ロックウールプラントによるナスの長期栽培(1)

根域温度制御が生育・収量に及ぼす影響

誌名	愛知県農業総合試験場研究報告 = Research bulletin of the Aichi-ken Agricultural Research Center
ISSN	03887995
著者名	番,喜宏 林,悟朗 青柳,光昭 柳原,等
発行元	愛知県農業総合試験場
巻/号	24号
巻号補足	
掲載ページ	p. 123-129
発行年月	1992年10月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

AgriKnowledge

愛知農総試研報24:123～129(1992)
Res. Bull. Aichi Agric. Res. Ctr. 24 : 123～129(1992)

ロックウールプラントによるナスの長期栽培（第1報）

根域温度制御が生育・収量に及ぼす影響

番　喜宏*・林　悟朗*・青柳光昭*・柳原　等**

摘要：ロックウールプラントによるナスの長期栽培の安定化を目的とし、根域の冷却・加温が生育及び収量に与える影響並びに根域温度制御資材の選定について検討した。

水道管、電線被覆管、マット状熱交換器の3種類の熱交換資材を供試し、夏期におけるロックウールスラブ（以下スラブ）の冷却効果を調べた。冷却した区の生育、収量は無冷却区より優れる傾向があったが、栽培期間が短いために各資材間の優劣を判断できなかった。放熱係数は電線被覆管が優れた。

長期栽培におけるスラブ温度の制御効果を検討するため、スラブの冷却（夏）及び加温（冬）を実施した。設定温度の組み合わせは25℃－25℃、25℃－20℃及び29℃－20℃で、8月から翌年5月までの栽培を行った。冷却・加温用循環水の水温は各区共通（夏18℃、冬30℃）とした。冷却及び加温を実施した全区のスラブ平均温度は、設定温度にかかわらず、夏冬とも約25℃となり、夏29℃区及び冬20℃区は、スラブ温度の変動幅が大きかった。根域の加温によって冬期（11月～3月）収量は対照区より増収となり、収量の落ち込みを軽減する効果が認められたが、温度変動が大きいと総収量はむしろ減少傾向となる。夏期無冷却の対照区においても、高温による顕著な生育障害は見られなかったことから、ロックウール栽培における夏期の根域冷却処理の有効性は低いと考える。

キーワード：ナス、ロックウールプラント、長期栽培、根域温度、熱交換装置

Rockwool System of Eggplant for Long-term Culture I

Effect of controlling mat temperature on growth and yield

Yoshihiro BAN, Goro HAYASHI, Mitsuaki AOYAGI
and Hitoshi YANAGIHARA

Abstract: In order to improve rockwool system of eggplant for long-term culture, the heat exchange property of some equipments and the effect of root-zone cooling and warming on growth and yield were investigated.

Three kinds of equipment: water-supply tube, conduct tube and mat-shaped equipment, were used for mat cooling. When the mat was cooled, growth and yield were better than not-cooled control. But most effective equipment for mat cooling could not be decided because cultivation period was too short. So, for following experiments, conduct tube that have highest thermal diffusivity was used.

We tried long-term cultivation with three pairs of set temperatures for cooling in summer and warming in winter: 25℃－25℃, 25℃－20℃, 29℃－20℃. Because the circulating water for mat cooling and warming was regulated by a single pair of temperatures (18℃ in summer, 30℃ in winter), the average mat temperatures of all the treatments were 25℃, and mat temperatures of treatment 29℃ in summer and 20℃ in winter were changed widely. Mat cooling and warming treatment made the yield increase more than control in winter. However, when there was rapid and wide change of mat temperature, the total yield was reduced.

For there was no damage due to high temperature on uncooled plants in summer and the effect of regulating root temperature appeared only in winter, the value of mat cooling is considered to be less.

Key Words: Eggplant, Aubergine, *Solanum melongena* L., Rockwool, Long-term culture, Root-zone temperature, Heat exchange equipment

＊園芸研究所　＊＊中部電力㈱技術開発本部

(1992. 7.3受理)

緒　　言

養液栽培には、栽培ベッドの消毒等の施設整備を土耕に比べて簡単かつ省力的に行う事ができ、作付けまでの準備時間を大幅に短縮できるという利点がある。近年トマト栽培では、比較的安い設備費で導入できる掛け流し方式のロックウールプラントによる周年栽培が広く普及してきた。ナスではＮＦＴ方式による周年栽培の研究成果があるが[1,4]、より設備費の安いロックウールプラントによる安定的な長期栽培の技術が確立されれば普及するものと考える。

ロックウールプラントによる栽培では、根域温度が冬期低温の影響を受けやすいことから、これまで根域加温の効果について数多く検討されてきた。その結果、例えば冬期に室温を17～18℃で管理しているヨーロッパでのトマト栽培では、ロックウールスラブ（以下スラブ）温度は冬期26℃以上に上げなければ加温の効果は現れず[7]、実用上ベッドの直接加温は必要ないと報告されている[2]。しかし他の報告では、水耕栽培のトマトは培養液の加温による増収効果が顕著であるため、室の暖房温度を下げることによる省エネルギー効果が指摘され[3,9]、またバラのロックウール栽培では、根域のみを冬期25℃に加温した方が室温のみを18℃に暖房するよりも多収になるという報告がある[5]。

一方ロックウールプラントの夏期の根域冷却効果を調べた例は見あたらないが、筆者らは、ＮＦＴ方式によるナス栽培試験の成果として、夏期には培養液温の上昇によって根の褐変及び茎葉のしおれ等の障害が現れ、培養液の冷却なしでは栽培が不可能であり[4]、また、培養液の夏期冷却と冬期加温を組み合わせることによって総収量が増す事を報告している[1]。以上のような知見の下に、ロックウールプラントによるナス栽培の安定を目的として以下の試験を行った。

第一に、冷温水循環により効率的に根域の冷却及び加温を行うため、水道管、電線被覆管及びマット状熱交換器の３種類の資材について、その熱交換特性と根域冷却の効果を検討した。第二に、スラブの冷却及び加温が長期栽培における生育及び収量に及ぼす影響を検討した。

材料及び方法

試験１．熱交換資材の検討

1989年７月から10月にかけて144㎡硬質ビニルハウスにおいて実施した。水道管（塩化ビニル製）、電線被覆管（ポリエチレン製）及びマット状熱交換器（ゴム製）を用いた３種類の熱交換装置を第１図のように設置した。水道管は内径20㎜のものを２列設置した。電線被覆管は電気配線の保護に用いられるＣＤ管（未来工業製ＭＦＣＤ－１４）で、耐加重性を高め、より均一な温度制御をねらって６列設置した。マット状熱交換器（特注品）は幅20㎝のマットの中に２本の流水部分を成型したものを１枚設置した。対照として、水道管を設置し冷水の循環は行わない無冷却区を設けた。

根域の冷却は、ベッド中央部に設置したサーモスタットが25℃を感知した時に、14～16℃の冷水を毎分20ℓ熱交換装置に循環させて行った。遮熱のためにベッド上にアルミ蒸着フィルムの覆いをかけ、また地温の影響を小さくするため、ベッドと地面との間に２㎝厚の発泡スチロールを敷いた。スラブ温度は、スラブ上部から２㎝及び７㎝の深さで各２カ所づつ計４点について、１時間毎に測定した（第２図）。

供試したナス品種は、穂木として千両（タキイ種苗）、台木には、青枯れ病に抵抗性を持ち草勢を維持しやすい[4]トルバム・ビガーを用いた。台木は本葉２～３葉でロックウールキューブ（75×75×75㎜）に鉢上げし、穂木の本葉３～４葉時に割接ぎを行った。第１花の開花時期にベッド間隔（うね間）を200㎝に設定したロックウールベッド（スラブ幅30㎝、厚7.5㎝、南北方向）に株間40㎝で定植した。は種日、接ぎ木日及び定植日を第１表に示した。区制は１区５株、２反復とした。

株の仕立ては、主枝（第１主枝）と第１花直下の側枝（第２主枝）を伸長させる、東西ふりわけのＶ字型２本仕立てとした。各主枝は地上高約160㎝で摘心した。結果枝には１果着果させ、その上位１葉を残して摘心し、収穫と同時に１～２芽を残して切り戻す剪定管理を行った。栽培はベッドの最低温度が20℃となった10月上旬まで続けた。

培養液処方は、台木品種トルバムの吸肥特性から[8]、園試処方[10]を基本にマグネシウムを1.5倍増量した処方[1]とした。培養液濃度は定植時から８月まではＥＣ1.2ms／㎝とし、以降漸増して10月にはＥＣ2.0ms／㎝とした。培養液は、スラブ上に配置したかん水チューブ（エバフローＳ）を用いて、１日当たり５ℓ／株を４～５回に分けて掛け流した。

各資材の熱交換特性を下記の方法で調査した。資材10ｍを水温約30℃の水130ℓを入れた発泡スチロール製水槽に沈め、15℃の冷水を毎分20ℓ循環させた。水温の変化から求めた１時間当たりの放熱量（MKcal/h）、資材の表面積（Ａ㎡）及び資材の内外温度差の平均（ｔ℃）から次式により放熱係数（TKcal/㎡・h・℃）を求めた。

$$T=\frac{M}{At}$$

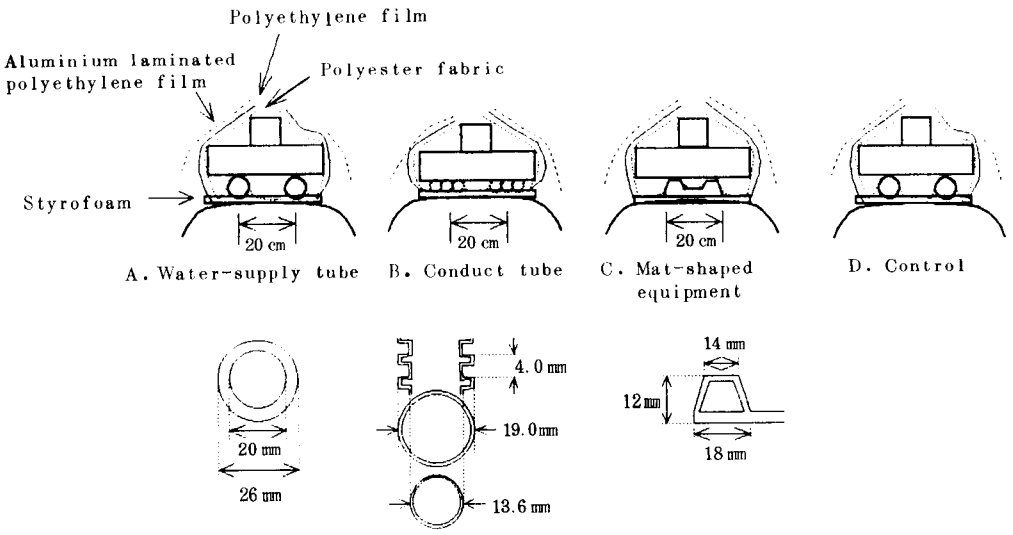


Fig.1 Structures of culture beds and the heat exchange equipments.
These are shown in cross-sectional view. Rockwool mats except control were cooled with cooling water flowed through the heat exchange equipments when the temperature of center part of the mat raised to 25 ℃ . See Fig.2. Temperature of cooling water was 14～16 ℃ . Flow of cooling water was 20 litters a minute. 'A' bed had 2 lines of water-supply tube made of poly vinyl chloride. 'B' bed had 6 lines of conduct tube which is commonly used as a protector for electric code. Mat-shaped equipment of 'C' bed was made of rubber and made to order. 'D'(control) bed had water-supply tube like A bed but cooling water was not flowed through it.

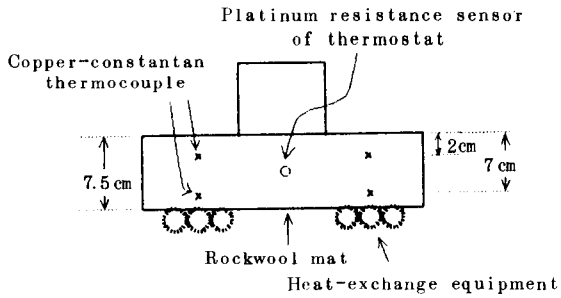


Fig.2 Sensor positions for regulating and measuring mat temperatures.
This is shown in cross-sectional view. Platinum resistance sensor (○) of the thermostat for regulating mat tempereature was placed at the center part of the mat.
4 copper-constantan thermocouples (×) were arranged in order to measure mat temperatures.

試験２．根域の冷却・加温が長期栽培における生育、収量に及ぼす影響

1990年８月から1991年５月にかけて実施した。夏期の冷却及び冬期の加温の設定温度を組み合わせた25℃-25℃、25℃-20℃及び29℃-20℃に、無冷却無加温の対照区を加えた４試験区を設けた。

Table 1 Date of Seeding, grafting and transplanting

Year	Seeding		Grafting	Transplanting
	Rootstocks	Grafts		
1989	5/2	5/22	6/19	7/14
1990	5/11	6/7	7/6	8/1

根域温度の制御は、スラブ中央が設定温度に達した時に冷却時は18℃、加温時は30℃の水を毎分20ℓ循環させて行った。その他ベッド構造及び区制は試験１と同様とした。

は種日、接ぎ木日、定植日を第１表に示した。供試品種及び10月までの栽培概要は試験１と同様である。栽培ハウスの加温は、11月から３月まで、前夜温（午後９時まで）14～15℃、後夜温10～12℃、早朝温（午前５時～７時）15～16℃の変温とした。栽培及び調査は1991年５月まで10ヵ月間続けた。

培養液濃度は春夏期（５月～８月）はＥＣ1.2ms／cm、秋冬期（10月～３月）はＥＣ2.0ms／cmとし、４月と９月はそれぞれ漸減、漸増操作を行った。かん液量は、夏期には１日当たり５ℓ／株、冬期はその約半量とした。

試験結果及び考察

試験1．熱交換資材の検討

各資材の熱交換特性を比較した結果、電線被覆管とマット状熱交換器は、水道管の2倍以上の放熱係数を有し、中でも電線被覆管は最も高く200.3Kcal/㎡・h・℃であった（第2表）。

栽培ベッドでの根域冷却の結果を、根が多く存在するスラブ下部の温度で比較すると、各資材で冷却した区（冷却区）は平均23.5～25.5℃となり、ほぼ設定温度（25℃）に調節できた（第3図）。また、最高温度は、下部だけでなく日射の影響を強く受ける上部でも30℃以下に抑えられたが、無冷却区は上部、下部ともに33℃に達した。

定植後46日間の主枝の伸長量及び節数を比較すると、開始後半月間は試験区間に差は生じなかったが（第3表）、8月上旬以降20日間の冷却区の伸長量は45～57cmで無冷却区の2倍以上であった。そのために無冷却区の摘心は約10日間遅れた。しかし冷却区節数の増加量が主枝の伸長量と同様に多かったため、摘心時の平均節間長については試験区間に差が無かった。

7月から10月上旬までの可販果の総収量は、無冷却区の4.0t／10aに対し、冷却区はいづれも無冷却区より多く、最高の電線被覆管区は5.0t／10aであったが有意な差ではなかった（第4表）。また第4図に示したように、10日毎の収量の推移にも試験区間に有意な差はなかった。ナスの着花習性から収量には周期的な増減が生じ易く、また夏期には果実の肥大が早く開花後10日から2週間で収穫期に達するため[6]、着花周期の数日のずれが短期収量に大きな影響を与える可能性がある。従って、定植後2ヵ月余りの間の収量差から、スラブの夏期冷却を目的とした熱交換資材の適否を判断するデータとしては不十分と考える。

なお試験2には熱交換特性が優れた電線被覆管を用いた。

試験2．根域の冷却・加温が長期栽培における生育、収量に及ぼす影響

定植後45日までの主枝の伸長及び節数の増加量は、試

Table 2. Heat exchange property of the equipments

Equipment	Thermal diffusivity
	kcal/㎡・h・℃
Water-supply tube	77.1
Conduct tube	200.3
Mat-shaped equipment	182.0

Table 3　Effect of mat cooling by the equipments on growth

Equipment	Increase of stem length		Number of joints[z]	
	7/21～8/9	8/9～8/29	8/9	8/29
	cm	cm		
Water-supply tube	56.9	45.3	8.2	13.2
Conduct tube	56.3	52.2	7.7	13.5
Mat-shaped equipment	45.3	57.2	7.2	12.0
Control	51.6	20.2	7.7	10.8
L.S.D.$_{0.05}$	12.3	19.5	1.8	2.0

z: Joint is part of stem from which leaves and twigs grow.

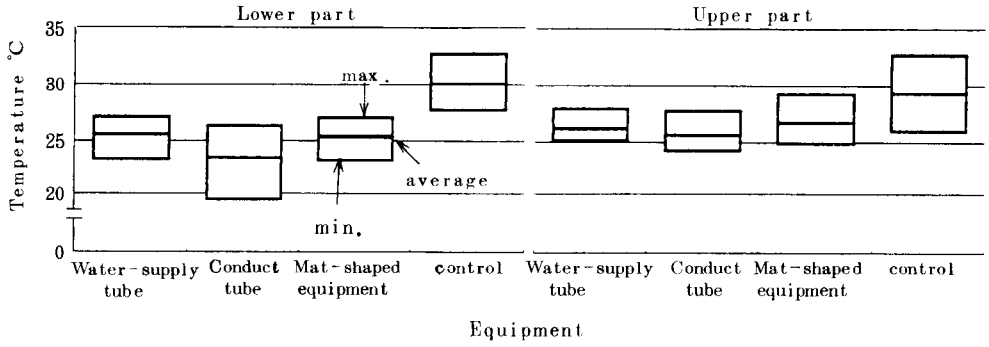


Fig.3 Maximum, average and minimum temperature of rockwool mats cooled by the heat exchange equipments. Mat temperatures were measured in August 20, 21 and 22, 1989. These days are fine all day long. Upper and lower part is 2cm and 7cm deep from upper surface of the mat, respectively.See Fig.2.

験区間に有意差は無く（第５表）、摘心も同時期（９月中旬）であった。試験１では無冷却区の摘心時期が冷却区に比べて10日程度遅れたが節間伸長には影響なく、また本試験のように生育差が生じない事例もあることから、ロックウール栽培では、夏期の根域温度が30℃を越える高温条件下であっても大幅な生育遅延を伴う顕著な障害は現れないと思われる。

８月から翌年５月までの収量の推移をみると、全区とも９～10月にピークがあり、冬期に減少した後、３～５月にかけて増加した（第５図）。試験区間の有意な収量差は１～２月に現れ、２ヵ月間の収量は、対照区の0.7ｔ／10ａに対し、25℃-20℃区及び25℃-25℃区は1.3ｔ／10ａであった。その結果、根域の加温を実施した11月～３月の収量を合計すると、対照区の3.5ｔ／10ａに対し、25℃-20℃区及び25℃-25℃区は29％増しの4.5ｔ／10ａとなった。29℃-20℃区の冬期収量は対照区と同程度であった。可販果の総収量を比較すると、25℃-25℃区及び対照区がそれぞれ14.5ｔ／10ａ及び14.1ｔ／10ａであったのに対し、29℃-20℃区及び25℃-20℃区は約12％少ない12.8ｔ／10ａ及び12.6ｔ／10ａであった（第６表）。

冷却・加温を実施した区のスラブ下部の平均温度の実測値は、設定温度にかかわらず24～25℃であった（第６図）。即ち夏冬とも25℃区の平均温度は設定値±１℃に維持できたが、夏29℃区及び冬20℃区の平均温度は設定値から４～５℃低いまたは高い値となった。また、スラブ下部の最高最低温度差は、夏冬とも25℃区の約２倍の夏６℃（夏29℃区）及び冬16℃（冬20℃区）であり、１時間当たりの最大変動幅も対照区及び25℃区の２～４倍で、３～４℃であった（第７表）。根域温度制御を実施したにもかかわらず必ずしも良好な生育結果にならなかったのは、このような大幅な温度変動が原因と考える。そしてこの温度変動の大小は、各区の設定温度と資材中に流した循環水（夏18℃冬30℃）との温度差に主因があると考えられる事から、実用時点では十分に留意する必要があろう。

以上の結果より、スラブ下部を平均25℃に冷却及び加

Table 4　Effect of mat cooling by the equipmens on yield

Equipment	Yield	
	Total	Marketable fruits
	t/10a	t/10a
Water-supply tube	5.9	4.5
Conduct tube	6.2	5.0
Mat-shaped equipment	5.2	4.2
Control	5.5	4.0
L.S.D.$_{0.05}$	1.4	1.2

Yield during all the cultivation period (7/14～10/10, 1989).

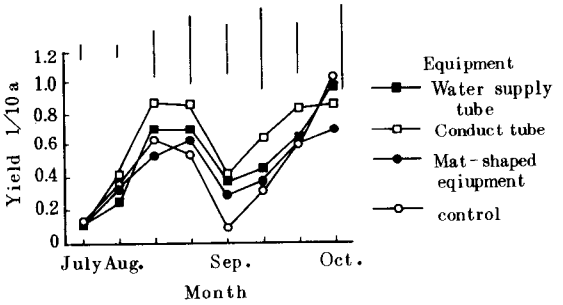


Fig.4 Effect of mat cooling by the equipments on marketable fruits yield summed in every 10 days. Bars represent L.S.D. at P=0.05

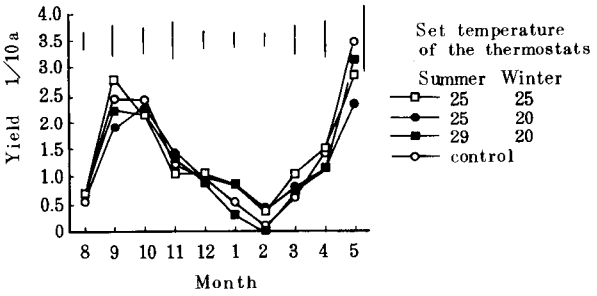


Fig.5 Effect of mat cooling and warming on marketable fruits yield summed by month. Bars represent L.S.D. at P=0.05.

Table 5　Effect of mat cooling on initial growth

Set temperature of the thermostat	Increase of stem length		Number of joints[z]	
	8/15～8/28	8/28～9/14	8/28	9/14
℃	cm	cm		
29	39.6	42.1	10.3	14.3
25	35.8	39.5	10.0	14.2
Control	38.8	43.3	9.7	13.7
L.S.D.$_{0.05}$	8.2	15.5	1.5	2.2

z: Joint is part of stem from which leaves and twigs grow.

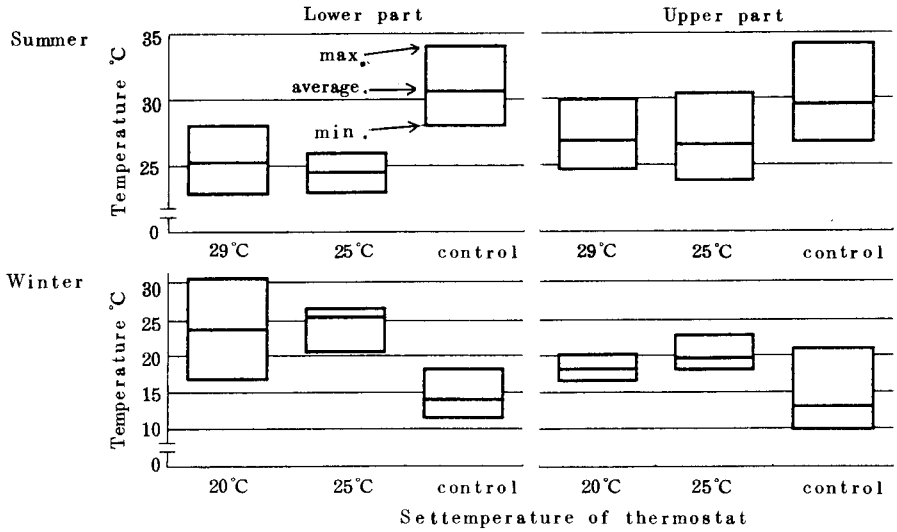


Fig.6 Effect of set temperature of the thermostats on maximum, average and minimum temperatures of rockwool mat. Mat temperatures were measured in August 18, 20 and 21 in summer 1990 and January 16, 19 and 23 in winter 1991.These days were fine all day long. Maximum,average and minimum temperatures of each 3 days were averaged. Upper and lower part is 2 cm and 7 cm deep from upper surface of the mat, respectively. See Fig.2.

Table 6　effect of mat coolinf and warming on yield

Set temperature of the thermostat	Yield	
	Total	Marketable fruits
	t/10a	t/10a
25 - 25	17.7	14.5
25 - 20	16.1	12.6
29 - 20	16.0	12.8
Control	17.1	14.1
L.S.D. 0.05	3.3	2.2

Table 7　Effect of set temperature of the thermostats on change of mat temperratures

Set temperature of the thermostat	Maximum change of mat temperature per 1 hour	
	Upper part	Lower part
	℃	℃
Summer		
29℃	1.8	3.4
25℃	1.5	0.8
Control	1.5	0.8
Winter		
20℃	1.7	4.2
25℃	1.9	1.3
Control	2.8	2.4

Mat temperatures were measured at the same days as showed in Fig. 6.

温することによって冬期収量の落ち込みを軽減できたが、温度変動が大きいとその処理効果は打ち消されると判断された。また、2か年の結果から推察すると、ロックウールプラントでは、ＮＦＴ方式と異なり、高温による顕著な生育障害は現れなかったことから、夏期の根域冷却の必要性は低いと考えてよいであろう。

ＮＦＴ方式による長期栽培では、冬期の根域温度20℃でも増収効果が得られているが[1]、ロックウールプラントにおける加温温度の有効範囲はＮＦＴと様相が異なる可能性があり、更に検討を要する。また、根域温度の変動許容範囲についても不明な点が多い。詳細な結果を得るには、根域温度を正確に制御するための何らかの工夫が必要である。また、本試験では熱交換効率の点から資材を選定し利用したが、温度変動を少なくする観点からも熱交換資材及び温度制御方法を詰める必要があると考える。

引用文献

1．番　喜宏，鈴木智博，青柳光昭．水耕によるナスの長期栽培　培養液の処方及び温度が生育、収量に及ぼす影響．愛知農総試研報．21，181-187(1989)．

2．Buitelaar, K. Mat warming with tomatoes on rockwool. Groenten en Fruit. 40(26), 36－37(1985).

3．Devonald, V. G.; Tapp, A. The effect of warming the nutrient solution on the early growth of tomatoes in NFT in a heated and unheated environment. Soilless Culture. 3(1), 31－38(1987).

4．糟谷真宏，菅原眞治，桜井雍三，高瀬尚．水耕によるナスの長期栽培（第1報） 台木の種類が生育、収量に及ぼす影響．愛知農総試研報．18, 136－141(1986).
5．Moss, G. I. Root-zone warming for greenhouse crops. Australian Horticulture. 83(1), 36－49(1985).
6．農業技術体系 野菜編 5．東京，農文協．P.基96
7．Rovers, J. A. The possibilities of mat warming. Groenten en Fruit 39(19), 24－25(1983).
8．鈴木義彦，小田雅行，志村清，西村剛．トルバム台ナスの肥培管理に関する研究（第1報） 養分吸収特性について．園芸学会昭和57年度春期大会研究発表要旨．P.222－223(1982).
9．Takano, T. Effect of conductivity and temperature of nutrient solution on the mineral nutrition of horticultural crops in water culture. Acta Horticulturae No. 228, 281－289(1988).
10．山崎肯哉．養液栽培全編．東京，博友社．1982，P.39－42