet)	2.6	2.4	1.1	—
0	2.9	2.9	1.6	—
0.3	2.8	2.7	1.5	+0.4
0.6	2.4	2.1	1.3	+0.3
1.0	2.2	1.8	1.3	+0.3

The acrylic filter and the lattice shelf were used. Outside wind velocity was 1.0-1.2 m/s. Total leaf area and total fresh weight of alfalfa plantlets in the vessel were 31.3 cm² and 2.44 g, respectively.

で小植物体が成長するにしたがって、小植物体に吸収される放射エネルギーが増加することを示唆している。

小植物体による培養器内部の温度上昇を抑えるため、内部へ通気を行なった。通気量の増加とともに、培養器内の各温度は低下した (Table 4.)。移植前 (無植物) の状態まで内部温度を低下させるには、0.6 l/min 程度の通気量が必要であった。また、葉温と気温の差は、通気量 0.3 l/min で +0.4°C、通気量 0.6 l/min および 1.0 l/min で +0.3°C であり、葉温が内部気温より高いことがわかった。

Fig. 1 に植物培養用容器での熱収支を示す。本研究の結果からわかるように、培養器内部の温度上昇を抑える方法として、昇温を招く赤外光を少なくして放射エネルギーを低下させること (Table 1.)、外気を流動させて、培養器表面からの放熱を促進すること (Table 2.)、および培養棚の温度を低下させたり、培養器下面を外気に触れさせることによって (Table 1, 2.)、培養器底面からの放熱を促進することなどが考えられる。

蛍光灯を光源として用いる場合、その赤外域での放射のほとんどが、2.7 μm 以上の長波長域⁹⁾にあるため、長波長の赤外線をほとんど透過しないアクリル板⁹⁾を使用し、その表面を空冷することで、培養器表面に到達する放射エネルギーを小さくすることができる。しかし、他の光源を用いる場合、熱線吸収ガラス⁷⁾などの、2.7 μm 以下での赤外光を吸収する材質を使用することが必要である。

培地温度を低下させるために、本実験では格子状培養棚を使用した。Vanderschaeghe, A. & Debergh, P.⁸⁾ は、棚面を冷却する方法を用いて培地温度を内部空気露点温度以下まで低下させて、培地表面に水蒸気を凝結させている。本研究で用いた装置では、内部気温が低下する時期に、培養器下面に直接冷気を吹き付けることによ

て、培地温度を容易に下げることができる。さらに、通気法を用いて積極的に培養器内へ水蒸気を供給することによって、明期に蒸発散で失われた水分に相当する凝結量が得られる可能性がある。

培養器内での小植物体の葉温の上昇は、“葉焼け”の原因となるかもしれない。また、小植物体の成長にともなう内部気温の上昇は、培養器内の水収支に影響をおよぼすであろう。葉温および培養器内気温の上昇を抑えるためには、通気量の調節および葉面に達する赤外光を減少させることが必要である (Fig. 1)。

以上のように、本研究では強光下における培養器内の気温を低下させる方法をいくつか試みた。これらの方法は、それぞれ昇温を抑制し、併用することによってより高い効果が得られた。強光下で培養小植物体の光合成能力を十分に発揮させ、高い成長量を得るためには、このように培養器内の温度環境を制御することが必要である。(1992年1月14日受理)

文 献

- 1) Kozai, T., H. Oki, K. Fujiwara, 1987. Proc. of Plant Micropropagation in Horticultural Industries (Belgium). p. 135-141.
- 2) 谷 晃, 清田 信, 平 知明, 相賀一郎, 1991. 植物組織培養, 8: 133-135.
- 3) Murashige, T., F. Skoog, 1962. Physiol. Plant., 15: 473-497.
- 4) 谷 晃, 清田 信, 平 知明, 相賀一郎, 1991. 生物環境調節, 29: 127-132.
- 5) 森田政明, 山田 修, 洞口公俊, 1985. 照明学会誌, 69: 311-315.
- 6) 稲田勝美, 1984. 光と植物生育, p. 203-216. 養賢堂, 東京.
- 7) 大塚 栄, 1979. 施設園芸ハウスの設計と施工 (立花一雄ほか編), p. 81-86, オーム社, 東京.
- 8) Vanderschaeghe, A., P. Debergh, 1987. Proc. of Plant Micropropagation in Horticultural Industries (Belgium). p. 68-76.

Summary

Control of the Temperature in a Aerated Culture Vessel under High Photosynthetic Photon Flux Density

Akira TANI, Makoto KIYOTA and Ichiro AIGA

*College of Agriculture, University of Osaka Prefecture,
Sakai 591, Japan*

By making improvements in the culture apparatus such as setting an acrylic filter, using a lattice culture shelf and moving the outside air, the rise in air temperature in the vessel for plantlet culture was effectively reduced.

As the leaf area of alfalfa plantlets in the vessel increased the inside air temperature rose. This rise in the air temperature was suppressed by aeration into the vessel.