

閉鎖型苗生産システムのエネルギーおよび物質収支(第3報) —二酸化炭素収支—

吉永慶太・大山克己・古在豊樹

千葉大学園芸学部 271-8510 千葉県松戸市松戸 648

Energy and Mass Balance of a Closed-type Transplant Production System (Part 3) —Carbon Dioxide Balance—

Keita YOSHINAGA, Katsumi OHYAMA and Toyoki KOZAI

Faculty of Horticulture, Chiba University, Matsudo, Chiba 271-8510, Japan

Abstract

The CO₂ balance of a closed-type transplant production system with artificial lighting was investigated. Sweetpotato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam. cv. Beniazuma) plants were grown for 15 days at photosynthetic photon flux on the tray surface of 100, 200 and 300 μmol m⁻² s⁻¹ on days 0-2, 3-11 and 12-14, air temperature of 30°C, CO₂ concentration of 1000 μmol mol⁻¹, relative humidity of 80/100% (photoperiod/dark period) inside the system and photoperiod of 16 h d⁻¹. The CO₂ concentration inside the system during dark period was increased with time because of the respiration of plants. The daily amount of supplied CO₂ on day 14 was 10 times larger than on day 1 due to the increasing in net photosynthesis of the plants with passage of days. The amounts of supplied CO₂, assimilated CO₂ by the plants through net photosynthesis and released CO₂ by ventilation to the outside during 15 days were 6.1, 5.6 and 0.5 mol m⁻², respectively. These results show that the CO₂ utilization efficiency is more than 7–30 times higher in the closed type transplant production system than in the open type system (i. e. greenhouse), and the closed-type transplant production system is profitable for minimizing the amount of supplied CO₂ in plant/transplant production.

Keywords : CO₂ supply, CO₂ transfer, net photosynthetic rate, CO₂ utilization efficiency of the system

緒 言

近年の商業的植物生産においては、苗生産と栽培とは業種的に分離される傾向にあり、高品質な植物体(苗および増殖のための母株)を安定生産するためのシステムの開発が望まれている。高品質な植物体を安定生産するためのシステムとして、筆者らは、日射に不透明な断熱壁で囲まれた空間において、光源として蛍光灯などの人工光源を用い、システム内外間における物質の輸送がないもしくは人為的に制御が可能である、植物体を生産す

るシステム(以下、閉鎖型苗生産システム)の開発に取り組んでいる¹⁾。先の2つの報告では、閉鎖型苗生産システムの植物体育成時におけるエネルギー²⁾および水収支³⁾について述べた。本稿では、閉鎖型苗生産システムの植物体育成時におけるCO₂収支について述べる。

閉鎖型苗生産システムで植物体を育成する場合、植物体の光合成や呼吸により、システム内の植物体とその周辺空気との間でCO₂は輸送される。また、閉鎖型苗生産システムの換気によりシステム内外間でCO₂は輸送される。さらに、培地中に微生物が存在する場合には、それらとその周辺空気との間でもCO₂は輸送される。

閉鎖型苗生産システムでは、空調負荷を軽減し、かつ、害虫の進入を防ぐために、システムの換気は通常抑制

2000年3月10日受付

2000年6月19日受理

する。それゆえ、システム内へ人為的にCO₂を供給しない場合、明期におけるシステム内のCO₂濃度は植物体の光合成により低下し、ひいてはその生育が抑制されることが予想される。閉鎖型苗生産システムにおける植物体生産では、生育抑制を防ぐためだけでなく、生育促進およびエネルギー利用効率を高めるためにも、システム内へのCO₂供給は必要である。

システム外へのCO₂輸送を抑制し、植物体育成にかかわるCO₂消費量を削減する上で、システムのCO₂収支を把握することは重要である。これまでに、人工光源下でのセル成形苗個体群上のCO₂濃度分布^{4,5)}や、気流速度が苗個体群の純光合成速度におよぼす影響⁶⁾など、苗個体群とその周辺大気との間のCO₂輸送に着目した研究は見られるが、システムのCO₂収支を把握した例は見あたらない。

本研究では、閉鎖型苗生産システム内のCO₂環境制御および植物体育成にかかわるCO₂消費量の削減のための知見を得ることを目的として、システム内外のCO₂濃度、システム内へのCO₂供給量およびシステム内外間のCO₂輸送量をそれぞれ測定もしくは推定した。併せて、システムのCO₂利用効率および光利用効率を推定し、温室におけるこれまでの報告と比較した。

材料および方法

1. 供試植物およびその栽培条件

供試植物は、サツマイモ(*Ipomoea batatas* (L.) Lam., 品種:ベニアズマ)とした。光合成有効光量子束(Photosynthetic Photon Flux, 以下, PPF), 気温, 相対湿度, CO₂濃度および明期時間, が, それぞれ100–300 μmol m⁻² s⁻¹, 30°C, 80%, 1000 μmol mol⁻¹ および16 h d⁻¹の条件下で16日間育成したサツマイモ植物体から葉1枚を含む単節(乾物重:0.10±0.02 g, 葉面積:21.3±3.5 cm²)に切り分けて増殖体とした。38穴トレイ(38穴プロトレイ, 日新農工産業(株), 533(L)×267(W)mm, セル容積:100 cm³)に, セル成型苗用培地(ナブラ養土, ヤンマー農機(株))を充填して, 増殖体を植え付けた。その後, 気温, 相対湿度, CO₂濃度および明期時間をそれぞれ30°C, 80%, 1000 μmol mol⁻¹ および16 h d⁻¹に設定した閉鎖型苗生産システム内で15日間植物体を育成した。植え付け後0–2, 3–11および12–14日目のトレイ面上におけるPPFは, それぞれ100, 200および300 μmol m⁻² s⁻¹に設定した。ただし, 植え付け後2, 5, 8, 11および14日目には, PPFが異なる条件下におけるシステムへのCO₂供給速度を調べるた

めに, PPFを2時間おきに100, 200, 300 μmol m⁻² s⁻¹と段階的に高めた。測定終了後は, それぞれのPPFの設定値に戻した。植え付け後0日目には水を, 3, 6, 8, 11および13日目の明期開始時には養液(A–2:1.2 g l⁻¹, B–2:0.6 g l⁻¹, C:0.1 g l⁻¹, 日本たばこ産業(株))を, それぞれ底面から与えた。

2. 閉鎖型苗生産システムの諸元およびシステム内の環境制御方法

本研究では, 前報²⁾と同じ閉鎖型苗生産システム(外寸:2.1 m(L)×1.3 m(W)×1.9 m(H), 内容積:4.6 m³)を用いた。このシステムの天井, 床および壁面には, ベニア板および硬質ポリウレタンにより構成される断熱パネルを用いた。システムの壁面内側は, CO₂の吸着および放出を防ぐためにビニルフィルムにより被覆した。このシステムを環境制御していない部屋(3.0 m(L)×1.5 m(W)×2.2 m(H))の中に設置した。閉鎖型苗生産システム内に, 5枚のトレイを収納することのできる育成棚を3段設置した。光源として白色高周波蛍光灯(FHF 32 EX-W, 松下電器産業(株))を各々の育成棚に8本設置した。空調器具として, 家庭用エアコン(AS 22 CHRおよびAO 22 CHR, (株)富士通ゼネラル)を用いた。育成棚の天井面および床面には, 硬質ポリウレタンを用いた。育成棚内の天井面および壁面の表面は, 反射フィルム(Silverlux, (株)3 M)で被覆した。育成棚の両端にはファンを設置して, 30分ごとに交互に稼働させた。システム内の相対湿度の測定およびその制御には, ヒューミディスタット(ヒューミアイ 100, (株)鷲宮製作所)および遠心式加湿器(D-505, ピーエス工業(株))を用いた。システム内のCO₂濃度は, 赤外放射式CO₂分析計(ZFP 9, 富士電気(株)), データコントローラ(Greenkit 100, (株)ESD), 記録・制御用ソフトウェア(DL-300, (株)ESD製), パーソナルコンピュータおよび電磁弁(AB 31-02-1, (株)CKD)をそれぞれ用いてon-off制御した。測定および制御間隔は, 20 sとした。システム内のCO₂濃度の測定結果にもとづき, 液化CO₂ボンベからCO₂ガスをシステム内へ供給することで, 明期におけるシステム内のCO₂濃度を1000 μmol mol⁻¹に制御した。電磁弁開放時のCO₂ガス供給量は, サーマルマスフローコントローラ(model 3510, (株)小島製作所)を用いて370 ml min⁻¹(2.5×10⁻⁴ mol s⁻¹)に調節した。暗期におけるシステム内のCO₂濃度は制御しなかった。

3. 閉鎖型苗生産システムにおけるCO₂収支

閉鎖型苗生産システムでは, システム内へのガス供給量, システム内の植物体個体群とその周辺空気との間の

Table 1 Summary of variables and their meanings used in this paper

Variables	Descriptions	Unit	Eq.*
<i>A</i>	Planting area	m ²	2
<i>C</i>	Amount of absorbed CO ₂ by walls per planting area	mol m ⁻²	1
<i>D_f</i>	Dry weight per plant at the end of the experiment	g m ⁻²	2
<i>D_s</i>	Dry weight per plant (or propagule) at the start of the experiment	g m ⁻²	2
<i>E_c</i>	CO ₂ utilization efficiency of the system	—	3
<i>E_l</i>	Light utilization efficiency of the system	—	4
<i>I</i>	Integrated PPF	mol m ⁻²	4
<i>N</i>	Amount of assimilated CO ₂ by the plants thorough net photosynthesis per planting area	mol m ⁻²	1, 2, 3, 4
<i>S</i>	Amount of supplied CO ₂ per planting area	MJ m ⁻²	1, 3
<i>V</i>	Amount of released CO ₂ by ventilation per planting area	mol m ⁻²	1
<i>K</i>	Conversion factor from dry weight to assimilated CO ₂	MJ m ⁻²	2

* : Equation numbers used in the present paper

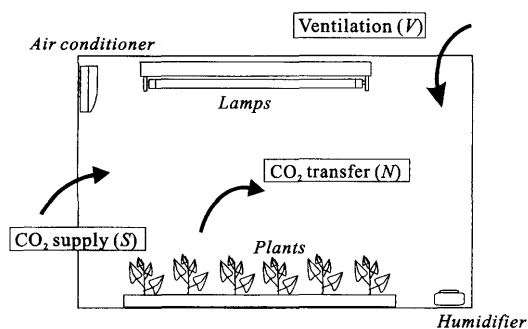


Fig. 1 Schematic diagram of CO₂ balance of the closed-type transplant production system.

ガス輸送量, 換気によるシステム内外間のガス輸送量および壁面などへのガスの吸着および放出量の和はゼロとなる。CO₂ に関しては, システム内へのCO₂ 供給量(*S*), システム内の植物体個体群とその周辺空気との間のCO₂ 輸送量(*N*), 換気によるシステム内外間のCO₂ 輸送量(*V*)および壁面などへのCO₂ の吸着および放出量(*C*)から, システム内への輸送を正とすると, (1)式のように表される (Fig. 1).

$$S + N + V + C = 0 \quad (1)$$

ただし, 本測定条件下では, 壁面などへのCO₂ の吸着および放出量は無視しうるほど小さい(*C* = 0)とした。

測定および算定

1. システム内外のCO₂ 濃度およびシステム内へのCO₂ 供給量

システム内外のCO₂ 濃度は, 赤外放射式CO₂ 分析計を用いて測定した。ただし, システム外のCO₂ 濃度は, 閉鎖型苗生産システムを設置した部屋の外側での測定値とした。システム内へのCO₂ 供給量は, 電磁弁の通電

時間の合計およびサーマルマスフローコントローラで調整したCO₂ 流量から算定した。

2. PPFが異なる条件下におけるシステム内へのCO₂ 供給速度

植え付け後2, 5, 8, 11および14日目に, PPFを2時間ごとに100, 200, 300 μmol m⁻² s⁻¹と段階的に高めて, それぞれの条件下でのシステム内への平均CO₂ 供給速度を調べた。システム内への平均CO₂ 供給速度は, 1時間あたりの電磁弁の通電時間の合計およびサーマルマスフローコントローラで調整したCO₂ 流量から算定した。PPFを変更後, 最初の1時間のデータは使わず, 後半の1時間だけのデータを用いてシステム内へのCO₂ 供給速度を算定した。測定終了後は, それぞれのPPFの設定値に戻した。

3. 植物体周辺空気から植物体へのCO₂ 輸送量

植物体周辺空気から植物体へのCO₂ 輸送量は, 測定期間中におけるトレイ面積(*A*: 2.2 m²)あたりの植物体の乾物重増加量(*D_f* - *D_s*)に換算係数(*K*: 1.56 gCO₂/gDW)⁷⁾を乗じて算定した。

$$N = -\frac{K \cdot (D_f - D_s)}{A} \quad (2)$$

植え付け後0および14日目に, それぞれ任意の10個体の植物体を採取し, 恒温乾燥器内で3日以上乾燥させた後, 植物体あたりの乾物重を測定した。植物体あたりの乾物重増加量を栽培面積で除して, 栽培面積あたりの乾物重増加量を推定した。厳密には, 上記の換算係数は, 品種や植物体の生育段階により変化する可能性があるが, 本稿では上記の値を用いることとした。

4. 換気によるシステム内外間のCO₂ 輸送量

換気によるシステム内外間のCO₂ 輸送量は, システム内外間のCO₂ 濃度, システムの換気回数および容積から推定することが可能である。しかし, 本測定の条件

下では、換気回数の絶対値が小さく(約 0.1 h^{-1})、閉鎖型苗生産システムを環境制御していない部屋の中に設置したことから、閉鎖型苗生産システムの換気回数を正確に測定することが困難であった。そこで、換気によるシステム内外間の CO_2 輸送量は、 CO_2 供給量および乾物重増加量から推定した植物体とその周辺空気との間の CO_2 輸送量の積算値の測定値より(1)式を用いて推定した。

5. システムの CO_2 利用効率および光利用効率

システムの CO_2 利用効率(E_c)は、システム内への CO_2 供給量(S)および植物体とその周辺空気との間の CO_2 輸送量(N)から、以下のように定義した。

$$E_c = \frac{N}{S} \quad (3)$$

ここで、換気によるシステム内外間の CO_2 輸送が行われない場合、 $E_c=1$ となる。

光利用効率(E_L)は、測定期間中の積算PPF(I 、トレイ面におけるPPF×明期)および植物体とその周辺空気との間の CO_2 輸送量(N)から推定した。

$$E_L = \frac{N}{I} \quad (4)$$

6. 温室の CO_2 利用効率

閉鎖型苗生産システムと温室などの開放型苗生産システムとの CO_2 利用効率を比較するために、青木⁸⁾の式を用いて温室の CO_2 利用効率を推定した。温室の CO_2 利用効率を推定するにあたり、1)温室の床面積は 1000 m^2 、容積は 3000 m^3 である、2)温室の換気回数は、 0.1 、 0.5 、 1 、 2 および 10 h^{-1} (換気率 0.3 、 1.5 、 3 、 6 および $30\text{ m}^3\text{ m}^{-2}\text{ h}^{-1}$)である、3)温室内外の CO_2 濃度はそれぞれ 1000 および $350\text{ }\mu\text{mol mol}^{-1}$ である、4)温室内外の気温は 27°C である、5)温室内床面はすべて植物体で植被されている、6)温室内の土壌呼吸は考慮しない、とした。

結 果

明期におけるシステム内の CO_2 濃度は約 $1000 \pm 30\text{ }\mu\text{mol mol}^{-1}$ であった(Fig. 2)。電磁弁のon/offにともない、システム内の CO_2 濃度は周期的に上昇および低下を繰り返した。植え付け後日数の経過にともない、システム内の CO_2 濃度の上昇および低下の周期は短くなった。一方、暗期におけるシステム内の CO_2 濃度は経時的に上昇した。植え付け後日数の経過にともない、暗期におけるシステム内の CO_2 濃度増加速度は大きくなる傾向がみられた。植え付け後13日目以降の暗期終了時には、システム内の CO_2 濃度は $2000\text{ }\mu\text{mol mol}^{-1}$

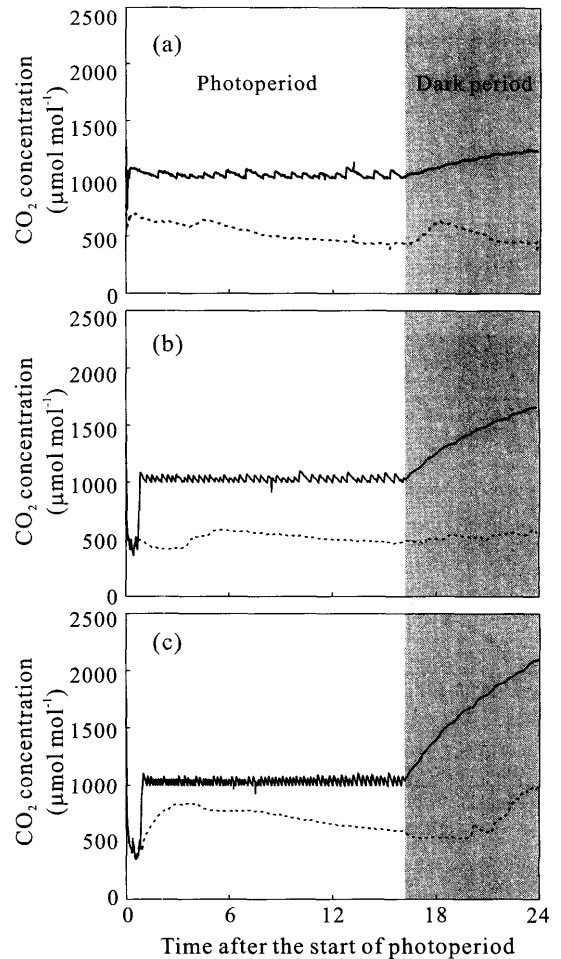


Fig. 2 Diurnal courses of CO_2 concentration inside and outside the closed-type transplant production system on days (a) 2, (b) 8 and (c) 13. The solid line and dotted line indicate CO_2 concentration, inside and outside the system, respectively. PPF was set at 100, 200 or $300\text{ }\mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ on days 2, 8 or 13, respectively.

以上になった。1日あたりのシステム内への CO_2 供給量は、植え付け後日数の経過にともない増大する傾向がみられた(Fig. 3)。植え付け後12-14日目の1日あたりのシステム内への CO_2 供給量は、植え付け後0-2日目のその3倍となった。植え付け後2, 5, 8, 11および14日後に測定した CO_2 供給速度は、PPFが高くなるにつれて増大する傾向がみられ、植え付け後日数の経過とともにその傾向はより顕著になった(Fig. 4)。測定期間中のシステム内への CO_2 供給量の積算値は 6.1 mol m^{-2} であった(Fig. 5)。他方、植物体の乾物重増加量から推定した植物体周辺空気から植物体への CO_2 輸送量の積

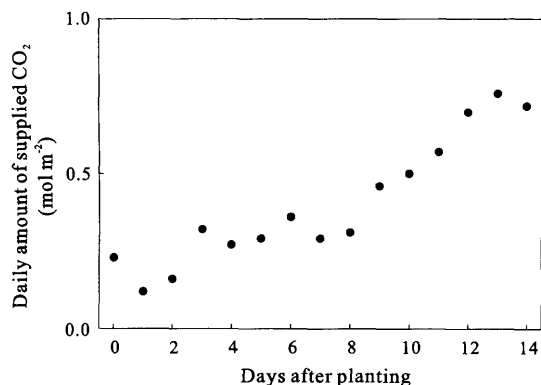


Fig. 3 Time course of daily amount of supplied CO_2 per planting area. PPF was set at 100, 200 or $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ on days 0-2, 3-11 or 12-14, respectively.

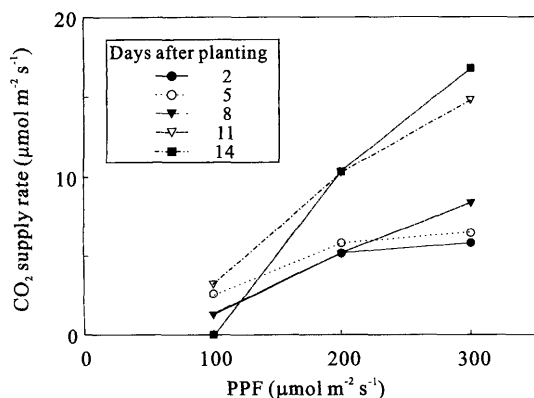


Fig. 4 CO_2 supply rate per planting area as affected by PPF on days 2, 5, 8, 11 and 14.

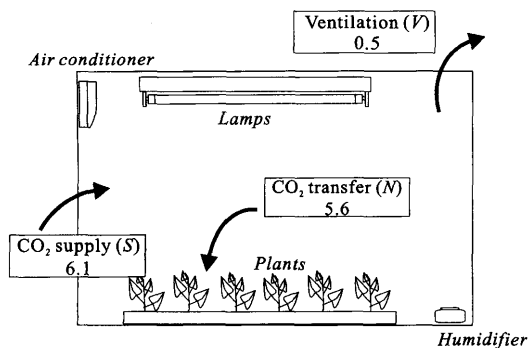


Fig. 5 CO_2 balance of the closed-type transplant production system. Numbers indicate cumulative values for 15 days at the end of the experiment. For the variables and their meanings, see Table 1.

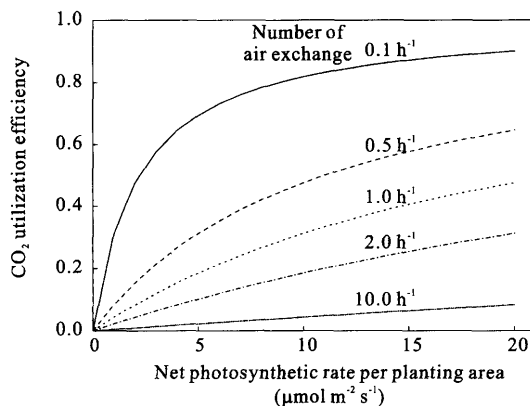


Fig. 6 CO_2 utilization efficiency of the greenhouse as affected by net photosynthetic rate and number of air exchange of the greenhouse. The greenhouse's dimension and environmental conditions were assumed as follows: 1) The floor area and volume of the greenhouse were 1000 m^2 and 3000 m^3 , respectively; 2) The number of air exchange were 0.1, 0.5, 12 and 10 h^{-1} ; 3) CO_2 concentrations inside and outside the greenhouse were 1000 and $350 \mu\text{mol mol}^{-1}$, respectively; 4) the air temperature inside and outside the greenhouse were 27°C ; 5) the floor was all covered with plants/transplants; 6) Soil respiration was negligible.

算値は 5.6 mol m^{-2} となり、システム内への CO_2 供給量の積算値の 92% となった。(1)式より、測定期間中の換気によるシステム内からシステム外への CO_2 輸送量の積算値は、 0.5 mol m^{-2} と推定した。他方、測定期間中の積算 PPF は、 171 mol m^{-2} であった。これらの結果より推定したシステムの CO_2 利用効率および光利用効率は、それぞれ 0.92 および 0.033 であった。他方、温室の CO_2 利用効率は、換気回数が 0.1 h^{-1} で温室内の植物体の純光合成速度が $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ のときに、最大で 0.90 となった (Fig. 6)。

考 察

温室の CO_2 利用効率は、換気回数が 0.1 h^{-1} で温室内の植物体の純光合成速度が $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ のときに、最大で 0.90 となった。本測定条件下の平均純光合成速度は、測定期間中の乾物重増加量から推定した結果、 $6.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (植物体周辺空気から植物体への CO_2 輸送量の積算値 (5.6 mol m^{-2}) / 明期時間の合計 (864000 s)) であった。換気回数が 0.1 h^{-1} で植物体の純光合成速度が $6.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ のとき、温室の CO_2 利用効率

は0.74となる。関東以西の温室において、前述の試算条件のような換気回数が小さい条件下で育苗を行う場合は、冬季のごく限られた時期だけであり、それ以外の時期では温室内の気温が植物体の生育に適した気温よりも高くなることを防ぐために換気が行われる。実際の温室の換気回数は $2-10\text{h}^{-1}$ であるとする、温室の CO_2 利用効率は、本測定で用いた閉鎖型苗生産システムのそれよりも $1/7-1/30$ となる。厳密に条件をそろえた両者の比較は困難であるが、この結果から、閉鎖型苗生産システムの CO_2 利用効率は、開放型苗生産システムのそれよりも大きいといえる。

これまでに、サラダナセル成型苗の周辺の CO_2 濃度を高めることで苗の生育は促進されることが報告されている⁹⁾。温室では、植物体の生育促進を目的として温室内の CO_2 濃度を高めることは、前述のように冬季のごく限られた時期をのぞいて、換気する必要があるために難しい。換気回数が大きい条件下で温室内の CO_2 濃度を高めた場合には、温室内への CO_2 供給量は多くなり(Fig. 6)、それにともない、植物体育成にかかわる CO_2 コストが大きくなってしまふ。それゆえ、現状では、施設栽培における CO_2 施用の必要性は叫ばれているにもかかわらず、その技術の普及は進んでいない¹⁰⁾。他方、閉鎖型苗生産システムでは、システム内外の物質輸送は人為的に制御できる、すなわち、システム内の CO_2 濃度を容易に調節することができる。閉鎖型苗生産システムでは、システム内の CO_2 濃度を高めるためのコストは、植物体の育成にかかわる電力コストと比べて小さい¹¹⁾。また、植物体の生育を促進することで植物体あたりの電気エネルギー消費量を低減できると考えられるので、閉鎖型苗生産システムにおける植物体生産では、積極的に CO_2 施用を導入する意義があると考えた。

金子ら¹²⁾は、自然光および人工光下でトマトセル成型苗を育苗した際の光利用効率は、それぞれ0.022および0.031であることを報告した。本測定では、光利用効率は、0.033であり、金子らの報告した値とほぼ同じであった。1分子の CO_2 を吸収するのに必要な光合成有効光子数は8であるので、量子収率の理論的な最大値は0.125(1/8)である¹³⁾。ただし、この値は光呼吸および暗呼吸を考慮しない場合の値である。本稿であつかう植物体周辺空気から植物体への CO_2 輸送量の積算値は植物体の純光合成量(総光合成量、光呼吸量および暗呼吸量の和)を表す。これまでの研究で、 C_3 植物の量子収率は平均で0.052であることが報告されている(例えば、Ehleringer, J. and Bjorkman, 1977)¹⁴⁾。光利用効率を量子収率の理論的な最大値にまで高めることは難しいが、今

後、 C_3 植物の量子収率の平均値までは高められる可能性がある。

暗期における閉鎖型苗生産システム内の CO_2 濃度は、植物体の呼吸により増大した。閉鎖システム内で植物を栽培した場合、暗期におけるシステム内の CO_2 濃度は増加することが、Corey and Wheeler¹⁵⁾およびWheeler¹⁶⁾によって報告されている。本測定では、暗期終了時にかん水などの作業によりシステムのドアを開放したために、その時点で CO_2 濃度は急激に低下した。測定期間中ドアを開放しなければ、システムの CO_2 利用効率はより高くできたと考えられる。他方、植物体の育成期間中、システムのドアを開放しなかった場合には、植物体の光合成によりシステム内の O_2 濃度は上昇すると考えられる。サツマイモのような C_3 植物では、 O_2 濃度が大気濃度(21%)以上に増大すると、光呼吸量が増えるために、植物体の純光合成量が低下する¹⁷⁾。また、閉鎖型のシステムでは、エチレンなどの微量ガスの蓄積により、植物体の生育抑制が引き起こされる可能性がある¹⁸⁾。本実験で用いた閉鎖型苗生産システムよりもシステム内外間の物質輸送が抑制されているシステムを用いる場合には、 O_2 および微量ガス類の濃度増大に留意する必要があると考える。

閉鎖型苗生産システムでは、システム内への CO_2 供給速度および換気によるシステム内外間の CO_2 輸送速度から、植物体個体群の純光合成速度を推定することができる。植物体個体群の純光合成速度の推定により、植物体個体群の乾物増加速度の推定、ひいては生育の予測ができる。本測定条件下では、先に述べたようにシステムの換気回数および土壤呼吸量の正確な測定ができなかったために、植物体個体群の純光合成速度を推定しなかった。しかし、1)システム内外間の CO_2 輸送は少ない、2)土壤呼吸量は少ない、ことが予想されるので、植物体個体群の純光合成速度は、Fig. 4に示した CO_2 供給速度とほぼ同程度の値であると見積もられる。今後は、システム内外間の CO_2 輸送速度および土壤呼吸量を正確に把握した上で植物体個体群の純光合成速度を推定する必要がある。

結 論

本測定で用いた閉鎖型苗生産システムでは、植物体周辺空気から植物体への CO_2 輸送量の積算値とシステム内への CO_2 供給量の積算値との比(システムの CO_2 利用効率は、0.92となっていた。一方、温室のような開放型苗生産システムでは、換気回数を $2-10\text{h}^{-1}$ である

と仮定してCO₂利用効率を推定した結果、閉鎖型苗生産システムのその1/7-1/30となった。ゆえに、閉鎖型苗生産システムでは、植物体生産にかかわるCO₂消費量を、温室でのそれと比べて、大幅に削減できることが示された。今後、植物体とその周辺空気との間のCO₂輸送量(純光合成速度)をより正確に推定し、植物体の生育とシステム内の設定環境条件との関係を把握していく予定である。

謝 辞

千葉大学の久保田智恵利博士ならびに全昶厚博士には、データをまとめる際に有益なご意見をいただいた。また、松下電工(株)の工藤章英氏ならびに宮丸正人氏には、閉鎖型苗生産システムの作成にあたり、照明器具の設置方法などの技術的なご指導をいただいた。ここに、感謝の意を記す。

引用文献

- 1) Kozai, T., Ohyama, K., Afreen, F., Zobayed, S., Kubota, C., Hoshi, T. and Chun, C. : Transplant production in closed systems with artificial lighting for solving global issues on environment conservation, food, resource and energy, proceeding of ACESYS III conference, Rutgers University, 31-45(1999)
- 2) 大山克己, 吉永慶太, 古在豊樹: 閉鎖型苗生産システムのエネルギーおよび物質収支(第1報)エネルギー収支, 植物工場学会誌 12(3) : 160-167(2000)
- 3) 大山克己, 吉永慶太, 古在豊樹: 閉鎖型苗生産システムのエネルギーおよび物質収支(第2報)水収支, 植物工場学会誌, 12(4) : 217-224(2000)
- 4) Kim, Y. H., Kozai, T., Kubota, C. and Kitaya, Y. : Effects of air current speeds on the microclimate of plug stand under artificial lighting, *Acta Hort.*, 440 : 354-359(1996)
- 5) Kitaya, Y., Shibuya, T., Kozai, T. and Kubota, C. 1998. Effects of light intensity and air velocity on air temperature, water vapor pressure, and CO₂ concentration inside a plant canopy under an artificial lighting condition, *Life Support and Biosphere Science*, 5 : 199-203(1998)
- 6) 渋谷俊夫, 古在豊樹: 気流速度が人工光源下におけるトマトセル成型苗個体群の純光合成速度および蒸発散速度におよぼす影響, *生物環境調節*, 36(3) : 131-136(1998)
- 7) Šetlík, I. and Šesták, Z. : Use of leaf tissue samples in ventilated chambers for long term measurements of photosynthesis, In: Šesták, Z., Čatský, J. and Jarvis, P.G.(Ed.), *Plant photosynthetic production manual of methods*, Dr W. Junk n. v., publishers, pp. 316-342(1971)
- 8) 青木正敏: CO₂施肥, 矢吹ら: 農業環境調節工学, 朝倉書店, pp.118-129(1985)
- 9) Kitaya, Y., Niu, G., Kozai, T. and Ohashi, M. : Photosynthetic photon flux, photoperiod, and CO₂ concentration affect growth and morphology of lettuce plug transplants, *HortScience*, 33(6) : 988-991(1998)
- 10) 川島信彦: 施設栽培におけるCO₂施用の現状と課題, *農業気象*, 47(3) : 177-182(1991)
- 11) 大山克己, 古在豊樹: 人工光型植物苗工場における消費電力量と電力料金の試算例, *植物工場学会誌*, 10(2) : 96-107(1998)
- 12) 金子賢一, 渋谷俊夫, 古在豊樹: 閉鎖型苗生産システムに関する研究1. トマトセル成型苗の生育特性, *日本植物工場学会平成10年度大会講演要旨集* : 48-49(1998)
- 13) Beadle, C. L. and Long, S. P. : Photosynthesis-is it limiting to biomass production?, *Biomass*, 8 : 119-168(1985)
- 14) Ehleringer, J. and Bjorkman, O. : Quantum yields for CO₂ uptake in C₃ and C₄ plants., *Plant Physiology* 59 : 86-90(1977)
- 15) Corey, K. A. and Wheeler, R. M. : Gas exchange in NASA's biomass production chamber -A preprototype closed human life support system -, *BioScience*, 42(7) : 503-509(1992)
- 16) Wheeler, R. M. : Gas-exchange measurements using a large, closed plant growth chamber, *HortScience*, 27(2) : 777-780(1992)
- 17) Forrester, M. L., Krotkov, G. and Nelson, C. D. : Effect of oxygen on photosynthesis, photorespiration and respiration in detached leaves. I. Soybean, *Plant Physiol.*, 41 : 422-427(1966)
- 18) 谷 晃, 清田 信, 相賀一郎: 閉鎖系内で蓄積する微量ガスに関する研究 -サラダナとシイタケが栽培された閉鎖チャンバー内で発生する微量ガスの測定例-, *生物環境調節*, 33(2) : 151-154(1995)