施設栽培における人間の温熱快適性と作物生産性

——夏期における減光・降温環境の解析——

石井雅久¹・丸尾 達*・伊東 正*

佐瀬勸紀**・奥島里美**

日本学術振興会特別研究員・*千葉大学園芸学部・**農業工学研究所

¹現在：農業工学研究所

Human Thermal Comfort and Plant Productivity in Protected Horticulture

——Environmental Analysis of Decrease Light Intensity and Temperature in the Summer——

Masahisa ISHII,¹ Toru MARUO,* Tadashi ITO,*

Sadanori SASE** and Rimi OKUSHIMA**

Research Fellow of the Japan Society for the Promotion of Science

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

*** National Research Institute of Agricultural Engineering, Tsukuba 305-8609, Japan*

¹ Present address : National Research Institute of Agricultural Engineering, Tsukuba 305-8609, Japan

(Received April 28, 2000)

This paper investigates the improvement of human thermal comfort while working in protected horticulture. Shading materials are used in order to decrease light intensity and air temperature in greenhouses in summer. Lettuce (*Lactuca sativa* L.) plants were grown under two environmental conditions: clear (high light intensity and high temperature) and under shading (low light intensity and low temperature) together with four human working patterns; whole day clear (control), AM shading (morning work), midday shading (midday work) and PM shading (afternoon work). Plants that were grown under control and midday work conditions had increased numbers of leaves, dry weight, chlorophyll content and photosynthetic activity, as compared to those grown under morning and afternoon work conditions. There was an inferior thermal environment and poorer crop qualities were observed in the plants grown under the control condition. The present experiment suggests that midday work may be a suitable working time for lettuce production in shaded greenhouses during summer.

Keywords: lettuce production, photosynthesis, shading greenhouses, thermal environment, work conditions

2000年4月28日受付

緒 言

これまでの施設栽培環境は、作物生産に対する最適性や経済性が優先されてきた反面、農作業者に対する

労働環境面への配慮は欠けていた。外部環境の変化に対して適応性の小さい小規模施設では、“ハウス病”(Itagi, 1986)と呼ばれる複合的な健康障害が発生している。とくに、施設内気象環境が影響する“ハウス病症候群”の原因に、高温期は高温による熱中症状、低

Corresponding author: Masahisa Ishii, fax: +81-298-38-7609, e-mail: masaisii@nkk.affrc.go.jp

温期は極端な温度変化による体温調節機能の失調がある (Kobori, 1976)。また、健康障害に至らないまでも、作業内容・環境の違いから、施設野菜経営に勤めるパートタイム労働者の満足度は、切花・鉢物経営と比べて低いという報告もある (Fujimoto et al., 1995)。近年は施設経営農家の高齢化や後継者不足が問題となる一方で、施設規模を拡大する農家が増えている。このような情勢のなかで、施設園芸を持続するためには、家族経営から雇用中心の経営に転換するとともに、女性・高齢労働者が安全かつ快適に作業できる施設栽培環境を創出することが重要となる。

一方、園芸施設の効率的利用を考え、夏期の高温抑制技術が注目されている。簡易な高温抑制技術には、自然・強制換気、細霧冷房、パッド&ファン、遮光カーテンなどがある (Kojima et al., 1977)。これらのなかで遮光カーテンは、施設内の温熱環境に多大な影響を及ぼす直達日射の制御が可能で、遮光時間帯に労働を行えば、農作業者の温熱負荷や女性が懸念する日焼けを軽減できる。しかし、過度な遮光は作物の生育や品質を低下させるため、作物生産性と労働快適性という二律背反の要素を、両立できる遮光技術を開発する必要がある。

そこで本報では、グロースチャンバーを用いて夏期の強光・高温環境を再現し、作業時間帯を異にする減光・降温管理がサラダナ (*Lactuca sativa* L.) の生育や品質、光合成などに与える影響を調査した。また、

温熱環境の代表的指標を用いて、本報の栽培環境を評価した。これにより、園芸施設でカーテン装置を用いた場合の、減光・降温効果を推定した。

材料および方法

1. 環境諸元および処理区の概要

グロースチャンバーを4基用い、環境諸元をTable 1に、処理区の概要をFig. 1に示した。処理区の構成は、1日を通して全光時間帯の対照区 (Cont.) と、減光する時間帯を作業時間と仮定し、午前に減光を行う午前作業区 (AM)、明期時間帯の中央に減光を行う日中作業区 (Midday)、午後に減光を行う午後作業区 (PM) を設け、計4区とした。光強度は、Ito (1989) が求めたサラダナの実用的光合成有効光量子束 ($280 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) を減光時間帯とし、全光時間帯は同報告の最強光条件 ($420 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) とした。また、全光・減光時間帯の温度は、1997年7月18日 (晴れ) に実測したプラスチック温室2棟 (無遮光、50%遮光) の平均気温から、全光時間帯 [27°C]、減光時間帯 [24°C] とした。

グロースチャンバーは、光強度、明・暗期温度、相対湿度、CO₂ 濃度について、それぞれの独立制御が可能である。グロースチャンバーは2100 (高さ) × 900 (幅) × 900 (奥行き) mmで、光源は青色域の演色性を高めた、高圧ナトリウムランプ (IAN661, 日本電池 (株) 製) を用いた。

Table 1 Environmental factors.

Factors (Expts. 1, 2)	Propagation room	Experimental plot (growth room)			
		Control	Morning work	Midday work	Afternoon work
		Cont. ^z	AM	Midday	PM
Light source	HPSL ^y				
Photoperiod (h d ⁻¹)	12				
PPF ^x ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	180	420	280-420	420-280-420	420-280
Solar radiation (W m^{-2})	70	160	110-160	160-110-160	160-110
Room temp.					
Light (°C)	24	27	24-27	27-24-27	27-24
Dark (°C)	20			20	
Relative humidity (light/dark (%))	70 / 95			70 / 95	
CO ₂ conc. (ppm)	400			400	
Nutrient solution					
EC (dS m ⁻¹)	1.7			1.7	
pH	6.5			6.5	

^z Experimental code.

^y High pressure sodium lamp.

^x Photosynthetic photon flux.

Fig. 1 Experimental treatment.

2. サラダナの栽培管理

本研究は、定植期から処理を行った実験1と、育苗初期から処理を行った実験2からなる。

2.1 実験1

供試したサラダナは、作型が春から夏まきに適する耐暑性品種‘L-2’((株)みかど育種農場)を用いた。播種後4週間水耕育苗し、生体重約10g、葉数12~13枚に生長した苗をグロースチャンバー内の湛液水耕装置に、栽植距離200×80mmの千鳥植えで定植した。育苗と栽培の培養液には、千葉大サラダナ処方の基肥を用いた(Ishii et al., 1995)。定植後8, 16日目に各区6株について、生体重、乾物重、葉面積、葉色、チップバーンの発生程度を調査した。葉面積は、葉面を画像入力システム(GT-20, セイコーエプソン(株)製)で認識した後、パーソナルコンピュータ(VM9801, 日本電気(株)製)で演算処理を行い、算出した。測定誤差は±2%以下であった。葉色は葉緑素計(SPAD-502, ミノルタ(株)製)を用いて測定した。チップバーンの発生程度は、目視による5段階評価を行い、0はチップバーンの発生がみられず、1は軽微、4は発生が甚大であることを示している。

2.2 実験2

播種後2週間水耕育苗したのち、生体重約0.3g、葉数3~4枚の幼苗を栽植距離25×45mm千鳥植えで移植し、処理を開始した。処理後8日目に実験1で用いた水耕装置に栽植距離100×80mmで定植し、16日目には株間を広げ、栽植距離200×80mmの千鳥植えと

した。生育は処理後8, 16, 24日目に、各区6株を調査した。

3. 光合成の測定(実験1)

3.1 光合成速度の経時的変化(個体)

定植後8, 16日目に、各処理区のグロースチャンバー内で生育しているときと同じ条件の同化箱で、光合成速度を経時的に測定した。すなわち、同化箱内の光強度および気温は、全光時間帯は光強度420 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、気温27°Cとし、減光時間帯は280 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、24°Cとした。同化箱は内径500×500×500mmの亚克力製を用い、内部温度は空調機で調節した。光源は高圧ナトリウムランプ単用とし、光強度は光源の高さを変えて調節した。毎分15Lの割合で同化箱内へ外気を導入し、外気と同化箱内のCO₂濃度差を赤外線CO₂分析計(ZRH, 富士電機(株)製)2台を用いて測定した。同化箱には空間的な制限があるため、測定には個体重が平均値に近い1株を用いた。

3.2 光合成・蒸散速度の経時的変化(最大葉)

定植後15日目に、携帯用光合成・蒸散速度測定装置(KIP-8510型 Ver.2, 小糸製作所(株)製)の測定ヘッドを各区のグロースチャンバー内に挿入し、生育状態にあるサラダナの光合成速度、蒸散速度を経時的に測定した。測定部位は最大葉付近の葉身部とし、ランプ点灯後2.5時間以降、3時間ごとに計4回測定した。

4. 温熱環境指標による栽培環境の評価

4.1 新有効温度

新有効温度(New Effective Temperature: ET*)は、

温熱環境における人体の体温調節システムをモデル化し、策定されたもので、単位は°Cである。新有効温度は、アメリカ暖房冷凍空調学会（American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers: ASHRAE）（1972）の新有効温度線図（Fig. 2）より、室温（作用温度）（①）と室内相対湿度（②）が

Fig. 2 ASHRAE new effective temperature (ET*).

交差する等 ET* 線（③）上の相対湿度 50%との交点から垂下した室温（④）より求めることができる。また、本報の気流は静穏気流（0.2 m s⁻¹ 以下）であるため、作用温度＝黒球温度とした。

4.2 湿球黒球温度

湿球黒球温度（Wet Bulb Globe Temperature: WBGT）は、暑熱環境での熱ストレスを評価する指数として策定されたもので、高温職場の許容基準、スポーツ時の暑熱障害の予防指標として広く用いられている。湿球黒球の単位は°Cであり、国際標準化機構（International Organization for Standardization: ISO）（1989）Index 7243 より、次式で求めた。

$$\text{WBGT} = 0.7 \times t_w + 0.2 \times t_g + 0.1 \times t_a \quad (\text{屋外}) \quad (1)$$

t_w : 湿球温度, t_g : 黒球温度, t_a : 乾球温度。

本報の湿球黒球温度は WBGT 測定装置（WBGT-101, 京都電子工業（株）製）を用いて測定した。

結 果

1. サラダナの生育

1.1 実験 1

収穫時の葉数は、Cont.区と比べ、減光を行ったすべての処理区で有意に減少したが、葉の生体重に有意な差はなかった。また、葉の乾物重、乾物率、葉色は、Cont.区と比べ、AM 区、PM 区が有意に減少したが、Midday 区には有意差が認められなかった。投影葉面積は、午前減光時間帯があった AM 区、Midday 区が、Cont.区よりも有意に増加した。チップバーンの発生程度は、Cont.区と比べ、減光を行ったすべての処理区で有意に減少した（Table 2）。

Table 2 Effects of decrease light intensity and temperature on the growth of lettuce plants on the 16th day after planting^z (Expt. 1)

Experimental plot	Number of leaves	Leaf fresh weight (g)	Leaf dry weight (g)	Percentage of dry matter(%)	Projected plant area ^x (m ²)	Total leaf area ^w (m ²)	Relative chlorophyll content ^v	Incidence of tip burn
Cont.	38.3 a ^y	91.3 a	5.22 a	5.7 a	0.031 c	0.156 ab	47.7 a	4.0 a
AM	34.5 b	90.7 a	4.45 b	4.9 b	0.037 ab	0.167 a	42.9 b	1.0 b
Midday	36.2 b	100.5 a	5.31 a	5.3 ab	0.038 a	0.170 a	45.0 ab	1.5 b
PM	34.2 b	94.0 a	4.67 b	5.0 b	0.033 bc	0.148 b	43.1 b	1.0 b

^z Mean of 6 plants.

^y Means within a column without a common letter are significantly different at the 5% level.

^x Projected leaf area (attached leaves).

^w Total leaf area (detached leaves).

^v Values measured by Minolta Chlorophyll meter, SPAD-502.

^u Incidence of tip burn: 4 (severe) to 1 (light) and 0 (no symptom).

生長解析により評価すると、午後に減光時間帯があった、Midday 区および PM 区の相対生長率、純同化率、葉面積比は、栽培期間を通じ、Cont. 区に近い値を示した。また、午前に減光時間帯があった AM 区の葉面積比は、栽培期間を通じ、他区より高かった (Table 3)。

1.2 実験 2

収穫時の葉の生体重および乾物重は、Cont. 区と比べ、減光を行ったすべての処理区で減少したが、処理区のなかでは、AM 区の生体重が Midday 区より有意に減少した。一方、葉数、乾物率、投影株面積、葉色などの品質を構成する項目には、Cont. 区と減光を行った処理区との間に有意な差は認められなかった。チップバーンは Cont. 区のみ発生し、その発生程度は実験 1 と比較して非常に少なかった (Table 4)。

Table 3 Effects of light intensity and temperature on the relative growth rate (RGR), net assimilation rate (NAR) and leaf area ratio (LAR) in lettuce plants² (Expt. 1).

Days after planting	Experimental plot	RGR (g g ⁻¹ d ⁻¹)	NAR (g m ⁻² d ⁻¹)	LAR (m ⁻² g ⁻¹)
1 to 8	Cont.	0.18	4.23	0.043
	AM	0.16	3.50	0.046
	Midday	0.17	3.97	0.043
	PM	0.18	4.31	0.041
9 to 16	Cont.	0.12	3.41	0.034
	AM	0.11	2.82	0.041
	Midday	0.13	3.73	0.035
	PM	0.11	3.11	0.034

² Mean of 6 plants.

Table 4 Effects of decrease light intensity and temperature on the growth of lettuce plants on the 24th day after treatment² (Expt. 2).

Experimental plot	Number of leaves	Leaf fresh weight (g)	Leaf dry weight (g)	Percentage of dry matter (%)	Projected plant area ^x (m ²)	Total leaf area ^w (m ²)	Relative chlorophyll content ^v	Incidence of tip burn ^u
Cont.	53.0 ab ^y	90.3 a	4.03 a	4.5 a	0.034 a	0.164 a	37.4 a	0.5 a
AM	46.2 b	68.5 c	3.27 b	4.8 a	0.034 a	0.162 a	34.4 b	0.0 b
Midday	54.8 a	74.7 b	3.39 b	4.5 a	0.034 a	0.158 a	35.9 ab	0.0 b
PM	46.2 b	69.6 c	3.14 b	4.5 a	0.032 a	0.156 a	35.2 ab	0.0 b

² Mean of 6 plants.

^y Means within a column without a common letter are significantly different at the 5% level.

^x Projected leaf area (attached leaves).

^w Total leaf area (detached leaves).

^v Values measured by Minolta Chlorophyll meter, SPAD-502.

^u Incidence of tip burn: 4 (severe) to 1 (light) and 0 (no symptom).

生長解析により評価すると、処理後 8 日目までは実験 1 と同様に、Midday 区の相対生長率、純同化率は、Cont. 区に近い値を示したが、以降では Cont. 区と減光を行った処理区との差が少なくなった。葉面積比は栽培期間を通じて、減光を行った処理区が Cont. 区より高くなったが、Midday 区は Cont. 区と AM 区、PM 区の中央付近の値を示した (データ省略)。

2. 光合成の測定 (実験 1)

2.1 光合成速度の経時的変化 (個体)

2.1.1 単位面積あたりの光合成速度

定植後 8 日目の Cont. 区の光合成速度は明期を通じ、他区の全光時間帯のピークに近い値を維持した。しかし、16 日目になると Cont. 区の光合成速度は、他区の減光時間帯に近い値まで低下するとともに、ランプ点灯後 3~4 時間をピークに、さらに低下した。一方、両調査日とも、AM 区は減光時間帯から全光時間帯へ移行後に、光合成速度が定常値まで増加するのに約 1.5 時間を要したが、PM 区は減光時間帯へ移行後の低下が少なく、約 3 時間かけて定常値に達した。Midday 区は減光時間帯へ移行後の光合成速度の低下が少なく、再び全光時間帯へ移行した後は速やかに増加した (Fig. 3, A, B-1)。

2.1.2 株あたりの光合成速度

定植後 16 日目の株あたりの光合成速度は、単位面積あたりの光合成速度と比べ、午前中に全光時間帯があった Cont. 区および PM 区が相対的に減少した。とくに、Cont. 区の光合成速度の低下が著しく、減光時間帯の Midday 区、AM 区と同様に推移した (Fig. 3, B-2)。

Fig. 3 Photosynthetic rate (Pr) was measured on the 8th day (A) and 16th day (B) after planting (Expt. 1).

A and B-1: Pr per unit leaf area (m²), B-2: Pr per plant.

2.2 光合成・蒸散速度の経時的変化 (最大葉)

各区の光合成速度は、全光時間帯が2.5時間経過したときに最大値を示し、それ以上の継続は光合成速度を低下させた。また、蒸散速度は光合成速度と比べてタイムラグがあり、各区とも全光時間帯が5.5時間経過したときに最大値を示した。とくに、明期を通して全光時間帯が継続する Cont.区は、長時間にわたり蒸散速度が高く推移した。一方、Midday 区は全光時間帯が3時間以上継続しない処理区区であるが、他区のように蒸散速度が過度に増加する前に、減光時間帯へ移行していた (Fig. 4)。

3. 温熱環境指標による栽培環境の評価

3.1 新有効温度

本報の黒球温度 (t_g) と相対湿度 (RH) は、全光時間帯 (t_g : 32.5°C, RH: 70%), 減光時間帯 (t_g : 27.5°C, RH: 70%) であった。これらの実測値をもとに新有効

Fig. 4 Photosynthetic rate (Pr) and transpiration rate (Tr) were measured on the 15th day after planting (Expt. 1).

Vertical bars are $\pm$ SE of the mean from 5 plants.

温度線図 (Fig. 2) から新有効温度を求めると、全光時間帯 (35.2°C), 減光時間帯 (28.8°C) となった。

3.2 湿球黒球温度

本報の湿球温度 (t_w), 黒球温度 (t_g), 乾球温度 (t_a) は、全光時間帯 [t_w : 25.8, t_g : 32.5, t_a : 27.1°C], 減光時間帯 [t_w : 21.0, t_g : 27.5, t_a : 24.0°C] であった。これらの実測値をもとに式 (1) より湿球黒球温度を求めると、全光時間帯 [27.3°C], 減光時間帯 [22.6°C] となった。

考 察

アメリカ暖房冷凍空調学会では、新有効温度の快適範囲を 22.2~26.7°C と定めている。しかし、新有効温度が 35°C を超えると非常に不快な温熱域に入り、人間の生理面では激しい発汗、血流による圧迫感が増加し、健康面でもヒートショックなどの危険が増加する (ASHRAE, 1972)。また、日本体育協会では、湿球黒球温度が 25~28°C の範囲に入ると熱中病発生の危険

率が高まるため、運動には警戒を要する温度域と定めている (JASA, 1999)。これらのことから、本報の全光時間帯 (ET*: 35.2°C, WBGT: 27.3°C) は、人間にとって不快で危険な作業環境であったのに対し、減光時間帯 (ET*: 28.8°C, WBGT: 22.6°C) は、やや不快な温度域であるが、安全な作業環境まで改善できたといえた。

植物生態面で見ると、全光時間帯の栽培環境はサラダナの好適光強度および生育適温を超えていたが、実験1と2ではCont.区の生育に対する反応が異なった。実験1では、全光時間帯が継続するCont.区と減光時間帯を設けたMidday区の乾物重に有意差がみられず、チップバーンが多発した。しかし、実験2では、Cont.区の生育は他区より促進されるとともに、チップバーンの発生はきわめて少なかった。

チップバーンは、環境条件 (Son and Takakura, 1989; Ishii et al., 1995)、生長速度 (Cox et al., 1976; Maruo, 1986)、同化産物の蓄積 (Tibbitts and Read, 1976)、葉辺細胞のCa欠乏 (Barta and Tibbitts, 1991) などの影響によって発生しやすくなる。Iwama and Motai (1954) は、若齢期のレタスは高温や病害に鈍感であるが、結球期が高温であると尻腐れ病やチップバーンが発生しやすくなることを報告している。本報の場合、育苗期に処理を始めた実験2では、Cont.区のサラダナは生長速度が緩慢であるため強光・高温環境に馴化できたが、定植期に処理を始めた実験1では、生長速度が急なため馴化しにくかったと推測される。また、Cont.区の蒸散速度は明期を通じ高く推移したが、蒸散流と関わりが強く、体内移動速度の遅いCaが異常な蒸散によって葉の葉縁付近で欠乏したため、チップバーンが多発したと推察された。

一方、Cont.区のサラダナは、強光・高温ストレスによる同化産物の転流障害が起きていたと考えられる。Ito (1971) は、トマト苗を用いて日中の光合成速度低下要因を調査した結果、葉内水分含量の低下と澱粉の蓄積が関与していることを究明した。また、Toki (1971) は、メロン葉内に澱粉が蓄積する時間に合わせて光中断を行った結果、光中断は果重や糖度を高めることを示している。本報でも実験1のCont.区は、定植後16日目の光合成速度が他区の減光時間帯に近い値まで低下するとともに、乾物率が著しく増加していた。したがって、葉内水分含量の低下とチップバーン発生に伴うSource葉の減少が同化産物の転流障害を起こし、Cont.区の生育や光合成活性を抑制させたと推察さ

れた。逆にMidday区は、全光時間帯に蓄積したSink葉の同化産物を減光時間帯に効率よくSource葉へ転流させ、再び全光時間帯に光合成活性を高めることができたため、生育を促進できたと考えられる。また、光合成速度と蒸散速度の時刻別対応にはヒステレシス現象があり、同じ蒸散速度でも午前の光合成速度が午後より高くなると報告されている (Kamota et al., 1974)。本報でも光合成速度と蒸散速度のピークにタイムラグが存在していたが、Midday区は全光時間帯で過蒸散になる前に減光時間帯へ移行したため光合成効率が大きく、減光の影響が少なかったと推察された。さらに、施設経営農家および雇用者の立場からみても、Midday区のように日中に遮光を行って作業時間帯を設けることは、雇用環境の改善につながり、女性労働者が家事・育児を両立させながら、かつ、快適に働ける労働環境を創出できる。

以上の結果から、強光度下で光合成活性を高めた後に、遮光カーテンを閉じることは、サラダナの生育や品質への影響が少なく、作物生産性と労働快適性が両立した施設栽培環境を創出できる可能性が示唆された。しかし、本報で用いた温熱環境指標 (新有効温度: ET*, 湿球黒球温度: WBGT) は、施設栽培環境を評価するために策定されたものではない。今後は園芸施設の温熱環境についてさらに検討を進め、人間に対する快適性と作物生産に対する最適性が調和した、新たな温熱環境指標を策定し、環境制御へ反映する必要があると考えられた。

文 献

- ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) 1972. ASHRAE Handbook of Fundamentals. ASHRAE, New York, p 136-145.
- Barta, D. J., Tibbitts, T. W. 1991. Calcium localization in lettuce leaves with and without tipburn: Comparison of controlled-environment and field-grown plants. J. Am. Soc. Hortic. Sci. **116**: 870-875.
- Cox, E. F., McKee, J. M. T., Dearmann, A. S. 1976. The effect of growth rate on tipburn occurrence in lettuce. J. Hortic. Sci. **51**: 297-309.
- Fujimoto, T., Takagi, K., Tada, K. 1995. A study on utilization of part-time laborer in green house farming —Findings in the suburban agricultural district in Nara Prefecture—. (Japanese text with English summary) Bull. Nara. Agric. Exp. Stn. **26**: 1-6.
- Ishii, M., Ito, T., Maruo, T., Suzuki, K., Matsuo, K. 1995. Growth and physiology of lettuce plants grown under artificial light of high intensity in short-day regime. (Japanese text with English summary) Environ. Control in Biol. **33**: 103-111.
- ISO (International Organization for Standardization). 1989. ISO

- 7243, Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature).
- Itagi, T. 1986. Production and trend of vegetable growing under protected cultivation. (Japanese text) *Farm Work Res.* **56** : 23-31.
- Ito, T. 1971. Photosynthetic activity of vegetable plants its horticultural significance II. The time course of photosynthesis in the tomato plant as influenced by some external factors, especially by water and starch contents in the leaf. (Japanese text with English summary) *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.* **40** : 41-47.
- Ito, T. 1989. More intensive production of lettuce under artificially controlled conditions. *Acta Hortic.* **260** : 381-389.
- Iwama, S., Motai, M. 1954. Ecological studies of vegetables in the regions of different altitudes. 7. Ecological behaviors lettuce in hot season. (Japanese text with English summary) *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.* **22** : 203-216.
- JASA (Japan Amateur Sports Association). 1999. The motion guideline of prevent for the heat stroke.
- Kamota, F., Ban, Y., Shimura, K. 1974. Studies on photosynthesis and transpiration of vegetable crops I. Differential response to soil moisture in photosynthesis and transpiration among crops. (Japanese text with English summary) *Bull. Natl. Res. Inst. Veg. Jpn., Ser. A No.1* : 109-139.
- Kobori, O. 1976. On environmental factors in works under structures. (Japanese text) *Farm Work Res.* **26** : 57-62.
- Kojima, T., Kondo, H., Shozaki, T., Yanagawa, M., Tanaka, E., Fujiki, T., Matsuo, T. 1977. Control methods of excessive temperature in greenhouse in summer (I). (Japanese text with English summary) *J. JASJ* **8** : 13-20.
- Maruo, T. 1986. Studies on the tipburn injury of lettuce plants (I). According to the leaf place in calcium nutrition. (Japanese text) *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.* **61**(extra 2) : 294-295.
- Son, E., Takakura, T. 1989. Effect of EC of nutrient solution and light condition on transpiration and tipburn injury of lettuce in a plant factory. (Japanese text with English summary) *J. Agric. Meteorol.* **44** : 253-258.
- Tibbitts, T. W., Read, M. 1976. Rate of metabolite accumulation into latex of lettuce and proposed association with tipburn injury. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* **101** : 406-409.
- Toki, T. 1971. Physiological studies on optimal environment in growing of vegetable crops under the grass- and plastic-houses. II. Growth effect of melon and watermelon plants under the daytime light break. (Japanese text) *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.* **40** (extra 2) : 138-139.