

## 氣流速度가 人工光下에서 工程育苗 個體群의 微氣象에 미치는 影響

金容顯 · 古在豐樹\*

전북대학교 농과대학 농업기계공학과

\*千葉大學 園藝學部 生物生産科學科 環境調節工學研究室

## Effects of Air Current Speed on the Microclimates of the Plug Stand under Artificial Light

Kim, Y.H. and Toyoki Kozai\*

Dept. of Agricultural Machinery Engineering, College of Agriculture,  
Chonbuk National University, Chonju, 561-756, Korea

\*Lab. of Environmental Control Engineering, Dept. of Bioproduction Science,  
Faculty of Horticulture, Chiba University, Matsudo, 271, Japan

### Abstract

Objective of this study was to investigate the effects of air current speed on the microclimates above and inside the plug stand under artificial light. Maximum air temperature appeared near the top of the plug stand. Difference in air temperature inside the plug stand increased with the decreasing air current speed. Difference in relative humidity(DRH) to the relative humidity at the inlet of the main air flow conditioner inside and above the plug stand decreased with the increasing air current speed. Relative humidity inside the plug stand was 10-15% higher than that above the plug stand. DRH inside a stand of plug at air current speed of  $0.3\text{m s}^{-1}$  was about two times as many as that at air current speed of  $0.9\text{m s}^{-1}$ . DRH inside the plug stand was 2.8-6.5% higher at LAI of 2.6 than that at LAI of 0.5. Gradient for the vapour pressure deficit was distinctly appeared at the low air current speed. Direction of vapour pressure flux is from the medium surface upwards. Difference in vapour pressure(DVPD) to the vapour pressure deficit at the inlet of the main air flow conditioner inside and above the plug stand decreased with the increasing height above the medium surface. DVPD inside the plug stand was 0.3-0.4kPa higher at air current speed of  $0.9\text{m s}^{-1}$  than that at air current speed of  $0.3\text{m s}^{-1}$ . Results for the effects of air current speed on the relative humidity and vapour pressure deficit indicated that the microclimates above and inside the plug stand at the rear region in plug trays were slightly unfavorable compared to those at middle region.

키 워 드 : 기류속도, 미기상 분포, 공정묘, 인공광, 포차

Key words : air current speed, microclimate profiles, plug seedlings, artificial light, vapour pressure deficit

## 緒 言

공정육묘(이하 '공정묘'라 칭함)는 묘생산의省力化가 용이하므로 이용이 계속 증대되고 있다. 공정묘의 생산자는 재배농가의 위탁을 받아 묘를 생산하며, 재배농가와 같은 묘구입자는 주문한 공정묘를 공급받아 정식을 하게 된다. 이 경우, 공정묘의 생산자는 묘구입자가 요구하는 적기에 양질의 묘를 육성하여 공급하지 않으면 아니된다. 현재, 공정묘는 기후의 영향을 쉽게 받는 自然光下에서 대부분의 생산이 이루어지기 때문에 품질이 균일한 묘의 계획적인 생산이 불가능하다. 공정묘의 성장과 품질은 工程苗個體群(이하 '묘개체군'이라 칭함)내 微氣象의 영향을 크게 받는다. 더구나, 인공광하에서 공정묘를 생산할 때 묘개체군내의 미기상은 광원의 종류, 조명방법, 기류 제어 등에 따라 다르게 나타난다. 이 경우 묘개체군 내외에서의 미기상 요소가 묘개체군의 광합성 능력 및 증산속도에 커다란 영향을 미치게 되며, 이로 말미암아 공정묘의 성장과 품질이 다르게 나타날 수 있다.

자연상태에서 기류는 열 또는 물질의 혼합수송을 촉진시켜 식물체 주변의 기온, 상대습도 및 CO<sub>2</sub> 농도 등의 편차를 방지하며 葉溫의 급격한 상승 또는 하강을 방지한다. 향후 植物工場(Plant factory) 또는 閉鎖生態系生命維持시스템(Controlled ecological life support system, CELSS)과 같이 閉鎖度가 높은 식물생산 시스템에서는 식물종묘 생산의 대부분이 人工光을 이용한 조건에서 이루어질 것으로 예상되며, 조명효율의 향상과 전기에너지의 절감을 위해서 근접조명이 시도되고 있다. 폐쇄계 식물생산 시설내에서는 일반적으로 기류속도가 낮고, 미기상 요소의 분포가 불균일하게 나타나기 쉽다. 그러므로 시설내의 환경요소가 균일한 분포를 갖게 하려면 기류제어가 불가피하게 요구된다. 미기상 요소 가운데 벡터량에 해당되는 기류속도의 방향 및 크기는 개체군내 기온, 상대습도, 수증기압 및 CO<sub>2</sub> 농도 등의 수직 및 수평분포에 직접적인 영향을 주게 되어 묘개체군내외에서 열 및 물질 확산

저항이 다르게 나타난다.

공정묘의 성장과 개체군내 미기상과의 관계를 해명하려면, 개체군내의 물리적 환경 요인에 대한 계측이 선행되어야 한다. 현재까지, 식물생태계의 미기상 변화에 따른 작물생육의 반응 또는 식물생태군의 공기역학적 특성과 관련된 연구<sup>4, 5, 8, 9)</sup>는 露地植物을 대상으로 광범위하게 이루어져 왔으나, 植物種苗工場과 같은 폐쇄계 식물생산 시설에서 묘개체군내의 미기상 특성에 관한 연구는 전무한 실정이다. 더구나, 인공광하에서 공정묘가 생산될 때 개체군외의 기류속도가 개체군내의 미기상 변화에 크게 관여하는 것으로 판단되나, 이에 관한 정량적인 해석이 시도되지 않고 있다. 최근에 인공광하에서 기류속도가 묘개체군의 성장에 미치는 영향을 구명하기 위한 工程苗育成用 風洞이 金등<sup>3)</sup>과 Kim 등<sup>6)</sup>에 의해서 설계되었으며, 그들은 설계된 풍동실험을 통하여 인공광하에서 묘개체군내의 미기상 특성<sup>1, 2, 7)</sup>을 보고한 바 있다. 공정묘 개체군내의 미기상 성립기구에 관한 이론적인 연구는 균일한 공정묘 생산을 위한 환경제어 기술의 확립에 기여할 것이다. 반폐쇄생태계에서 균일한 공정묘 생산을 위한 기초 자료를 수집하고자 시도된 본 연구에서는 기류속도가 인공광하의 묘개체군내외에서 氣溫, 相對濕度 및 飽差 등의 미기상 변화에 미치는 영향에 대해서 보고한다.

## 材料 및 方法

기류속도 제어가 인공광하의 묘개체군내외에서 기온, 상대습도 및 포차(vapour pressure deficit) 등의 미기상 분포에 미치는 효과를 분석하고자, 金등<sup>1)</sup>과 Kim 등<sup>2)</sup>이 개발한 공정묘 생산용 풍동을 사용하여 실험을 수행하였다. 묘개체군내외에서의 미기상을 측정하기 위한 실험은 실내온도와 상대습도가 각각 22 ± 0.5°C, 65 ± 5%로 유지되는 대형 growth chamber 내에서 이루어졌다. 재배기간 동안 growth chamber내의 CO<sub>2</sub> 농도가 350 ± 10 μ

mol mol<sup>-1</sup>를 유지하도록 조절되었다.

기류 속도는 육묘상자의 배지 표면으로부터 18cm 떨어진 높이에서 0.3, 0.5, 0.7 및 0.9 m s<sup>-1</sup>의 4 수준으로 설정된 가운데 열선풍속계 (Kanomax, 6071)에 의해서 측정되었다. 생육 실내의 기온은 배지 표면위 3~21cm의 높이에서 3cm 간격으로 열전대(copper-constantan thermouple, φ0.1mm)를 설치하여 측정하였다. 상대습도는 배지 표면위 3~12cm의 높이에서 3cm 간격으로 日本Beam電子(株)에서 시작품으로 제작된 高分子膜 저항식 습도센서를 사용하여 측정하였다. 아울러 기준온도와 기준 상대습도를 측정하고자 추정류장치의 입구에 열전대와 습도센서를 설치하였다. 측정된 기온과 상대습도를 이용하여 해당 위치에서의 飽差를 계산하였다. 포차는 공기의 건조잠재력을 표시하는 지표로 사용되며, 포차가 클수록 증발 또는 증산이 활발하게 이루어진다.

$$vpd = e(T_a) - e_s \quad (1)$$

여기서 e(T<sub>a</sub>) : 기온 T<sub>a</sub>에서 공기의 포화수증기압 (kPa)

e<sub>s</sub> : 기온 T<sub>a</sub>에서 공기중의 수증기압 (kPa)이다.

실험기간 동안 배지 표면에서 광량자센서(LI-COR, LI 190S)에 의해서 측정된 광합성광량자속밀도(photosynthetic photon flux density)의 평균값은 300 ± 8 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>로 나타났다. 공시식물로서 사용된 가지(*Solanum melongna* L.)의 공정묘는 播種後 15일간의 육묘기간 동안 2매의 本葉을 갖는 공정묘로 육성되었다. 실험개시일에 공정묘의 평균 초장과 엽면적지수는 각각 52mm 및 0.5이었다. 실험개시후 0, 5 및 10일째에서 공시식물의 엽면적지수는 각각 0.5, 1.4 및 2.6 이었다.

## 結果 및 考察

그림 1은 엽면적지수가 2.6인 묘개체군 위에서 기류속도가 0.3 m · s<sup>-1</sup> 와 0.9 m · s<sup>-1</sup>

로 유지되는 가운데 추정류장치의 출구로부터 0.8 m, 1.3 m 떨어진 지점(이하 '생육실의 中央部 및 後部'라 칭함)에서의 氣溫差 분포를 나타낸 것이다. 추정류장치의 입구에서 측정된 기온이 기온차 분포의 기준온도로 사용되

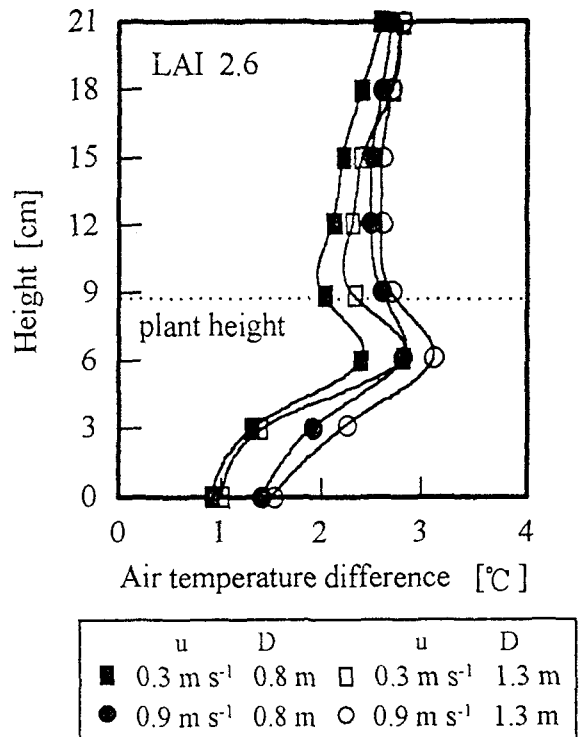


Fig. 1. Profiles of air temperature difference as affected by the air current speed(u) and the distance from the exit of the main air flow conditioner(D).

었다. 기온차의 최고치가 초장 근처에서 나타났으며, 이러한 결과는 공정묘의 생육이 진행될수록 더욱 분명하게 나타났다(그림 2). 초장 근처에서 기온의 최고치가 나타난 이유는 인공광으로부터 照射된 에너지가 묘개체군의 엽에 의해서 흡수되어 葉溫 및 葉 주위의 기온이 상승된 것으로 판단된다. 초장 보다 높

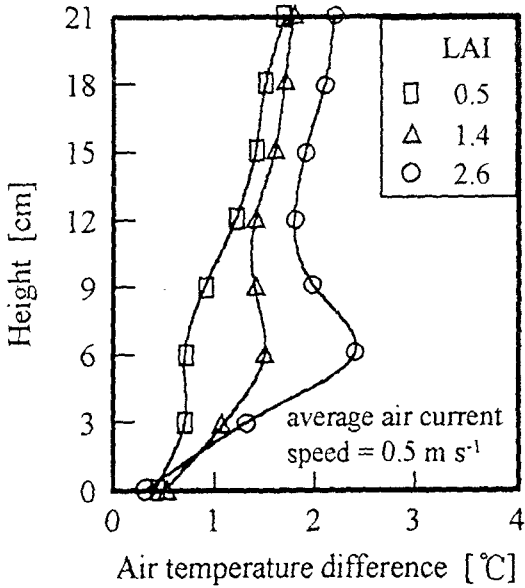


Fig. 2. Profiles of air temperature difference at a distance of 0.8m apart from the exit of the main air flow conditioner as affected by the growth stages of plug seedling.

은 위치에서의 온도가 최고치에 비해서 낮기 때문에 묘개체군위에서 기온의 기울기가 露보다 작게 나타났다. 이것은 묘개체군상의 기류가 不安定 또는 準中立 상태, 즉 부력에 의해서 수직방향으로 기류의 혼합수송이 촉진됨을 의미한다. 묘개체군 내부에서는 배지 또는 葉으로부터의 蒸發散으로 인하여 개체군 외부에서의 기온에 비해서 0.7~1.4°C 정도 낮게 나타났는데, 기류속도가 낮을수록 기온차가 높게 나타났다. 한편, 後部에서의 기온은 중앙부에서의 기온보다 0.1~0.3°C 높게 나타났다.

생육실의 中央部에서 기류속도의 변화에 따라 기준 상대습도에 대한 각각의 측정 위치에서의 상대습도차가 그림 3에 실려 있다. 기준 상대습도는 기온과 마찬가지로 주정류장치의 입구에서 측정되었다. 옆면적지수가 2.6인 묘개체군 내부에서의 상대습도는 기준치에 비해

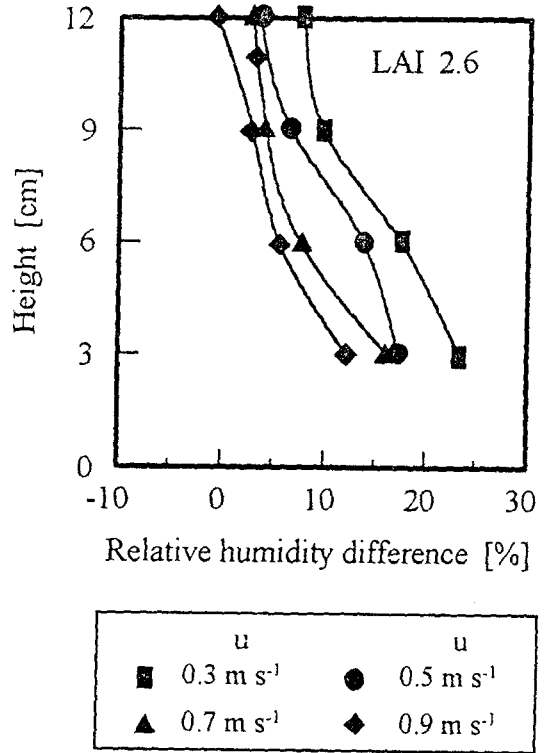


Fig. 3. Profiles of relative humidity difference at a distance of 0.8m apart from the exit of the main airflow conditioner as affected by the air current speed ( $u$ ).

서 12~23% 높게 나타났다. 기류속도 0.3  $m \cdot s^{-1}$ 에서의 상대습도차는 0.9  $m \cdot s^{-1}$ 에 비해서 약 2배 정도 높게 나타나, 묘개체군 내부의 상대습도 분포에 미치는 기류속도의 영향이 매우 큰 것으로 판단된다. 묘개체군 내부에서의 상대습도는 외부에 비해서 10~15% 정도 높게 나타났다. 기류속도가 증가할수록 묘개체군 내에서의 상대습도차는 작게 나타났는데, 이것은 기류속도의 증가에 따라 열에서의 water potential이 감소되었기 때문인 것으로 판단된다. 그림 4는 기류속도가 0.5  $m \cdot s^{-1}$ 일 때 묘개체군의 중앙부에서 생육단계

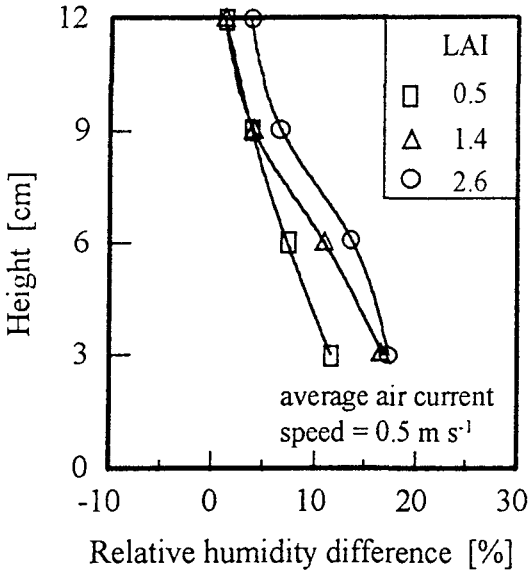


Fig. 4. Profiles of relative humidity difference at a distance of 0.8m apart from the exit of the main air flow conditioner as affected by the growth stages of plug seedlings.

에 따른 개체군내 상대습도를 나타낸 것으로서 엽면적지수가 클수록 2.8~6.5% 높게 나타났다.

그림 5는 기류속도가  $0.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  일 때 묘개체군의 중앙부 및 후부에서 기준 포차와 각각의 위치에서의 포차와의 차이를 나타낸 것이다. 기류속도가  $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  일 때 묘개체군의 중앙부를 제외하면 전체적으로 기준포차에 비해서 묘개체군 내부에서의 포차가 작은 것으로 나타났다. 이것은 묘개체군 내부에서 상대습도가 높음으로 인하여 개체군내 공기의 건조잠재력이 감소하였기 때문인 것으로 판단된다. 배지표면으로부터의 높이가 증가함에 따라 기준 포차에 대한 포차가 증가하였다. 또한, 기류속도가 낮을수록 묘개체군 내부에서 수직방향으로 포차의 기울기가 크게 나타났다. 이와 같은 결과는 상대습도 분포에

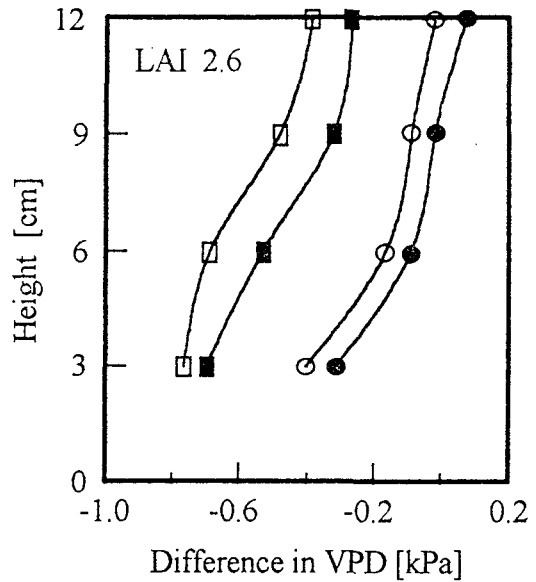


Fig. 5. Profiles of vapour pressure deficit (VPD) difference as affected by the air current speed ( $u$ ) and the distance from the exit of the main air flow conditioner ( $D$ ).

서와 마찬가지로 수증기 유속의 흐름이 상방향으로 이루어짐을 의미하는 것이다. 묘개체군내에서 포차는 3~4 kPa 로서,  $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 에서의 포차는  $0.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 의 경우보다 0.3~0.4 kPa 정도 높게 나타났다. 한편, 後部에서의 포차는 중앙부에서 보다 약간 낮게 나타났다. 생육단계에 따른 포차의 변화는 엽면적지수가 클수록 수직방향으로의 기울기가 크게 나타났다(그림 6).

위의 결과로부터 기류속도에 따라 묘개체군의 수직방향 및 기류진행방향으로 기온, 상대습도 및 포차의 기울기가 존재함을 알 수 있다. 이러한 미기상 요소의 기울기로 말미암아

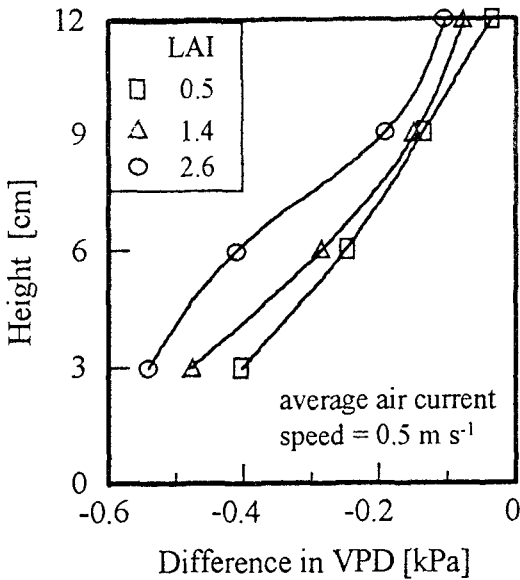


Fig. 6. Profiles of vapour pressure deficit (VPD) difference at a distance of 0.8m from the exit of the main air flow conditioner as affected by the growth stages of plug seedlings.

묘개체군의 수직방향 및 기류진행방향으로 열 및 물질 확산의 차이가 나타난다. 묘개체군 후부에서의 상대습도 및 포차는 중앙부의 그것들에 비해서 다소 높기 때문에 후부에서 묘개체군의 생장이 다르게 나타날 수 있다.

### 摘 要

金등<sup>3)</sup>과 Kim등<sup>6)</sup>이 개발한 공정묘 생산용 풍동을 사용하여, 인공광하의 묘개체군내외에서 기온, 상대습도 및 포차(vapour pressure deficit) 등의 미기상 특성에 미치는 기류속도의 효과를 분석하였다. 기온차의 최고치가 초장 근처에서 나타났으며, 이러한 결과는 공정묘의 생육이 진행될수록 더욱 분명하게 나타났다. 묘개체군 내부에서는 배지 또는 葉으로

부터의 蒸發散으로 인하여 개체군 외부에서의 기온에 비해서 0.7~1.4℃ 정도 낮게 나타났는데, 기류속도가 낮을수록 기온차가 높게 나타났다. 묘개체군 내부의 상대습도 분포에 미치는 기류속도의 영향이 매우 큰 것으로 나타났다. 기류속도가 증가할수록 묘개체군 내외에서의 상대습도차는 작게 나타났는데, 이것은 기류속도의 증가에 따라 葉에서의 water potential이 감소되었기 때문인 것으로 판단된다. 배지표면으로부터의 높이가 증가함에 따라 포차가 증가하였다. 이와 같은 결과는 수증기 유속의 흐름이 상방향으로 이루어짐을 의미하는 것이다. 생육단계에 따른 포차의 변화는 엽면적지수가 클수록 수직방향으로의 기류기가 크게 나타났다. 한편, 후부에서의 상대습도 및 포차는 중앙부에서 보다 약간 낮게 나타났다. 기류속도에 따라 묘개체군의 수직방향 및 기류진행방향으로 기온, 상대습도 및 포차의 기류기가 크게 나타났는데, 이러한 미기상 요소의 기류기는 묘개체군의 불균일 성장을 초래할 수 있다.

### 引用文獻

1. 김용현, 古在豊樹. 1996. 人工光下에서 工程育苗 個體群上の 空氣力學的 抵抗 및 擴散係數. 한국생물생산시설환경학회 학술발표논문요지 5(2): 76-80.
2. 김용현, 古在豊樹. 1996. 氣流速度가 人工光下에서 工程育苗 個體群의 微氣象에 미치는 影響. 한국생물생산시설환경학회 학술발표논문요지 5(2): 71-75.
3. 金容顯, 古在豊樹, 久保田智惠利, 北宅善昭. 1996. 人工光下におけるセル成型苗生産のための風洞設計. 日本植物工場學會平成8年度大會 學術講演要旨集 pp. 29-30.
4. Inoue, E., Z. Uchijima, T. Udagawa, T. Horie and K. Kobayashi. 1968. CO<sub>2</sub> flux within and above a corn plant canopy. J. of Agricultural Meteorology in Japan 23: 165-176.

5. Jones, H.G. 1983. Plants and microclimates. Cambridge University Press, Oxford. pp. 115-121.
6. Kim, Y.H., T. Kozai, Y. Kitaya and C. Kubota. 1996. Design of a wind tunnel for plug seedlings production under artificial lighting. Abstracts of International Symposium on Plant Production in Closed Ecosystems p. 99.
7. Kim, Y. H., T. Kozai, Y. Kitaya and C. Kubota. 1996. Effects of air current speeds on the microclimate of plug stand under artificial lighting. Abstracts of International Symposium on Plant Production in Closed Ecosystems p. 191.
8. Philip, J.R. 1964. Sources and transfer processes in the air layer occupied by vegetation. J. of Applied Meteorology 4: 390-395.
9. Wright, J.L. and K.W. Brown. 1967. Comparison of momentum and energy balance methods of computing vertical transfer within a crop. Agronomy. J. 59: 427-432.