多孔質フィルムを用いた水耕槽表面の 風速制御が水温に及ぼす影響

安場健一郎・屋代幹雄・松尾健太郎

東北農業研究センター野菜花き部

Control of Solution Temperature by Air Flow through a Hydroponic Bed Made of Microporous Film

Ken-ichiro YASUBA, Mikio YASHIRO and Kentaro MATSUO

Tohoku National Agricultural Experimental Station, Shimo-kuriyagawa, Morioka, Iwate 020-0123, Japan

(Received November 5, 2003)

Control of water temperature by air flow through a duct connected to the bottom of a hydroponic bed made of microporous film (MP film) was evaluated. Air and vapor can pass through MP film, whereas water cannot do. The relationship between water temperature in the bed and air flow velocity was investigated using small devices (1 m×0.05 m). Water temperature decreased immediately after air flow treatment, and a low velocity (1.2–1.5 m s⁻¹) was more effective than other rates (0 m s⁻¹, 10–11 m s⁻¹, 20–21 m s⁻¹). The temperature under low humidity (RH=31–33.6%) after the air flow treatment was 6.6°C lower than that before treatment. High humidity decreased the effect of the air flow treatment. Spinach grew in a polystyrene bed, a MP film bed and a MP film bed with air flow treatment; the MP film bed consisted of polystyrene side wall and a MP film bottoms. The average temperature during air flow treatment was 2.8°C lower than that in polystyrene bed, and the maximum difference between the two treatments was 5.0°C during cultivation from July 4 to 10. The decrease in temperature can be controlled by stopping the treatment. These results indicate that a hydroponic bed made of MP film with a ventilation device is useful for controlling the solution temperature.

Keywords: air flow, hydroponics, microporous film, spinach, water temperature

2003年11月5日受付

緒 言

高温期に行う水耕栽培では、水耕液温の過度の上昇はしばしば植物の生育に抑制的に作用する。そのため、地下部を冷却して栽培する方法が試みられている。ホウレンソウを高温時期に NFT 方式で栽培する場合には培養液温を 20°C まで冷却することにより多くの品

種で生育が促進されることが報告されている (Ueda et al., 1998)。レタスでは高気温下 (昼/夜: 31/26°C) においても水温を低く (24°C) 制御することで、高品質な収穫物が得られることが報告されている (Thompson et al., 1998)。Tachibana (1986) は果菜・葉菜とも 25°C を高温限界として培養液温を管理することが望ましいと指摘している。

土耕においても、地中冷却によりアルストロメリア

Corresponding author: Ken-ichiro Yasuba, fax: +81-19-641-9246, e-mail: yasuba@affrc.go.jp

の収穫物の品質向上や (Doi et al., 1999), ウンシュウミカンの花芽分化促進が (Hayashi et al., 1999), 可能であることが報告されている。地下部を冷却する方法としては, 地下水等の冷水を利用する方法や気化潜熱を利用する方法が考案されている。

筆者らは, 通気性と防水性を兼ね備えた多孔質フィルム (MP フィルム) を水耕槽に用いることで, 水耕液へ酸素供給することが可能であること, また潜熱が奪われることで水温が低下することを報告した (Yasuba et al., 2003)。しかし, 単に水耕槽に MP フィルムを用いるだけでは水耕液の冷却効果を制御できないが, MP フィルム表面の風速を制御すれば, さらに効率よく水温を低下させたり, 逆に水温の過度の低下を抑制できる可能性がある。

多孔質資材からの気体および液体の噴出を利用した冷却法には浸み出し冷却法とよばれる方法がある (Kubota et al., 2002)。この方法は噴出させた物質による熱伝導を抑制する効果を利用するもので, 宇宙環境での機体やタービンエンジンの冷却法として研究が行われてきた。しかしながら, 植物を栽培するような低温環境での冷却法ではなく, 水耕槽として MP フィルムを使用した場合のフィルム表面の風速と水温や水の蒸発量との関係については明らかではない。

そこで本実験では, MP フィルムを利用した水槽表面上の風速と水温の関係を調査し, ホウレンソウを水耕栽培した場合の MP フィルム表面への送風処理が水温に及ぼす影響について調査した。

材料および方法

実験 1. MP フィルム表面への風速制御が水温低下に及ぼす影響

MP フィルムを使用した水槽を製作し, 恒温室内で MP フィルム表面の風速が水槽内の水の温度に及ぼす影響について調査を行った。

実験には容積が 3.5 L (長さ 100 cm×幅 5 cm×高さ 7 cm) の水槽を使用した (Fig. 1)。水槽の側面はシリコンシーラントで表面を防水処理した厚さ 2 cm の発泡スチロールで製作し, 水槽底部には不織布をラミネート加工した MP フィルム (プロポア TM ファブリック, 住友 3M 社) を用いた。水槽底部の MP フィルム部の面積は 500 cm² (長さ 100 cm×幅 5 cm) とし, 水槽底部に接するように断面積 5 cm² (幅 5 cm×高さ 1 cm) のダクトを設けた。ダクトの一端に電動ファンを接続し, ダクトに送風処理を行えるようにした。水

Fig. 1 Device for measurement of the decrease in water temperature by air flow above the container bottom, which was made of MP film. A fan is connected to the duct.

槽には 2 L の水道水を入れ, 水槽の上面を発泡スチロールの蓋で密閉した。ダクト内の風向は, 水槽下部のダクトから電動ファンの方へ吸い込む方向とした。送風処理時の風速は, ダクトの空気の吸い込み口の中央部で 0 m s⁻¹ (無風区), 1.2~1.5 m s⁻¹ (微風区), 10~11 m s⁻¹ (弱風区) および 20~21 m s⁻¹ (強風区) の 4 段階に設定した。まず電動ファンを停止状態とし, ダクトの吸引口および電動ファンの排出口をプラスチックテープで塞いで, ダクト内を 12 時間無風条件とした。その後, 0 m s⁻¹ の場合を除いて, 吸引口および排出口を開放し, 6 時間送風処理を行った。風速の測定は熱線式風速計 (Esco 製, EA743B) を使用した。また, ダクト中央部と恒温室内の差圧を差圧計 (Testo 製, 505-P1) を用いて測定した。送風処理開始時とその 1 時間後および 6 時間後に, 水槽中央部 (水槽端から 50 cm, 水槽側面から 2.5 cm, 水槽底から 1 cm の位置) の水温およびダクトを通過した空気の温度をダクトの出口 (電動ファンとの接続部) で測定した。また, 実験終了時に水槽中の水の重量を測定し, 実験開始前の重量との差から水の蒸発量を計算した。送風処理期間中の恒温室内の気温は 28.5~29.3°C, 相対湿度は 45.8~56.8% であった。

実験はダクト内の風速 4 水準に関して 1 反復で試験を行い, この試験を 4 回繰り返し実施した。

実験 2. MP フィルム表面への送風処理と湿度が水温低下に及ぼす影響

実験 1 の試験区のうち, 無風区と微風区の 2 処理区について恒温室内の湿度が高湿度 (RH=58.6~59.6%) および低湿度 (RH=31.0~33.6%) の条件の場合に試験

を実施した。実験開始から12時間は無風条件、その後12時間は微風区では送風処理を行い、送風処理終了後12時間は実験開始時と同様の無風条件とした。測定項目は実験1と同じとしたが、水温およびダクト内の気温に関しては15分間隔で測定した。送風処理期間中の恒温室内の平均気温は両湿度条件とも29.2°Cであった。

実験はそれぞれの湿度条件で、送風処理2水準とし各処理3反復で実施した。

実験3. 水耕栽培におけるMPフィルム表面の送風処理が水温に及ぼす効果

実験は東北農業研究センター野菜花き部内にある実験温室にて行った。2003年6月9日(6月播種)および7月23日(7月播種)に、ハウレンソウ‘アクティブ’の種子を消毒した培土を入れたセル成型トレイに播種した。7日間(6月播種)および8日間(7月播種)育苗した後、1水耕装置あたり14個体を定植した。水耕槽(長さ120cm×幅20cm×高さ10cm)は装置全体を厚さ2cmの発泡スチロールで製作したものと(対照区)、容器の側面は発泡スチロールを用い、底部にポリカーボネート製の波板を使用し、容器の内部にMPフィルムを張り付けたもの(Fig. 2)の2種類で栽培を行った。波板とフィルムの間の空間に送風処理を行う処理区(送風区)と行わない処理区(無風区)の2処理区を設け、対照区とあわせて3処理区で試験を行った。対照区では発泡スチロールからの漏水を防ぐために水耕槽内部にポリエチレンフィルムを敷いた。6月播種の場合には午前4時から午後8時までの16時間、7月播種の場合には終日送風処理を行い、風速は1~2 m s⁻¹とした。水耕液の液量は20 Lとし、水耕液の組成は前報と同じもの(Yasuba et al., 2003)を使用した。栽培期間中、4時間おきに15分ずつエアープンプにより流量1.5 L min⁻¹(1装置につき2か所)のエアレー

Fig. 2 Hydroponic bed with control of water temperature using a MP film and electric fan. Air flows between the MP film and wavy plastic board when the fan is switched on.

ションを行った。栽培期間中7日おきに、水耕液の減少分に関しては蒸留水および2倍濃度の水耕液を補充し、水耕液のEC値を2 mS cm⁻¹、pHを6.4に調整した。また同時に、水耕液の溶存酸素濃度を測定した。各水耕槽中央部の水温は、6月播種では7月4日から、7月播種では8月9日からそれぞれ6日ずつ15分間隔で測定を行った。実験は1処理区につき3反復を完全無作為化して実施した。

6月播種では定植後28日目に、7月播種では31日目に植物体地上部の新鮮重(FW)を、80°Cで2日間風乾した後に地下部の乾物重(DW)を測定した。

結 果

実験1. MPフィルム表面への風速制御が水温低下に及ぼす影響

水槽底部のMPフィルム表面への送風処理により本実験の3段階の風速の範囲では水温が低下した(Table 1)。また、送風処理開始1時間後より6時間後

Table 1 Effect of air flow through the MP film duct on water temperature.

Wind velocity (ms ⁻¹)	Water temperature (°C)			Air temperature (°C)			Differential pressure (kPa)	Evaporation (ml)
	0 h ^y	1 h	6 h	0 h	1 h	6 h		
20-21	28.8 a ^z	28.4 ab	26.8 b	30.0 a	29.5 bc	29.1 ab	1.36 a	320 a
10-11	28.9 a	27.6 b	26.5 bc	29.9 ab	29.8 b	29.7 ab	0.20 b	144 b
1.2-1.5	28.9 a	27.3 b	25.3 c	29.9 ab	29.2 c	29.0 b	0.01 c	86 b
0	29.0 a	29.1 a	29.2 a	29.7 b	30.3 a	30.4 a	0 d	17 b

^z Mean separation in the column by Tukey's multiple range test, at 5% level.

^y The time after the air flow treatment. The treatment was started at 0 h.

で水温が低くなった。6時間後の水温の低下量は最も風速が小さい微風区で最大となり、無風区に比べて3.9°C低くなった。無風区では、6時間後の水温の変化はごくわずかであった。

ダクトを通過した空気の温度は微風区で低くなった。ダクト内の気圧は風速が大きい処理区では低下し、強風区では恒温室内よりも1.36 kPa 気圧が低くなった。また、送風量が大きい場合ほど水の蒸発量は大きくなり、強風区では実験開始時と比べて16%の水が蒸発により失われた。

実験2. MP フィルム表面への送風処理と湿度が水温低下に及ぼす影響

送風期間中の最低水温と送風開始時の水温の温度差は、低湿度下で試験を行った場合には6.6°C、高湿度下

では3.3°Cとなった。高湿度下では処理開始から5時間後までは時間が経過するとともに温度が低下し、水温と経過時間には $y=0.162x^2-1.48x+29.1$ ($R^2=0.996$, y : 水温, x : 送風処理開始からの時間) の関係があった (Fig. 3A)。低湿度下では、送風開始から5時間以内の水温と経過時間には $y=0.280x^2-2.44x+28.3$ ($R^2=0.989$, y : 水温, x : 送風処理開始からの時間) の関係がみられ (Fig. 3B)、高湿度下よりも水温の低下速度が速くなった。実験終了時の水の蒸発量は低湿度下では163 ml、高湿度下では139 ml となり低湿度下の方が17%程度蒸発量が多くなった。

実験3. 水耕栽培におけるMP フィルム表面の送風処理が水温に及ぼす効果

栽培期間中の実験温室内の平均気温は6月播種の場合

Fig. 3 Changes in water and air temperature during air flow through the duct under (A) high and (B) low humidity. Bold lines and narrow lines indicate air flow treatment and no-flow treatment, respectively. Solid lines and broken lines indicate the temperature of the water and air at the end of duct, respectively. Data indicate the mean value of three replications. Arrow lines indicate the period of air flow.

Fig. 4 Effect of air flow treatment through the duct on nutrient solution temperature after sowing in (A) June and (B) July. Hydroponic beds with air flow treatment (—) and no-flow treatment (-----) were shown in Fig. 2, and polystyrene beds were used as a control (——). Arrow lines indicate the period of air flow. Data indicate the mean value of three replications within the same treatment for (A) July 4–10 and (B) August 9–15.

合には 24.6°C 、7 月播種の場合には 24.8°C であった。

6 月播種の場合、7 月 4 日から 6 日間の水温の平均値は、送風区では無風区より 2.4°C 、対照区より 2.2°C 低くなった。その温度差が最大になった時には、無風区に対して 5.1°C 、対照区に対して 4.9°C 水温が低下した。水温は送風処理開始直後から急激に低下し、送風処理終了後には水温の低下が抑制されるか、一時的に上昇する傾向がみられた (Fig. 4A)。飽差は水温測定開始から 2 日後の日中に最も大きくなり、この時期に最も処理区間の水温の差が大きくなった (Fig. 5A)。7 月播種の場合には、送風区では終日送風処理を行ったため、6 月播種の場合にみられた送風処理の停止による水温の上昇および処理開始時の液温低下はみられなかった (Fig. 4B)。7 月播種の送風区の平均水温は他の 2 処理区に比べて 2.8°C 低くなり、6 月播種の場合よりも水温の低下量は大きくなった。

水耕液の溶存酸素濃度は 6 月播種の定植後 21 日目

に、無風区では他の処理区に比べて 1 mg L^{-1} 以上高くなった (Fig. 6A)。しかし、その他の期間、播種日については処理区間の差は 1 mg L^{-1} 以内で推移した (Fig. 6A, B)。

各播種日において、地上部 FW には処理区間に有意な差がみられなかったが、送風区では他の処理区よりやや大きくなる傾向がみられた (Table 2)。地下部 DW は、7 月播種の場合には処理区間に有意な差がみられなかったが、6 月播種の場合には送風区で無風区に比べて大きくなった。

考 察

1. MP フィルム表面の風速と水温の関係

MP フィルムを水槽の材料として用いた場合には、フィルム表面への送風処理により水槽内の水温は低下した (Table 1)。通気性の小さいポリエチレンフィルムや発泡スチロールを用いて送風処理を行った場合に

Fig. 5 Changes in air temperature and saturation deficit for (A) July 4-10 and (B) August 9-5. Air temperature and saturation deficit indicates were represented by straight lines and dot lines, respectively.

Fig. 6 Changes in dissolved oxygen concentration of the nutrient solution after sowing in (A) June and (B) July. Hydroponic beds with air flow treatment (—) and no-flow treatment (-----) were shown in Fig. 2, and polystyrene beds were used as a control (-.-). The lines show the mean values of three replicates.

Table 2 Effect of air flow treatment through the MP film duct on spinach growth.

Treatment	Sowing on June 9		Sowing on July 23	
	Shoot FW (g)	Root DW (g)	Shoot FW (g)	Root DW (g)
Polystyrene bed	15.7 a ²	0.26 ab	23.6 a	0.26 a
No-flow	12.7 a	0.21 b	20.5 a	0.25 a
Air flow	19.5 a	0.31 a	25.9 a	0.28 a

² Mean separation in the column by Tukey's multiple range test, at 5% level.

は水温はほとんど変化しなかったことから（データ略）、通気性のある MP フィルムを通して水槽内の水が蒸発し潜熱が奪われたことで水温が低下したと考えられる。

実験 1 において強風区では微風区よりも水の蒸発量が 3.65～3.74 倍大きくなった（Table 1）。しかしながら、蒸発量が多く、奪われた潜熱が大きい強風区よりも、微風区の方が水温が低くなった。この原因の一つとして、送風処理による空気からの熱伝達が影響したと考えられる。

葉の表面ではその上を流れる風速が小さいほど境界層が厚くなることが報告されており（Yabuki et al., 1970）、MP フィルム上においても同様の傾向があると仮定すれば、微風区では強風区や弱風区よりも境界層が厚くなると推察される。したがって、微風区では強風区や弱風区に比べて MP フィルム面からやや離れて空気が流れると推察され、高温の空気による水槽中の水への熱伝達が起こりにくくなる可能性が考えられる。

しかし、強風区や弱風区で熱伝達が多くなったとしても、水の蒸発が MP フィルムを通過することによって抑制されなければ、アスマン式通風乾湿計が示す乾球温度と湿球温度の差だけ水温が低下し、平衡に達すると考えられる。実験 1 での恒温室内の相対湿度（RH=46～57%）の範囲では、理論的には 6.5～8.5°C の温度低下があると考えられるが、実際には弱風区および強風区で 2°C 程度しか水温が低下しなかった。このことから、水蒸気が MP フィルムを通過する際の抵抗が、水温の低下に抑制的に作用していると考えられる。

これらのことから、MP フィルムを用いて潜熱により水温を効率よく低下させるためには、MP フィルムを通過することによる蒸発量の減少を考慮し、熱伝達による水温上昇を抑えられるように風速を制御する必要があると考えられた。

実験 2 ではいずれの湿度条件においても、処理開始から 5 時間後までの水温低下のうち、ほぼ 40% が 1 時間後までに、90% が 3 時間後までに起こっており、送風処理開始直後が水温の低下が著しかった（Fig. 3A）。高湿度下では処理開始 5 時間後以降は、送風処理により奪われる潜熱とダクト内の空気と水温との温度差による熱伝達の効果が平衡に達した結果、ほとんど水温が低下しなかったと推察される。

高湿度および低湿度条件で試験した場合には、恒温室内の空気中の飽差は 1.6 倍の差（高湿度下では 1.7 kPa、低湿度下では 2.7 kPa）があり、水温の低下量も 2 倍の違いがあった（Fig. 3）。このことから、低湿度下の方が送風処理による水温の低下に有効であると推察される。

2. 屋外環境における MP フィルム表面への送風処理が水温に及ぼす影響

屋外環境では、気温および飽差は昼と夜で比較的規則的に変化し（Fig. 5A, B）、MP フィルム表面への送風処理による冷却効果もこれらの環境要因による影響を受けると考えられる。

測定期間中、気温が 30°C 以上となった場合には飽差も大きくなる傾向がみられ、水温測定期間中の気温が 30°C 以上となった時点ではほとんどの場合 1.7 kPa 以上であった（Fig. 5）。このことから、屋外環境においても恒温室内で行った程度の水温低下は期待できると考えられる。

実験 3 において測定期間全体を通してみた場合には、送風区では他の 2 処理区より水温が低くなった（Fig. 4）。もし送風処理による水温低下が熱伝達の効果のみであれば、終日送風処理を行った 7 月播種では、平均気温と水温は同程度になると推察される。しかし、送風区では水温は気温より 3.0°C 低くなったのに対し、対照区と無風区の場合には 0.3°C 低いだけであった。このことから、送風処理による水耕液の冷却効果

には、MP フィルムを通して奪われる気化潜熱が明らかに関与していると考えられる。

潜熱による冷却効果は明らかであるが、送風処理による水温低下の効果は、1 日の範囲内でも変化した (Fig. 4)。飽差は 1 日の中で夜間に低くなり、昼は気温とともに上昇する性質がある (Fig. 5)。飽差が小さくなる夜間は気温と同程度までしか水温は低下しないが、昼間は飽差が大きくなり気温より水温が低い場合でも送風処理による冷却効果がみられた (Fig. 4, Fig. 5)。このことから、送風処理により、夜間には熱伝達の影響で、また昼間は潜熱の効果でそれぞれ水耕液が冷却されていると考えられた。

気温が急激に上昇する午前中は、送風区では他の処理区と比べて、ほとんど温度差がなくなる場合があった (Fig. 4)。こうした時間帯には、水耕液から奪われる潜熱よりも、MP フィルム表面での空気からの熱伝達による加熱の効果が大きくなった可能性が考えられる。

6 月播種では、送風処理停止時 (20 時) には水温が一時的に上昇し、送風開始直後 (4 時) に水温が急激に低下した (Fig. 4A)。このことから、MP フィルムへの送風時間や量を制御することで水温の低下量を制御できると考えられる。

3. MP フィルム表面への送風処理がホウレンソウの生育に及ぼす影響

6 月播種では、地上部 FW は処理区間に危険率 5% レベルで統計的な有意差はみられなかったが (Table 2)、送風区では大きくなる傾向がみられた。また、地下部 DW は送風区では無風区より大きくなる傾向がみられ、送風処理によって高温時のホウレンソウの生育が促進されたと考えられる (Table 2)。7 月播種についても処理区間に有意な差はみられなかったが、地上部 FW および地下部 DW は送風区で大きくなる傾向があった (Table 2)。

ホウレンソウをポット栽培した場合に、地温が 32.5°C で栽培した場合には 25°C 以下の場合に比べて生育が劣り、見かけの光合成速度も低くなることが報告されている (Noguchi et al., 1993)。また、高温期にホウレンソウを NFT 方式で栽培した場合には、水温を低く (20°C もしくは 15°C) 保つことで生育が促進されることが報告されている (Ueda et al., 1998)。本実験においても、水温の低下はホウレンソウの生育に促進的に作用したと考えられた。

本実験では水耕液の溶存酸素濃度は、処理区間に大

きな差がみられなかった (Fig. 6)。筆者らは、MP フィルムを水耕槽に利用した場合には、MP フィルムを通して水耕液へ酸素が供給されることを報告した (Yasuba et al., 2003)。したがって、溶存酸素濃度が同程度であったとしても、無風区および送風区では対照区よりも、MP フィルムを通した酸素供給があるため、根に供給された酸素量は多くなる可能性がある。

送風区では、地下部 DW が他区よりも高くなる傾向があること (Table 2)、水耕液の溶存酸素濃度は対照区と同程度で推移していること (Fig. 6)、送風処理により MP フィルム上に酸素が供給されるため、無風区より水耕液に酸素が溶け込みやすくなると推察されることなどから、MP フィルムを通した酸素供給がホウレンソウの生育促進に作用した可能性も考えられる。

無風区においても対照区より酸素供給量が多くなると推察されるが、地上部 FW および地下部 DW は対照区との間に有意な差がみられなかった (Table 2)。

本実験では、全処理区でパブリングを行っており、MP フィルムからの酸素供給が生育に及ぼす影響は小さいものと考えられるが、今後、送風処理を行った場合に、MP フィルムを通した水耕液への酸素供給がホウレンソウの生育に及ぼす効果についてはさらに検討する必要がある。

以上より、MP フィルムを水耕槽に用い、MP フィルム表面に送風し、その風速の制御によって、水温を制御することで、高温期にホウレンソウの生育を促進する効果があることが明らかとなった。ただし、本実験は、反復数を重視するために小規模な水耕槽において試験を行っており、今後この温度制御法の実用化に当たっては、大面積で栽培を行った場合の送風方法について調査を行う必要がある。

文 献

- Doi, M., Cheng, Z., Saito, K., Sumitomo, E., Inamoto K., Imanishi, H. 1999. Improving the yield and cut flower quality of autumn flowering *Alstroemeria* by a soil cooling system. (Japanese text with English summary) J. Jpn. Soc. Hortic. Sci. **68**: 160-167.
- Hayashi, H., Yamao, M., Tsumura, T. 1999. Studies on flower-bud differentiation of cooling soil temperature in satsuma mandarin in a plastic house. (Japanese text) Bull. Tokushima Hort. Exp. Sta. **27**: 19-30.
- Kubota, H., Suzuki, K., Watanuki, T. 2002. Thermo- and Aerial-Dynamics of Spacecraft (宇宙飛行体の熱気体力学). (Japanese text) University of Tokyo Press, Tokyo, p 136-141.
- Noguchi, M., Iwanami, H., Inoue, S. 1993. Effects of high temperature on growth and physiological characters of spinach. (Japanese text) J. Jpn. Soc. Hortic. Sci. **62**: 294-295 (suppl. 2).

- Tachibana, S. 1986. The relationship between environmental condition and root function (養液栽培における環境要因と根の機能). (Japanese text) *Agric. Hort.* **61** : 223-228.
- Thompson, H. C., Langhans, R. W., Both, A. J., Albright, L. D. 1998. Shoot and root temperature effects on lettuce growth in a floating hydroponic system. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* **123** : 361-364.
- Ueda, Y., Ikeda, H., Imahori, Y. 1998. Quality and storability of growth on a solution culture (NFT) in summer and winter. (Japanese text with English summary) *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.* **67** : 446-452.
- Yabuki, M., Miyagawa, H., Ishibashi, J. 1970. Studies on the effect of wind speed upon the photosynthesis (1) Boundary layer near leaf surface. (Japanese text with English summary) *J. Agric. Meteorol.* **26** : 65-70.
- Yasuba, K., Yashiro, M., Matsuo, K. 2003. Effect of microporous film on dissolved oxygen and temperature of nutrient solution in hydroponics. (Japanese text with English summary) *Environ. Control in Biol.* **41** : 171-178.