

ナスの促成栽培における株元加温に関する研究

誌名	福岡県農業総合試験場特別報告
ISSN	0913509X
著者名	森山,友幸
発行元	福岡県農業総合試験場
巻/号	40号
巻号補足	
掲載ページ	p. 1-78
発行年月	2013年3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



ナスの促成栽培における株元加温に関する研究

森山 友幸

2013

*九州大学 審査学位論文

目次

第1章	緒論	1
第2章	株元加温が果菜類の生育と着果に及ぼす影響	4
第1節	株元加温がナスの促成栽培における果実肥大，着果，収量および品質に及ぼす影響	4
第2節	株元加温による促成ナスのハウス内暖房用燃料削減	11
第3節	株元加温がトマトの促成栽培における着果，収量および品質に及ぼす影響	15
第4節	株元加温がキュウリの着果に及ぼす影響	20
第3章	株元加温方法の違いがナスの生育に及ぼす影響	25
第1節	株元加温による温度が着果，収量および品質に及ぼす影響	25
第2節	加温部位がナスの主枝および側枝の生育に及ぼす影響	32
第3節	株元加温の時間帯がナスの主枝および側枝の生育に及ぼす影響	39
第4章	サイトカイニン施与が促成ナスの着果，収量および品質に及ぼす影響	41
第5章	促成ナス栽培における実用的な株元加温システムの開発	46
第1節	ダクト加温システムの開発および加温効果	46
第2節	ダクト加温システムおよび最低気温の違いによる収量，品質等への影響	56
第3節	ダクト加温システムの経営評価	60
第4節	ダクト加温システムの現地適応性	63
第6章	総括	67
	Summary	70
	謝辞	73
	引用文献	74

第1章 緒論

ナス (*Solanum melongena* L.) はインドが原産地と推定されており、現在、アジア、なかでも中国 (世界生産量の59 %) およびインド (世界生産量の20 %) における生産が盛んである (吉田, 2000)。日本には原産地のインドから中国を経て渡来したと考えられる。渡来した年は不明であるが、最古の記録として東大寺正倉院文書に「天平勝宝2年 (750年) 茄子を進上した」との記述があり、古くから重要野菜であったことが推察される。その後、日本各地で栽培され独自の品種および作型が発達した (斉藤, 1992)。

わが国におけるナス栽培はまず自家用の露地栽培が行われ、その後、温暖な一部の地域において早熟栽培や促成栽培が始まった。現在は露地栽培に他に施設栽培が発達し、四国、近畿、九州地方では施設を活用した促成栽培のナスが重要な産業品目として位置づけられている。

野菜の施設栽培は、生鮮野菜の周年供給および台風などの気候災害等に影響されない安定供給を実現させ、多様化する消費需要に応えるとともに、農家の周年的な就労、高い専業農家率および後継者が多数定着する農業の実現に大いに貢献している。特に1965年以降、温風暖房機の導入が始まったことによって半促成栽培から促成栽培へと作型の前進化が加速され、その傾向は関東以西の産地、特に九州において顕著であった。福岡県においては果菜類のキュウリ、トマト、ナスを中心に促成栽培が普及拡大した。とりわけナスでは1960年代後半から販売単価の高い京浜市場への出荷が拡大することにもなって、栽培面積、販売金額が増加し、1980年代には栽培面積が100 ha、販売金額が70億円に達し、県産野菜の中で販売金額がイチゴに次いで2番目に多い重要な品目・作型になった (福岡県園芸農業協同組合連合会, 1997)。

促成栽培は普通栽培や早熟栽培と比較して販売単価が高いという特長がある一方で、11月～翌年の4月までの間、野菜の収量および品質の高位安定化を図るために、ハウス内を加温する必要があり、加温に要する燃料費が高額になる (林, 2007)。特に、ナスは高温性作物で生育適温が22～30℃と高く、最低気温をイチゴ、トマトなどの他の果菜類よりも高い12℃以上に設定しなければならず (福岡県農林水産部経営技術支援課, 2009b)、燃料費が他の品目に比べて高額になり農家経営を圧迫している。

近年、経済発展の著しい中国やインドなど新興国の経済成長にともなう石油消費量の増加や原油産出国における政治不安による石油供給量の低下、投機資金の流入等を背景に原油価格が高騰している (図1-1)。これに連動して、加温用燃料となる国内のA重油価格は2012年1月時点での1リットル価格が87円と、8年前に比較して1.9倍になり、促成栽培農家にとって深刻な問題となっている。ナスにおける加温用A重油が大半を占める光熱動力費をみると、2000年には10 a当たり26万円 (熊本県農家調査) と農業経営費に占める割合が10%であったのに対し、2007年には47万円とその割合が21%に倍増した (農林水産省, 2000, 2007)。今後のA重油価格の推移は不透明であるが、現在の状況では大幅な下落は見込めず、さらに外国為替相場が円安に振れると劇的な価格高騰が予想されることから、生産現場からは暖房コストを大幅に削減できる革新的な省エネルギー栽培技術の開発が求められている。

暖房コストを削減する手段の一つとして、最低気温を低く設定することが挙げられ、福

岡県内における約6割のナス栽培農家においても標準（最低温度は12℃）よりも低い暖房温度で栽培を行っている（図1-2；福岡県園芸振興推進会議，2009）。しかし，夜間の最低気温を12℃から8℃に下げた場合，ナスの促成栽培における収量は60%以上減少することが報告されており（町田ら，1981），最低温度を低く設定する温度管理は収量および品質低下をもたらすものと考えられる。また，現在行われている暖房は，空気を直接加温して，ハウス全体の空間を暖めることから，多量の加温用燃料を必要とする。このため，ナスでは局所加温が提案され（斎藤，2008），ロックウール耕栽培における培地加温（大島ら，2003）や深層地中加温（田中ら，2000）が報告されている。しかし，これらの方法では資材の設営に多くのコストと労力を要するという問題を抱えており（宮城県農林水産部農業支援課，2004），生産現場においてこの点を克服できる実用的な省エネルギー栽培技術の開発が求められている。

そこで，本研究ではまず，代表的な果菜類であるトマト，キュウリ，ナスの促成栽培において，長期間にわたって安定した収量を確保しながら，暖房コストを削減できる効果的な温度管理技術を確立するために，茎の加温が形態的および生理的反応に及ぼす影響を追求して明らかにした。さらに，資材設営に要する費用が安価で労力負担が軽く，生産者が容易に導入できる主枝の株元部分の茎の加温法（以下，株元加温）を考案〔特許第4888847号「ナスの栽培方法」〕し，生産現場で容易に活用できる局所加温システムの開発に取り組んだ。

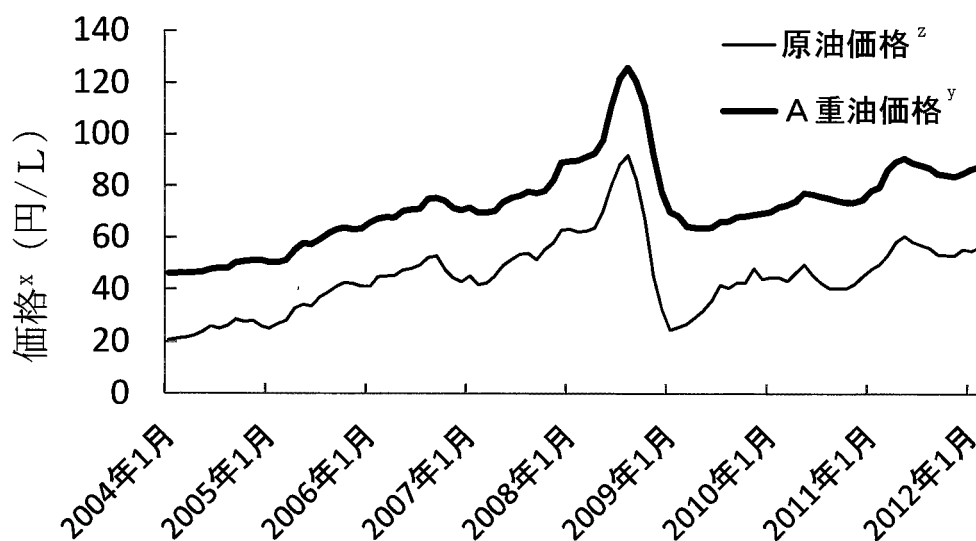


図1-1 原油価格およびA重油価格の推移

^z 原油価格はCIF (Cost, Insurance and Freight) 価格

^y A重油価格は農家購入価格

^x 値は貿易統計（財務省，2012），農産物価統計（農林水産省，2012）より引用

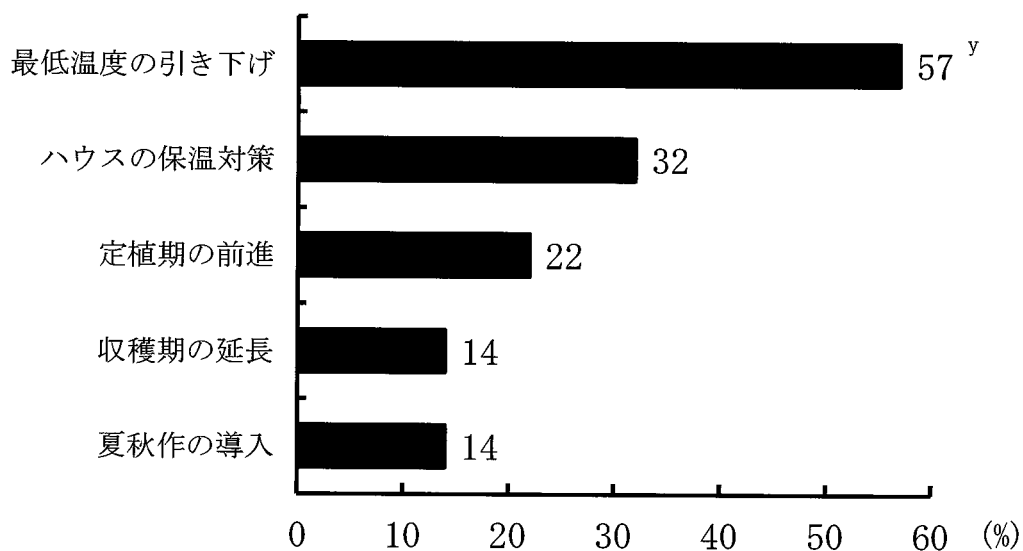


図1-2 促成ナスにおける燃油高騰への対策状況^z

^z 福岡県農林水産部経営技術支援課 (2008)

^y 県栽培面積に対する実施面積の比率 (福岡県栽培面積: 110ha)

本論文はこれらの成果をまとめたものであり、構成は以下のとおりである。

第2章では、経済栽培を行う際の限界最低温度が高い主要な果菜類（ナス、トマト、キュウリ）において株元加温が生育と着果に及ぼす影響を品目別に検討した。第3章ではナスへの株元加温方法が生育に及ぼす影響について明らかにするために、株元加温の温度、部位および時間帯について検討した。第4章では株元加温によってナスの側枝の発生・伸長が促進される形態的な反応から、株元加温による側枝の生長促進に植物ホルモン（サイトカイニン）が関与している可能性を探るため、サイトカイニンの施与がナスの果実肥大、着果、収量および品質に及ぼす影響について検討した。

以上の内容をふまえて、第5章では実用的な株元加温システムを開発し、開発したシステムが収量および品質に及ぼす影響を明らかにするとともに、ハウス内最低気温の低減および暖房コストの削減効果を実証した。最後に第6章において、総括を行った。

第2章 株元加温が果菜類の生育と着果に及ぼす影響

第1節 株元加温がナスの促成栽培における果実肥大，着果，収量および品質に及ぼす影響

暖房コストを削減する手段の一つとして，最低気温を下げる事が考えられるが，促成栽培では夜間の最低気温を下げた場合，収量が減少する（町田ら，1981）．一方，ロックウール耕栽培での培地加温（番ら，1992；大島ら，2003）や，土耕栽培での深層地中加温（田中ら，2000）が報告されているが，この加温方法は多大なコストと労力がかかる．比較的安価な加温方法として，植物体の一部分だけを重点的に加温する局所加温法が提案され（斎藤，2008），トマトの促成栽培では花房および茎頂部近傍への加温により，花粉発芽率や着果率が向上すること（河崎ら，2008；森山ら，1999）や，イチゴの促成栽培ではクラウン部への加温（以下，クラウン加温）により，生長促進や増収効果がみられること（佐藤ら，2008）が報告されている．しかしながら，ナス栽培においては花および生長点が地上30～170 cmの広い範囲に存在するため，経済栽培において本手法を行うことは困難である．

本研究ではナスの促成栽培において，資材設営に要する費用が安価で労力負担が軽く，生産者が容易に導入できる株元加温法を考案し，それが収量および品質に及ぼす影響について検討した．

材料および方法

実験は，福岡県農業総合試験場野菜栽培部（福岡県筑紫野市，細粒灰色低地土，砂壤土）の間口6 m，奥行き20 m，軒高3.2 m，体積約400 m³，南北方向単棟ビニルハウスで行った．穂木に‘筑陽’，台木に‘トナシム’を用い，株元加温区と無処理区を設けた．株元加温区で行った加温法の状況を図2-1に示す．ナスの主茎の地際から高さ約25 cmまでの部位に長さ60 cmの電熱線（1-450:単相100 V・500 W¹・40 m¹，筑波電器）を巻き付けた〔特許第4888847号「ナスの栽培方法」〕．サーモセンサーを電熱線に直接固定し，電熱線の温度を25℃に設定した．加温は2005年12月1日～2006年4月30日まで行い，株元加温の地温への影響を排除するために，株元加温区，無処理区ともに畝の土表面に断熱資材（発泡ポリエチレン，横20 cm，縦20 cm，厚さ4 mm）を敷設した．

2005年9月16日に第1花開花期の苗を畝幅200 cm，株間60 cm，1条植えで定植し，主枝V字4本仕立てにした．第1主枝が第9花開花時，第2主枝が第8花開花時および第3，4主枝が第7花開花時に，開花花房の直上葉を1葉残して摘芯した．開花した花器には，開花当日から2日後までにトマトトーンの50倍希釈液を噴霧した．側枝は収穫時に1芽を残して切り戻した．ハウス内気温が25℃以上で内張り資材を開放して換気し，23℃以下で閉鎖した．外張り資材はハウス内気温が午前28℃以上，午後26℃以上で開放し，午前26℃以下，午後24℃以下で閉鎖した．夜間は白灯油を燃料とした温風暖房機で，最低気温が12℃以下にならないように管理した．施肥は基肥を10 a当たり窒素24 kg，リン酸28 kg，加里20 kg，追肥を12～6月に月1回ずつ，合計10 a当たり窒素24 kg，リン酸

28 kg, 加里 10 kg 施用した. 1区当たり 3株, 3反復で実験を行った.

長さ 18 cm 以上の果実を随時収穫し, 収穫物を博多なす選果基準 (本県 JA 全農ふくれんなす部会作成) に基づいて 3段階 (上物, 中物, 下物) に分類し, それぞれ果数および果重を測定した. 上物と中物に分類された果実を市場に出荷可能な果実 (以下, 商品果) とみなし, 合計収量を算出した. 1日当たりの果実肥大量は, 収穫物の果重を開花~収穫までの日数で除して算出した. また, 第 1~ 4 主枝において発生した 1次側枝数, 1次側枝および 1次側枝から順次発生した 2次側枝以降の側枝のうち, 開花ならびに着果が見られた側枝数 (順に開花側枝数, 着果側枝数), n 次側枝における開花期~ ($n+1$) 次側枝における開花期までの日数 (以下, 開花間隔日数) を算出した. また, 電熱線の温度と供試した畝の地下 10 cm の地温を温度記録計 (RT-30S, エスペック) を用い, 10 分間隔で測定した. 夜間の植物体表面温度は, 2006 年 2 月 6 日の 19~21 時の間, 株元加温区における電熱線による加温を行う前と加温中および無処理区の株をサーモビューア (JTG-4200S, 日本電子) で測定した.



図 2-1 ナスの株元加温の状況

結果

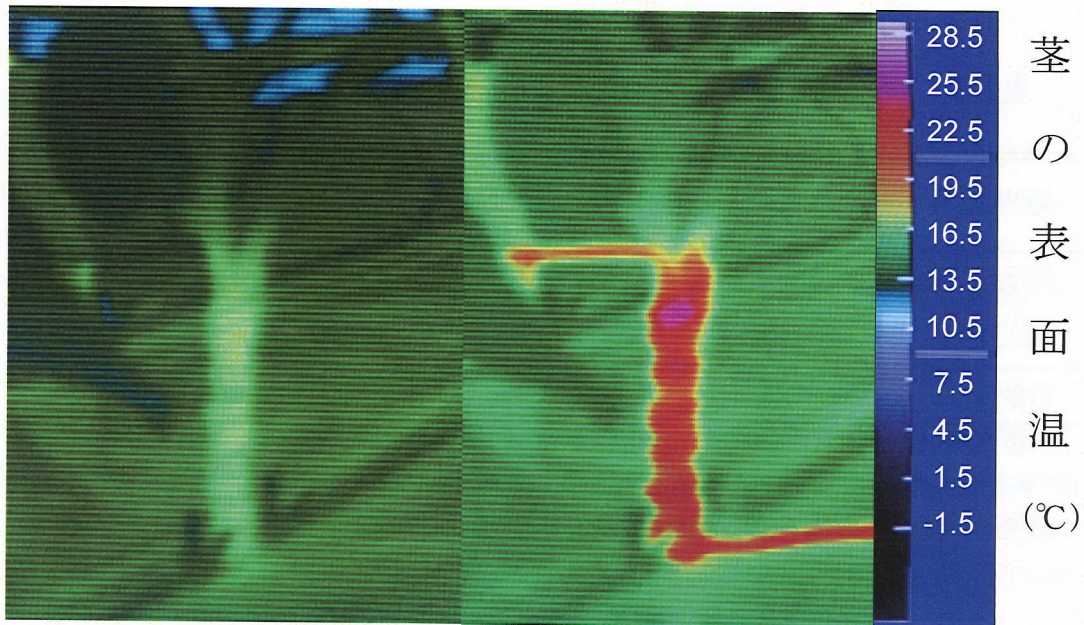
株元加温前および加温中の茎の赤外線画像を図 2-2 に示す。電熱線の夜間の表面温度は、 $25.9 \pm 2^\circ\text{C}$ の幅で推移した。株元加温区における加温中の株の地際から高さ 25 cm の部位における茎の表面温度は $21 \sim 26^\circ\text{C}$ であり、同じ株の加温を行う前の $11 \sim 12^\circ\text{C}$ より高かった。加温中の電熱線を巻き付けている部位より上の茎の表面温度は、加温前と同等であった。また、無処理区における茎の表面温度は、株元加温区における加温前と同等であった（データ略）。2006 年 1 月 26～27 日における株元加温区、および、無処理区の深さ 10 cm における地温は、ともに $17 \sim 19^\circ\text{C}$ で推移した。

株元加温が時期別収穫果数および商品果収量に及ぼす影響を表 2-1 に示す。10～12 月の収穫果数・商品果収量は、株元加温区と無処理区との間に有意な差が見られなかった。一方、1 月以降はいずれの時期においても株元加温区の方が収穫果数が多く、1～6 月の累計では無処理区よりも 15 ポイント多かった。株元加温によって 1～6 月の商品果収量も 17 ポイント高くなり、特に 1～2 月（28%）と 3～4 月（21%）で増収効果が顕著であった。株元加温区、無処理区における商品果の重さは、それぞれ 110 g、109 g であり、両区に有意な差は見られなかった（データ略）。

株元加温が時期別不良果発生割合および商品果率に及ぼす影響を表 2-2 に示す。10～12 月の不良果（曲がり果、首細果、細果）の発生は、株元加温区と無処理区との間に有意な差が見られなかった。一方、首細果、細果の発生は、1～4 月において株元加温区の方が無処理区より少なく、曲がり果の発生は 3～6 月において少なかった。株元加温によって 1～6 月の商品果率は 5.9 ポイント高くなり、特に 1～2 月（6.8 ポイント）で向上効果が顕著であった。

株元加温が側枝数に及ぼす影響を表 2-3 に示す。1 株当たりの 1 次側枝数は両処理間に有意な差が認められず、1 株当たり開花側枝数、着果側枝数は株元加温区の方が無処理区より多く、着果率も株元加温区の方が無処理区より高かった。

株元加温が 1 日当たりの果実肥大量に及ぼす影響を表 2-4 に示す。1 日当たりの果実肥大量は、10～12 月および 4～6 月では処理間に有意な差がみられなかったが、1～3 月では株元加温区の方が無処理区より大きかった。開花から収穫までの日数は、1 日当たりの果実肥大量に対応して、1～3 月では株元加温区が無処理区より 1.0～2.2 日短かったが、4～6 月では処理間に有意な差がみられなかった（データ略）。株元加温が側枝における開花間隔日数に及ぼす影響を表 2-5 に示す。また、側枝の開花間隔日数は、株元加温区の方が無処理区に比べて 1～3 月では 6.3 日、4 月と 5 月ではそれぞれ 4.2 日、3.9 日短かった。



加温前

加温中

図 2-2 加温前および加温中におけるナスの茎の赤外線画像

ハウスの平均気温は日中（7～19時）が 24℃，夜間（19～7時）が 12.4℃

表2-1 株元加温がナス‘筑陽’の時期別収穫果数および商品果収量に及ぼす影響

処理区	収穫果数 (果・m ⁻²)					商品果収量 ^z (kg・10a ⁻¹)				
	10～12月	1～2月	3～4月	5～6月	1～6月	10～12月	1～2月	3～4月	5～6月	1～6月
株元加温	24	26	37	52	115	3,072 (103) ^x	2,095 (128)	3,976 (121)	6,616 (111)	12,687 (117)
無処理	24	17	34	49	100	2,995 (100)	1,642 (100)	3,276 (100)	5,959 (100)	10,878 (100)
t検定 ^y	n. s.	**	*	*	*	n. s.	*	**	*	**

^z 上物収量+中物収量

^y **, *はそれぞれ 1%水準, 5%水準で有意差があり, n. s. は有意差がないことを示す

^x ()内の値は, 無処理を100とした場合の比率

表2-2 株元加温がナス‘筑陽’の時期別不良果発生割合および商品果率に及ぼす影響

処理区	曲がり果 (%)				首細果 (%)				細果 (%)				商品果率 ^z (%)				
	A ^y	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	E
株元加温	19.4	####	11.4	7.7	4.9	8.7	5.7	0.7	1.5	3.7	4.3	###	####	92.3	92.4	94.7	93.1
無処理	20.7	####	15.4	13.3	5.7	11.7	9.0	1.3	1.8	7.7	10.9	###	####	85.5	87.5	89.7	87.2
t検定 ^x	n. s.	n. s.	*	*	n. s.	*	*	n. s.	n. s.	*	**	n. s.	n. s.	**	*	*	*

^z (上物収量+中物収量) ÷ 総収量 × 100

^y A: 10～12月, B: 1～2月, C: 3～4月, D: 5～6月, E: 1～6月

^x 逆正弦変換値によるt検定により**, *はそれぞれ1%水準, 5%水準で有意差があり, n. s. は有意差がないことを示す

表2-3 株元加温がナス‘筑陽’の1次側枝数、開花側枝数および着果側枝数に及ぼす影響

処理区	1次側枝数 (本/株)	開花側枝数 (本/株)	着果側枝数 (本/株)	着果率 ^z (%)
株元加温	35.7	138.3	124.7	90.1
無処理	34.7	129.7	111.7	86.1
t検定 ^y	n. s.	*	*	*

^z 着果側枝数÷開花側枝数×100

^y *は5%水準で有意差があり, n. s. は有意差がないことを示す

調査は1次側枝の開花が始まった2005年11月7日～2006年6月30日に実施

表2-4 株元加温がナス‘筑陽’の1日当たりの果実肥大量に及ぼす影響

処理区	1日当たりの果実肥大量 ^z (g・day ⁻¹)									
	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	
株元加温	7.6	6.0	4.0	3.5	4.1	5.0	5.5	6.8	7.5	
無処理	7.5	6.2	3.9	3.0	3.7	4.5	5.2	6.9	7.4	
t検定 ^y	n. s.	n. s.	n. s.	*	*	*	n. s.	n. s.	n. s.	

^z 収穫果実重÷開花から収穫までの日数

^y *は5%水準で有意差があり, n. s. は有意差がないことを示す

表2-5 株元加温がナス‘筑陽’の側枝における開花間隔日数^zの短縮に及ぼす効果

処理区	1～3月	4月	5月	6月
株元加温	38.4	29.6	27.4	27.6
無処理	44.7	33.8	31.3	27.2
t検定 ^y	*	*	*	n. s.

^z n次側枝とn+1次側枝の開花日の平均間隔日数

^y *は5%水準で有意差があり, n. s. は有意差がないことを示す

考察

株元加温区では無処理区と比較して、1月以降の収穫果数が増加するとともに、商品果率も向上して商品果収量が増加した。ナスの単位面積当たりの商品果収量を決定する項目は、主枝に着生した果実を除けば、単位面積当たりの株数、株当たりの1次側枝数、各1次側枝当たりの収穫果数、収穫果に占める商品果率および商品果重が挙げられる。本実験では、このうちの単位面積当たりの株数、株当たりの1次側枝数および商品果重は株元加温区と無処理区で同等であった。

ナスの促成栽培ではn次側枝の開花期に側枝を摘芯し、その後果実の収穫時に一つのみ残した腋芽をn+1次側枝にすることを繰り返すという、いわゆる1芽切り戻し整枝を行っている。従って、各1次側枝ごとに2次側枝以降の側枝の生長および果実の肥大が繰り返される。このことから、収穫果数を増加させるためには、側枝の生長を促進させて開花を早めるとともに、開花～収穫までの日数を短くして、側枝形成～収穫までの期間を短縮させることが必要である。本実験における1～5月の開花間隔日数は、株元加温区の方が無処理区に比べて短かった。一方、開花～収穫までの日数は、1～3月では株元加温区が無処理区に比べて短くなったが、4～6月では処理間に有意な差が認められなかった。以上のことから、1～3月には株元加温によって側枝の生長速度が早まるとともに、開花～収穫までの期間が短縮し、4月以降は側枝の生長速度が早まることが示唆された。また、1～3月における開花間隔日数は、株元加温によって6.3日短くなったのに対して、開花～収穫までの短縮日数は1.0～2.2日にすぎなかった。従って、株元加温によって開花間隔日数が短縮して、収穫果数が増加した主な要因は、側枝の生長速度が早まることによるものと考えられた。

佐藤ら(2008)は、イチゴの促成栽培においてクラウン加温を行うと無処理区と比較して出葉速度が速くなり、腋果房の開花間隔が短縮して第2,3次腋果房の開花時期が早進化し、収量が増加したことを報告している。ナスの株元加温においても側枝の開花間隔が短縮され、収量が増加した点は類似しているが、イチゴの加温部位は生長点を含むクラウン部であるのに対して、ナスの加温部位は主な機能が植物体の支持と水および物質の運搬経路とされている茎部である。茎部の加温については、キュウリ挿し穂において茎基部を28℃に加温すると、挿し穂の吸水速度が速まったことが報告されている(寺倉ら, 2004)が、ナス側枝の生長促進および増収に関する報告は見当たらない。本実験の株元加温区では、茎部の加温部位の表面温度が20℃以上に高まったのに対して、加温部位より上の茎葉部表面や地中の温度は無処理区と同等であった。このことから、株元加温は株元の温度のみに影響したと考えられる。側枝の生長促進および増収の要因を解明するために、株元加温がナス茎内の水および物質の運搬機能にどのような影響を及ぼしているのかを明らかにすることが今後の重要な課題と考えられる。

株元加温区は無処理区と比較して、1～4月の首細果および細果および3～6月の曲がり果の発生が少なくなっており、その結果、株元加温によって1～6月の商品果率が向上した。本実験では、株元加温区は無処理区より1月以降の側枝の生長が促進し、加えて1～3月の果実肥大量が大きくなった。これは株元加温によって株の発育が旺盛になり、果実への養水分供給が増加したために果実の多くが正常に発達し、首細果、細果などの不良果が減少

したものと考えられる。

以上の結果から、単位面積当たりの商品果収量を決定する項目のうち、株元加温によって1次側枝当たりの収穫果数の増加、および、収穫果に占める商品果率が向上することにより、単位面積当たり商品果収量が増加することが明らかになった。

要約

ナスの促成栽培における暖房コストの削減を目的として、株元加温が収量および品質に及ぼす影響を検討した。電熱線を用いて主枝の株元部分の茎を加温すること〔特許第4888847号「ナスの栽培方法」〕により、側枝の生長および果実の肥大が促進され、収穫果に占める不良果（曲がり果、首細果および細果）の発生が減少して1～6月の商品果率が向上した。これらの要因により、株元加温区は無処理区と比較して1～6月の収穫果数が多くなり、商品果収量が増加した。

第2節 株元加温による促成ナスのハウス内暖房用燃料削減

第1節で報告した株元加温法によって許容されるハウス内の限界最低気温を明らかにするため、最低気温 10℃管理および 12℃管理したハウスで株元加温を実施し、それぞれの収量、暖房用燃料費および電気代を調査した。

材料および方法

実験は、福岡県農業総合試験場筑後分場（福岡県三潴郡大木町、細粒灰色低地土、埴壤土）の間口 6 m、奥行き 20 m、軒高 3.2 m、体積約 400 m³、南北方向単棟ビニルハウス 2 棟で実施した。2006 年 9 月 23 日に定植し、供試品種、仕立て法、側枝整枝法、施肥、実験規模は第 1 節に準じた。2 棟のハウス内の最低気温がそれぞれ 10、12℃以下にならないように管理し、両ハウスに株元加温区と無処理区を設けた。加温処理は第 1 節と同様に、2006 年 12 月 8 日～2007 年 4 月 30 日まで行った。主茎に熱が伝わり易いように幅 10 mm の面状電熱線（DP325040:三相 200 V・500 W¹・40 m¹、松下電工）を用い、電熱線の温度を 25℃に設定した。

ハウス内の北から 10 m、東から 2.5 m、地面からの高さ 1.0 mにおける気温（以下、ハウス内気温）および電熱線を巻き付けた主枝部分の中央部にあたる地際から 12.5 cm の高さに、直径 1.5 mm、深さ 1.5 cm の穴を開けて温度記録計（RT-30S、エスペック製）のセンサー（直径 1 mm）を挿入して茎内の温度（以下、茎内温度）を 10 分間隔で測定した。収穫調査は第 1 節と同様に行った。

結果

株元加温を実施した株の茎内および電熱線温度の推移を図 2-3 に示す。2007 年 2 月 14 日の最低気温 12℃のハウス内において、夜間の茎内温度は無処理区の約 13℃に対し、株元加温区では約 24℃で推移した。

最低温度および株元加温が時期別商品果収量、収穫果数に及ぼす影響を表 2-6 に示す。10～11 月の収穫果数・商品果収量には、株元加温区と無処理区との間に有意な差が見られなかった。一方、12～6 月の収穫果数は、最低気温 10 および 12℃ハウスともに株元加温区が無処理区より多く、株元加温区における最低気温 10℃ハウスの収穫果数は、最低気温 12℃ハウスの無処理区と同等であった。12～6 月の商品果収量は、最低気温 10℃ハウスでは株元加温区で 10 a 当たり 13.9 t と無処理区より 12 ポイント多く、最低気温 12℃ハウスでは株元加温区が 10 a 当たり 14.9 t と無処理区より 7 ポイント多かった。また、無処理区のハウス間における収量を比較すると、最低気温 10℃ハウスでは最低気温 12℃ハウスより 13 ポイント低かった。これに対し、株元加温区における最低気温 10℃ハウスの商品果収量も、最低気温 12℃ハウスの無処理区と同等であった。従って、10～6 月の 10 a 当たり商品果収量は、最低気温 10℃ハウスの株元加温区と最低気温 12℃ハウスの無処理区と同等であり、それぞれ 16.1 t、16.2 t であった。

最低温度 10℃または 12℃に管理したハウスの燃油消費量を図 2-4 に示す。実験した 120

m²のハウスにおける暖房用燃料消費量は、最低温度 10℃ハウス（1,030 L/棟）が 12℃ハウス（1,500 L/棟）と比較して 31%少なかった。

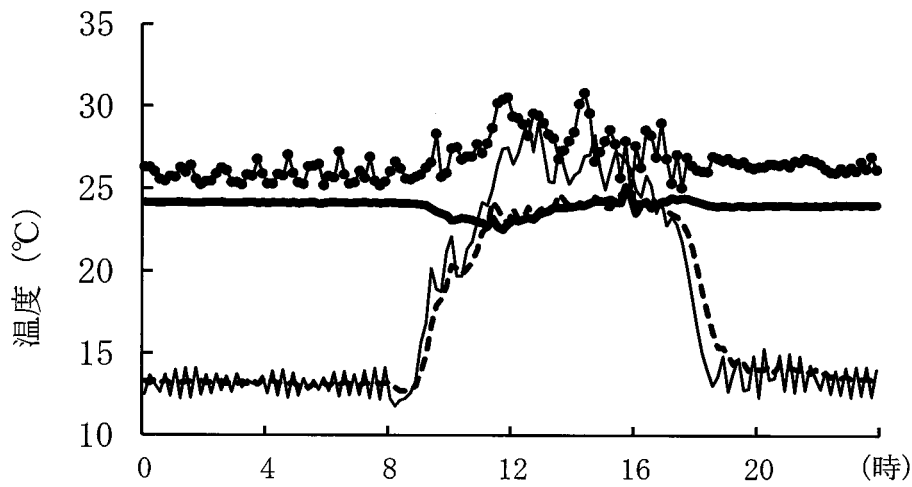


図2-3 ナス‘筑陽’株元加温株の茎内および電熱線温度の経時変化

(最低気温12℃管理, 2007年 2月14日測定)

— 株元加温区茎内温度 — ハウス内気温
 - - - 無処理区茎内温度 ● 電熱線温度

表2-6 最低温度および株元加温がナス‘筑陽’の時期別商品果収量, 収穫果数に及ぼす影響

処理区	10~11月		12~ 6月	
	収穫果数 (本・m ⁻²)	商品果収量 ^z (t・10a ⁻²)	収穫果数 (本・m ⁻²)	商品果収量 (t・10a ⁻²)
10℃ 株元加温	15	2.2	143 b	13.9 b ^y (112) ^x
10℃ 無処理	15	2.1	134 c	12.4 c (100)
12℃ 株元加温	14	2.1	151 a	14.9 a (120)
12℃ 無処理	15	2.2	145 b	14.0 b (113)
分散分析 ^w	n. s.	n. s.	*	*

^z 上物収量+中物収量

^y 異なる英文字間には, Tukey-Kramerの多重比較検定により 5%水準で有意差があることを示す

^x ()内の値は, 最低温度10℃の無処理を100とした場合の比率

^w *は 5%水準で有意差があり, n. s. は有意差がないことを示す

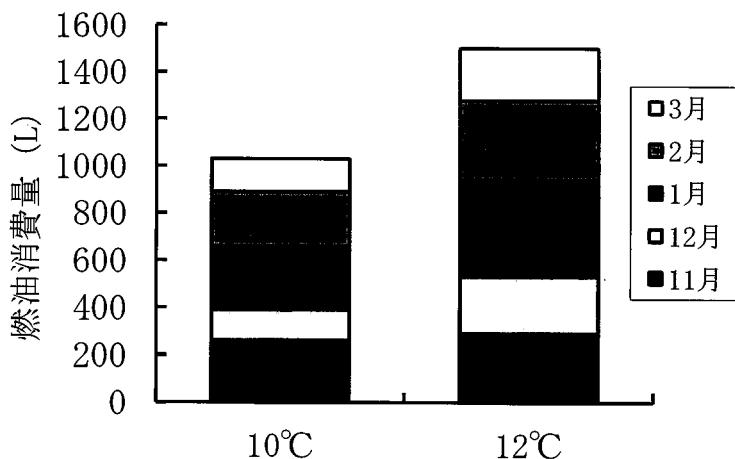


図2-4 最低温度10°Cまたは12°Cに管理したハウスの燃油消費量（ハウス面積は120㎡）

考察

現在，本県のナス農家の大部分は最低気温を概ね 12°Cで管理し，10 a 当たり 15 t の平均商品果収量を得ている（福岡県農林水産部経営技術支援課，2009b）．本実験の最低気温 10°Cハウスの株元加温区では，10 a 当たりの商品果収量は 16.1 t で，この水準に達している．そこで，本実験結果に基づいて暖房コストの削減効果の検討を行った．

最低気温 10°C管理における燃油消費量は，最低気温 12°C管理と比較して 31%少なかった．また，野菜や花の促成栽培で利用されている暖房用燃料消費量の試算ツール（高市，2007）を用い，福岡県の一般的なハウス形状，被覆条件での 10 a 当たり暖房用燃料消費量を算出した結果でも，最低気温 10°C管理は 12°C管理と比較して消費量が 40%少ない．また，本実験における株元加温の電気代は 10 a 当たり約 9 万円，電熱線，制御装置などの減価償却費は 10 a 当たり約 10 万円・年⁻¹を要したが，ハウスの最低気温を 2°C下げた場合（12°C→10°C），暖房用燃料費を 32 万円（試算ツールを用い，A 重油価 80 円・L⁻¹で算出）減らせるため，株元加温による暖房コストの削減効果は明らかである．

以上の結果から，ナスの促成栽培において 12~4 月まで株元の茎を約 25°Cに加温する株元加温により，最低気温を 2°C下げた環境下でも慣行と同等の収量が得られ，暖房用燃料コストを大幅に削減できることが明らかになった．また，著者らは本実験で実施した電熱線の巻き付けに係る作業時間を短縮する目的で，電熱線を茎に沿わせる手法も開発し（未発表），その作業時間および賃金が 10 a 当たり 15.1 h/人，約 1.2 万円（賃金単価 804 円・h⁻¹（福岡県農業会議，1999）で算出）になることも実証している．

要約

ナスの促成栽培における暖房コストの削減を目的として，最低温度が異なるハウスにおける主枝の株元部分の茎の加温が収量および品質に及ぼす影響を検討した．最低気温を

10℃で管理したハウスで株元加温した区の商品果収量は、最低気温を12℃で管理したハウスの無処理区と同等であった。これらの結果から、ナスの促成栽培では株元加温により暖房コストを大幅に削減できることが示唆された。

第3節 株元加温がトマトの促成栽培における着果、収量および品質に及ぼす影響

トマトの促成栽培では最低気温を8~10℃より高い温度で管理する必要がある(福岡県農林水産部経営技術支援課, 2009c)が, 近年の燃料価格の高騰が農家経営を圧迫する状況にあり, 暖房コストを大幅に削減できる新しい栽培技術の開発が求められている(鈴木ら, 2008).

暖房コストを削減する手段の一つとして, 最低気温を下げる事が考えられる. しかしながら, トマトを10℃以下で栽培すると, 葉・花芽などの植物体各部器官の分化・発育が緩慢になり, 着果数の低下や乱形果の発生が顕著になる(藤村ら, 1964; 村松ら, 1967; 斎藤ら, 1962; 豊富ら, 1973)ため, 経済栽培において安易に最低温度を低下させることはできない. トマトは各器官によって温度反応が異なり, 細胞分裂が盛んな根, 茎頂分裂組織および花器は特に低温による障害が発生しやすく, 肥大期後期の果実や伸長した茎葉は比較的低温による障害を受けにくいことが知られている(田中・安井, 1986). このことを活用して, トマトの養液栽培では根圏の局所加温による増収効果(藤重ら, 1991)や暖房コスト削減効果(岩手県農林水産部農業普及技術課, 2006年)が報告されている. しかし, 土耕栽培においては, 根圏の局所加温は加温用資材の設営に多くのコストと労力を要する(宮城県農林水産部農業支援課, 2004). このほか, 分裂組織および花房付近を加温する局所加温も検討され, 着果率向上(河崎ら, 2010; 森山ら, 1999), 増収および燃油消費量削減(河崎ら, 2011)などの効果が報告されている. しかしながら, 本手法は植物体の生長とともに移動する分裂組織および花房付近を加温する必要があるため, 局所加温に用いる熱源(電球や温風ダクト)を頻繁に移動さなければならず, 植物体が繁茂したハウス内における移動作業は極めて煩雑であることが実用化の大きな障壁になっている.

前節までに述べたように, 著者はナスの土耕栽培において株元加温を検討し, 本手法によって1~6月の収穫果数が多くなり商品果収量も増加すること, さらにハウスの最低温度が10℃の条件下でも福岡県の慣行(最低気温12℃)と同等の収量が得られ, 暖房コストを大幅に削減できること(森山ら, 2011, 2012a)を明らかにした. しかし, ナス以外の品目における株元加温の影響について検討した報告はない.

そこで, 本研究ではトマトの土耕栽培において, 株元加温が収量および品質に及ぼす影響について検討した.

材料および方法

実験は, 福岡県農業総合試験場野菜栽培部(福岡県筑紫野市, 細粒灰色低地土, 砂壤土)の間口6 m, 奥行き20 m, 軒高3.2 m, 体積約400 m³, 南北方向単棟ビニルハウスで行った. 穂木として‘ハウス桃太郎’, 台木として‘がんばる根’を用い, 2007年9月3日に穂木, 台木をそれぞれ播種し, 9月19日に斜め切断接ぎ木を行った後, 10.5 cm黒ポリポットに鉢上げをした. 10月19日に第1花房開花期の苗を畝幅200 cm, 条間130 cm, 株間35 cm, 2条植えで定植し, その後, 斜め誘引整枝を行った. 処理区として株元加温区と無処理区を設けた. 株元加温区では, 茎の地際から高さ約25 cmまでの部位に長さ60 cmの電熱線(DP325040: 三相型200V/500W/40m, 松下電工)を巻き付けた. 電熱線にサーモセン

サーを直接固定し、2007年12月27日～2008年4月30日の間、電熱線の温度が $20 \pm 2.0^{\circ}\text{C}$ を保つように制御した。各花房において3花開花時にトマトーン100倍液を噴霧し、着果確認後、各花房を上限4果に摘果した。果実の収穫期間は2007年12月28日から2008年6月4日までで、摘芯は第11花房の直上葉2枚を残して行った。ハウス内の温度をハウス中央部の地上高1m地点に設置した温度センサにより測定し、昼間は午前を 25°C 、午後を 23°C でサイドビニルを開放するように自動管理し、夜間は白灯油を燃料とした温風暖房機で、最低気温が 8°C 以下にならないようにした。基肥を10a当たり窒素11kg、リン酸35kg、加里11kg、追肥を10a当たり窒素10kg、リン酸10kg、加里10kg施用し、1区当たり5株、3反復で実験を行った。

八分着色以上の果実を随時収穫し、収穫物を博多とまと選果基準（本県JA全農ふくれんとまと部会作成）に基づいて3段階（上物、中物、下物）に分類し、それぞれ果数および果重を測定した。上物と中物に分類された果実を市場に出荷可能な果実（以下、商品果）とみなし、合計収量を算出した。各花房における開花日および収穫日を調査して開花から収穫までの日数を算出した。

結果

第5～11花房において株元加温が花房別の開花日、収穫日、収穫果数、空洞果の発生率、商品果率および商品果数に及ぼす影響を表2-7に示す。第1～11花房における開花日および収穫日は、株元加温区と無処理区との間に有意な差が見られなかった（一部データ略）。第1～5および9～11花房の収穫果数および商品果数には株元加温区と対照区との間に有意な差は見られなかった（一部データ略）。一方、12月下旬～2月上旬に開花して3月下旬～4月中旬に収穫した第6～8花房では収穫果数および商品果数とも株元加温区の方が対照区より多かった。特に、株元加温区における第7花房の商品果数は対照区の約1.7倍であり、顕著な差異が認められた。第6、7花房における空洞果の発生は、株元加温区の方が対照区より少なく、第7花房の商品果率は株元加温区が対照区の約1.5倍の値であり、顕著な差異が認められた。第5～11花房において株元加温が花房別の1日当たりの果実肥大量、商品果1果重および商品果収量に及ぼす影響について表2-8に示す。第1～6および10、11花房においては、1日当たりの果実肥大量および1果重に株元加温区と対照区との間の有意な差は認められなかった（一部データ略）。一方、第7～9花房においては1日当たりの果実肥大量および1果重とも株元加温区の方が対照区より大きかった。第1～5および10、11花房の商品果収量は株元加温区と対照区との間に有意な差は見られなかったが、第6～9花房では株元加温区の方が対照区より重かった（一部データ略）。

表2-7 株元加温がトマト‘ハウス桃太郎’の花房別の開花、収穫および商品果に及ぼす影響

花房	処理区	開花日 (月/日)	収穫日 (月/日)	1株あたりの			
				収穫果数(果)	空洞果率 ^z (%)	商品果率 ^y (%)	商品果数(果)
第5	株元加温	12/15	3/18	3.0	5.1	70.5	2.1
	対照	12/16	3/15	3.2	3.6	71.8	2.3
	t検定 ^x	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
第6	株元加温	12/31	3/31	3.7	12.3	70.8	2.6
	対照	12/28	3/26	2.9	18.9	66.9	1.9
	t検定	n. s.	n. s.	**	*	n. s.	*
第7	株元加温	1/13	4/8	3.2	29.6	64.2	2.0
	対照	1/13	4/6	2.8	36.4	41.5	1.2
	t検定	n. s.	n. s.	*	*	*	**
第8	株元加温	2/3	4/19	3.6	8.2	67.2	2.4
	対照	1/30	4/15	3.0	6.7	63.3	1.9
	t検定	n. s.	n. s.	**	n. s.	n. s.	*
第9	株元加温	2/20	4/29	3.0	0.0	70.5	2.1
	対照	2/17	4/29	3.0	0.0	70.3	2.1
	t検定	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
第10	株元加温	2/28	5/3	3.1	0.0	73.5	2.3
	対照	2/28	5/2	3.1	3.2	75.4	2.3
	t検定	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
第11	株元加温	3/13	5/16	3.0	0.0	68.1	2.1
	対照	3/11	5/13	3.0	3.8	67.0	2.1
	t検定	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.

^z 空洞果数÷総果数×100

^y (上物果数+中物果数)÷総果数×100

^x **, *はそれぞれ 1%水準, 5%水準で有意差あり, n. s. は有意差なし

表2-8 株元加温がトマト‘ハウス桃太郎’の花房別の果実肥大および収量に及ぼす影響

花房	処理区	1日当たりの果実肥大量 ^z (g・day ⁻¹)	商品果1果重 ^y (g)	商品果収量 (g)	総収量 (g)
第5	株元加温	1.5	144.4	364.0	517.9
	対照	1.7	143.6	408.1	585.4
	t検定 ^x	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
第6	株元加温	1.5	141.9	413.8	656.4
	対照	1.5	153.1	373.0	574.4
	t検定	n. s.	n. s.	*	*
第7	株元加温	1.8	150.1	338.2	532.5
	対照	1.2	96.6	209.3	548.3
	t検定	*	**	**	n. s.
第8	株元加温	2.1	145.1	432.0	642.1
	対照	1.7	121.1	359.1	567.3
	t検定	*	*	*	*
第9	株元加温	2.3	147.4	376.0	537.9
	対照	1.8	101.9	296.1	423.8
	t検定	*	**	*	*
第10	株元加温	2.3	141.4	462.2	629.7
	対照	2.1	132.0	445.5	590.3
	t検定	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
第11	株元加温	2.5	149.6	409.3	601.6
	対照	2.5	135.2	426.4	636.7
	t検定	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.

^z 収穫果実重÷開花から収穫までの日数

^y 上物果数+中物果数

^x **, *はそれぞれ 1%水準, 5%水準で有意差あり, n. s. は有意差なし

考察

トマトの単位面積当たりの商品果収量を決定する項目は、単位面積当たりの株数、株当たりの花房数、各花房当たりの収穫果数、収穫果に占める商品果率および商品果重が挙げられる。促成栽培では栽培期間や栽培ハウス形状などの条件によって単位面積当たりの株数や株当たりの花房数は概ね決定することから、高い商品果収量を得るには収穫果数の確保が重要である（末長，1997）。本実験においても単位面積当たりの株数および株当たりの花房数は株元加温区と対照区で同等であった。著者はナスの株元加温の実験において電熱線の温度を20℃に設定する制御法では、12～4月にかけて電熱線が発熱することを確認している（未発表）。本実験で株元加温中に果実が発育したのは12月下旬～2月上旬に開花し、3月下旬～4月中旬に収穫した第6～8花房であり、この花房における収穫果数および商品果数は、株元加温区の方が対照区に比べて多かった。トマトでは光合成作用が高ま

ることにより収穫果数が増加して 1 果重が重くなること(青木, 1997)が報告されている。茎の株元加温と植物の生理的反応, 生育との関係について, キュウリの挿し穂では茎基部を加温すると吸水速度が速くなり, 低温貯蔵後に挿し穂の発根が促進されること(寺倉ら, 2004), ナスでは株元加温により個葉の光合成速度が向上し, 着果数が増加すること(森山ら, 2011, 2012a)が報告されており, 本実験における株元加温区では加温期間の 12~4 月が開花および果実肥大期にあたった第 6~8 花房において同化作用や吸水量が大きくなって株の生育が旺盛になり, 収穫果数が増加したと推察される。

本実験における株元加温区では対照区と比較して, 第 6, 7 花房の空洞果の発生が減少して第 7 花房の商品果率が向上し, 第 7~9 花房の 1 果重が重くなった。空洞果は果肉部がゼリー状物質で充填されず, 果皮部と胎座部の間に空洞が生じる障害果で, 発生を減少させるには果実への同化産物の集積を促進させることが重要である(豆塚, 1997)。茎の局所加温と植物の生理的反応との関係について, ナスでは株元加温によって個葉の蒸散速度および光合成速度が向上し, 給液量が多くなること(森山ら, 2012a), スイカでは着果茎の加温により果実の糖集積が促進されること(加納ら, 2010)が報告されている。トマトにおいても株元加温によって同化産物の生産もしくは転流が促進され, 加えて果実への養水分供給が増加したために果実の多くが正常に発達し, 空洞果の発生が減少して商品果率が高まり, 1 果重も増加したものと考えられる。

以上のように, 株元加温区は対照区に比べて第 6~8 花房の収穫果数, 第 7 花房の収穫果に占める商品果率および第 7~9 花房の商品果重が向上したことにより, 12 月下旬~2 月上旬に開花し, 3 月下旬~4 月中旬に収穫した第 6~9 花房の単位面積当たり商品果収量が増加した。

以上の結果から, トマトの土耕栽培における株元加温では開花および果実肥大期が加温期間にあたる花房において商品果収量が増加することが明らかになった。これまでにナス栽培においては安価な資材で容易に設営でき, 暖房コストを大幅に削減できる実用的な株元加温システムが開発されており(森山ら, 2012b), 本結果はトマトの土耕栽培において収量性とコスト削減を兼ね備えた実用的な環境制御技術を確立する上で有効な情報になると考えられる。

要約

トマトの土耕栽培における暖房コストの削減を目的として, 主枝の株元部分の茎の加温が収量および品質に及ぼす影響を検討した。電熱線を用いて主枝の株元部分の茎を加温することにより, 開花および果実肥大期が加温期間にあたった一部の花房では収穫果数の増加, または空洞果の発生が減少して商品果率が高まり, 1 果重も増加した。これにより, 12 月下旬~2 月中下旬に開花し, 3 月下旬~4 月下旬に収穫した第 6~9 花房の商品果収量は株元加温区の方が対照区に比べて増加した。

第4節 株元加温がキュウリの着果に及ぼす影響

先に述べたように近年の燃料価格の高騰は農家経営をさらに圧迫する状況にあり、暖房コストを大幅に削減できる新しい栽培技術の開発が求められている(坂田ら, 2008)。キュウリ栽培においても例外ではなく、促成栽培における暖房コストが年々高額になりつつある。暖房コストを削減する手段の一つとして、最低温度を下げるのが考えられるが、キュウリ栽培において夜間を低温で管理すると、転流不良と呼吸消費の抑制によって葉に同化物質が過剰に滞留し、その結果、同化物質の生産能力が低下して生育が停滞するため(土岐, 1970; 稲山ら, 1973)、経済栽培において安易に最低温度を低下させることはできない。このためキュウリの促成栽培では生育ステージ別に最低温度を10~15℃以上に管理することが推奨されている(福岡県農林水産部経営技術支援課, 2009a)。一方、キュウリは地温を高めることによって生育が促進され(堀ら, 1968)、養液栽培では培養液加温による増収効果(佐々木, 1995)が報告されている。しかし、土耕栽培において地温を高めるには加温用資材の設営に多くのコストと労力を要すること(宮城県農林水産部農業支援課, 2004)が課題である。

このような中で、著者は前節までに示したようにナス、トマトにおいて株元加温を検討し、ナスでは側枝の成長促進による増収効果や省エネ効果があること(森山ら, 2011, 2012a)を明らかにし、トマトでは収穫果数や商品果率、1果重の増大による増収効果を認めた。

株元加温は、野菜、特に最低温度を比較的高温で管理する果菜類の促成栽培にとって有効な管理技術になりうると考えられるが、これまで報告されているのはナスおよびトマトといったナス科野菜であり、それ以外の果菜類では報告されていない。株元加温によりナス科以外の果菜類においても、暖房コストを削減しながら生育を促進できれば、わが国における施設野菜の発展に寄与すると考えられる。

そこで本実験では、キュウリへの株元加温が生育および養水分吸収に及ぼす影響について調査した。

材料および方法

実験は福岡県農業総合試験場の自然光型ファイトトロン(小糸製作所)で行った。キュウリ‘グリーンラックス’(埼玉原種育成会)の種子を2011年2月1日に園芸培土を充填した72穴セルトレイに播き、最低気温15℃のビニルハウスで育苗した。図2-5に示すようにポリプロピレン製容器(縦16 cm×横12 cm×高さ7 cm, 矢崎化工)内にプラスチック台(縦12 cm×横9 cm×高さ2.3 cm, みのる産業)を入れ、その上に高吸水性不織布(縦25 cm×横12 cm×厚さ3 mm, 東洋紡績)と防根透水シート(縦25 cm×横12 cm×厚さ0.1 mm, 東洋紡績)を敷設して、2011年3月9日にセル苗を定置した。栽培期間中は昼温(7:00~19:00)を23℃、夜温(19:00~7:00)を13℃、湿度70%とし、根域への光の侵入を遮断するとともに地上部と根域部との断熱のため、本容器上部に発泡スチロール板(縦20 cm×横15 cm×厚さ1 cm)を設置した。

試験区として株元の茎部を加温する区(以下、株元加温区)および対照区を設けた。株

元加温区では株元に面状発熱体（フィルムヒーター，抵抗値 80 Ω 縦 8.4 cm，横 5.4 cm，厚さ 0.2 mm，シンワ測定）を装着した．株元加温区の加温部位では根域上面の高さ 1～9 cm 部分の茎を面状発熱体で包み込み，さらにその上面を発泡ポリエチレンシート（縦 7cm，横 6cm，厚さ 4mm）で包み込んだ．加温温度は面状発熱体と発泡ポリエチレンシートで包み込んだサーモセンサーが 25℃になるように制御した．加温期間は 2011 年 3 月 15 日～4 月 29 日までとした．培養液には OKF-1（大塚化学）の 1,000 倍液を用い，根域の下が約 5 mm 浸る程度に適宜補充した．実験は 1 区当たり 3 株を供し 3 反復した．

根域上面から高さ 5 cm の茎の表面温度，根域中心部分の温度（以下，根域温度）および培養液の液温を温度記録計（RT-30S，エスペック）を用いて，1 分間隔で記録した．加温開始 45 日後に茎長，葉身長が 5 cm 以上の主枝葉数とその葉面積（以下，主枝葉面積），葉長が 5 cm 以上に成長した側枝数，着果数，葉重，茎重，側枝重，根重および果実重を調査した．葉重，茎重，側枝重，根重および果実重は乾物重を測定した．乾物重は 80℃の乾燥器内で 24 時間通風乾燥したのちに測定した．また，栽培期間中に毎日一定量になるように補充した培養液の総量（以下，給液量）を算出した．

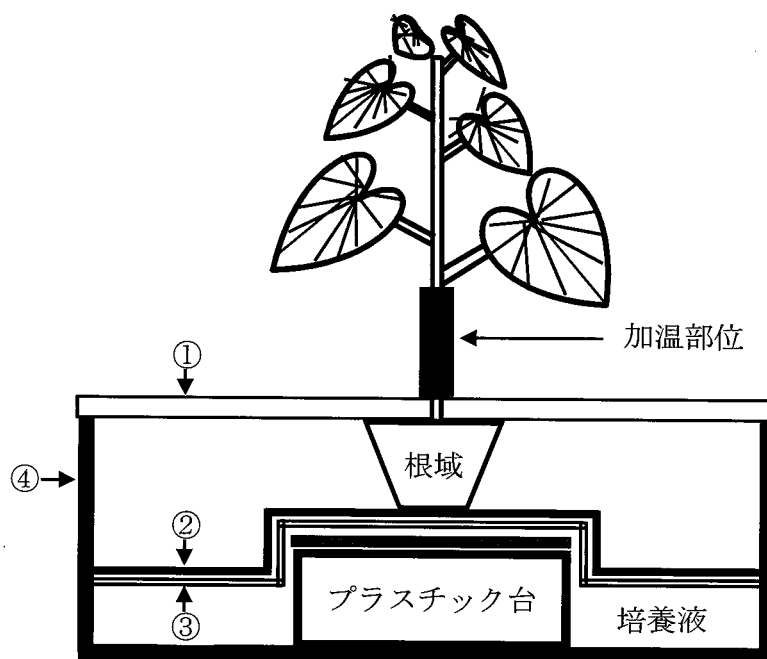


図2-5 キュウリの株元加温の方法

- ①：発泡スチロール板，②：防根透水シート，③：高吸水性不織
④：ポリプロピレン製容器

結果

株元加温が茎表面，根域および培養液の温度に及ぼす影響を表 2-9 に示す。茎表面温度は株元加温区の方が対照区より高かったが，根域温度および培養液温度では株元加温区と対照区との間に有意な差が見られなかった。

株元加温が加温開始 45 日後の主枝茎長，主枝葉面積，主枝葉数，側枝数および着果数に及ぼす影響を表 2-10 に示す。主枝茎長および葉数には処理区間で有意差は認められなかったのに対し，主枝葉面積，側枝数および着果数は株元加温区の方が対照区より大きかった。

株元加温が加温開始 45 日後の主枝の葉重と茎重，側枝重，根重，果実重および給液量に及ぼす影響について表 2-11 に示す。主枝葉重と茎重，側枝重および根重は株元加温区の方が対照区より大きかったのに対し，果実重には株元加温区と対照区で有意な差が認められなかった。

加温開始～45 日間の株当たりの給液量は株元加温区の方が対照区より 15 %多かった。

表2-9 株元加温がキュウリ‘グリーンラックス’の茎表面，根域部および培養液の温度に及ぼす影響

試験区	茎表面温度 (°C)		根域温度 (°C)		培養液温度 (°C)	
	昼間	夜間	昼間	夜間	昼間	夜間
株元加温	25.2 ^z	26.5	21.2	12.2	20.2	11.2
対照	20.4	10.7	21.2	11.9	20.4	11.1
t検定 ^y	*	**	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.

^z 昼間：7:00～19:00，夜間：19:00～7:00

^y **, *はそれぞれ 1%水準，5%水準で有意差があり，n. s. は有意差がないことを示す

表2-10 株元加温がキュウリ‘グリーンラックス’の生育に及ぼす影響

試験区	主枝			側枝数 ^z (本)	着果数 (果)
	茎長 (cm)	葉数 (枚)	葉面積 (cm ² /株)		
株元加温	70.3	12.3	1,086	7.3	8.3
対照	72.0	12.3	1,006	4.0	6.3
t検定 ^y	n. s.	n. s.	*	**	*

^z 葉身長が1cm以上の側枝の数

^y **, *はそれぞれ 1%水準，5%水準で有意差があり，n. s. は有意差がないことを示す

表2-11 株元加温がキュウリ‘グリーンラックス’の乾物重，給液量に及ぼす影響

試験区	主枝		側枝重 (g)	根重 (g)	果実重 (g)	給液量 (ml/株)
	葉重 (g)	莖重 (g)				
株元加温	8.2	2.8	0.3	1.8	2.5	2,314
対照	7.0	1.9	0.1	1.4	3.6	2,011
t検定 ^z	*	*	**	*	n. s.	*

^z *は5%水準で有意差があり，n. s. は有意差がないことを示す

考察

キュウリにおける局所の温度と生育については，培地温を23℃に高めることによって草丈，葉数，最大葉の葉身長，側枝数，莖葉重および根重が増加すること（堀ら，1968）が報告されている．キュウリを用いた本実験における株元加温区は対照区に比べて主枝の葉面積，側枝の発生数，莖葉重，側枝重および根重が大きくなった．この結果から，キュウリにおける株元加温は培地温を高めることと同様に主枝，側枝および根の成長が促進されることが明らかになった．

莖部の局所加温と植物の生理的反応との関係について，ナスでは株元を加温することによって個葉の蒸散速度および光合成速度が向上して給液量が多くなること（森山ら，2012a）が報告されている．葉の蒸散には気温，湿度および空気流量などの環境条件が影響し，根および莖における水の通導抵抗が大きくなると葉の水ポテンシャルが低下して気孔が閉じやすくなり，蒸散速度が低下すること（伊藤，1994），茶樹では莖の温度が高くなるほど水の通導抵抗が小さくなること（福田ら，1993）が報告されている．本実験では葉周辺の温度，光強度，炭酸ガス濃度および空気流量が同一で，根の周囲に吸収できる水が十分にある条件下で行った結果，株元加温区は対照区に比べて加温開始後の株当たり給液量が多くなり，主枝および側枝の成長が促進された．株元加温区では莖部のみの温度が上昇していることから，給液量の増加は莖の通導抵抗が減少して水の運搬機能が高まったためと考えられ，この給液量増加によって養水分吸収量が多くなったことが，主枝および側枝の成長促進に影響を及ぼしたと推察される．

キュウリの栽培品種において高い収量を得るには側枝の発生数と，主枝および側枝における着果数の確保が重要である（高橋，1998）．ナス栽培における株元加温では側枝数が増加しており（森山ら，2012a），キュウリを用いた本実験においても同様の結果となった．また，キュウリは単為結果性が強いため，結実には受粉，受精の成否は影響しないものの光，温度，湿度および養水分条件は影響を及ぼし，花芽発育中における栄養条件が不良な場合，雌花の発育が悪く結実できない（斉藤，1982）．本実験の株元加温区は対照区に比べて主枝に結実した果実数が多かった．株元加温区は対照区より給液量が増加して養水分の吸収量が増えたために花芽の多くが正常に発育し，結実できない花が減少したものと考

えられる。

以上の結果から、株元加温によって高い収量を得るのに重要な側枝の発生数と、主枝における着果数が増加することが明らかになった。ナス栽培ではハウスの最低温度が 10℃の条件下でも株元加温の増収効果によって最低気温 12℃と同等の収量が得られ、暖房コストを大幅に削減できること（森山ら，2011）が明らかにされている。本報告はナス科だけではなくウリ科のキュウリ栽培においても、収量性とコスト削減を兼ね備えた、より効率的な環境制御技術を確立する上で有効な情報になると考えられる。

要約

キュウリに対する株元加温が生育および養水分吸収に及ぼす影響を検討した。ナス科植物における報告と同様にウリ科のキュウリでも、株元加温により主枝および側枝の成長が促進され、側枝の発生数および主枝の着果数が増加した。また、株元加温によって根の成長が旺盛になり、給液量が多くなった。

第3章 株元加温方法の違いがナスの生育に及ぼす影響

第1節 株元加温による温度が促成ナスの着果，収量および品質に及ぼす影響

著者は前章で25℃に制御した電熱線を用いた促成ナスの株元加温について検討し，収穫果数ならびに商品果収量が増加することおよび暖房コストを大幅に削減できることを明らかにした（森山ら，2011）．株元加温は今後のナスの促成栽培にとって有効な管理技術になりうると考えられるが，長期間にわたって安定した収量を確保しながら，暖房コストを可能な限り削減できる環境制御技術を確立するためには，増収効果が発揮される最も低い加温温度を明らかにする必要がある．局所加温における温度の影響について，ナスの挿し穂では26℃および31℃の茎部加温により発根が促進すること（清水ら，2008），トマトでは根温10～30℃で生育すると果実収量が良好であり，根温10℃および36℃では結果と果実肥大が不良なこと（藤重ら，1991）等が報告されているが，ナスの促成栽培または株元加温における報告はない．

そこで，本実験ではナスの株元加温における温度が着果，収量および品質に及ぼす影響について検討した．

材料および方法

実験は福岡県農業総合試験場野菜栽培部（福岡県筑紫野市，細粒灰色低地土，砂壤土）の間口6 m，長さ20 m，軒高3.2 m，容積約400 m³，南北方向単棟パイプハウスで，2006年9月から2007年6月まで（以下，2006年植）と，2007年9月から2008年6月まで（以下，2007年植）の二期間で行った．2006，2007年植の栽培期間における気象は平年に比べて平均気温が高く，日照時間は長かった．穂木に‘筑陽’，台木に‘トナシム’を用い，ハウスの最低気温を2006年は12℃，2007年は10℃に制御した．試験区として，2006年植では株元の茎を15℃，20℃，25℃，30℃に加温する区（以下，15℃加温区，20℃加温区，25℃加温区，30℃加温区）および無処理区の5区，2007年植では15℃，20℃，25℃加温区および無処理区の4区を設けた．電熱線による株元加温の概要を図3-1に示す．株元加温区では低コスト化および省力のために主茎の地際から高さ約25 cmまでの部位に，電熱線（E2050120：三相200 V・500 W¹・120 m¹，荏原電線）を逆U字型に沿わせて固定し，主枝と電熱線を保温シート（縦横25 cm，厚さ4 mm，Zen）で包み込んだ．サーモセンサーは地際と分枝部の中間地点で，電熱線と主茎の間に固定し，電熱線の温度を制御した．加温は2006年12月1日から2007年4月30日まで（2006年植），および2007年12月1日から2008年4月30日まで（2007年植）行った．

2006年9月20日（2006年植），および2007年9月7日（2007年植）に第1花開花期の苗を定植し，第1主枝は第9花開花時，第2主枝は第8花開花時および第3，4主枝は第7花開花時に，それぞれの花房の直上葉を1葉残して摘芯した．また，果実収穫後は1芽を残して側枝を切り戻した．10 a当たりの肥料成分量は窒素58 kg，リン酸36 kgおよび加里50 kgとし，1区当たり3株を供試し，3反復で実施した．

長さ18 cm以上の果実を適時収穫し，外観の形状で3段階（上物，中物，下物）に分類

し、それぞれについて果数および果重を測定した。上物と中物に分類した果実（以下、商品果）の合計収量を算出した。1日当たりの果実肥大量は、収穫物の果重を開花日から収穫日までの日数で除して算出した。また、各主枝において発生した1次側枝毎に開花日、着果および収穫の有無、ならびに2次側枝以降の側枝で開花および着果が見られた側枝数（順に開花側枝数、着果側枝数）を調査した。電熱線の温度および主茎中央部の茎内の温度は温度記録計（RTR-51, T&D）を用い、10分間隔で測定した。また、電熱線の稼働時間は電力稼働時間計測器（H7ET-N1, OMRON）で測定し、電気料金は実験当時（2007年）の九州電力株式会社における低圧季時別電力設定に基づいて算出した。



電熱線の装着方法



保温シートの装着方法

図 3-1 電熱線による株元加温の概要

結果

電熱線の夜間の表面温度は、15℃加温区で $15.1 \pm 1.3^\circ\text{C}$ 、20℃加温区で $20.4 \pm 2.3^\circ\text{C}$ 、25℃加温区で $26.6 \pm 2.5^\circ\text{C}$ 、30℃加温区で $33.0 \pm 2.6^\circ\text{C}$ であった（データ略）。株元加温区および無処理区の茎内温度の推移を図 3-2 に示す。夜間の茎内温度は無処理区で $12.3 \pm 1.0^\circ\text{C}$ であったのに対し、15℃加温区では $15.1 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 、20℃加温区では $20.6 \pm 0.3^\circ\text{C}$ 、25℃加温区では $26.9 \pm 0.4^\circ\text{C}$ で推移した。なお、株元加温の30℃加温区では加温開始から45日の時点で約60%の株が枯れたため、試験を中止した。

株元加温の加温温度の違いが側枝数および着果側枝率に及ぼす影響を表 3-1 に示す。1株当たりの1次側枝数には処理区間に有意な差が認められなかった。1株当たりの開花側枝数、着果側枝数は、15℃加温区と無処理区とで有意な差は認められなかったが、20℃および25℃加温区では無処理区より多かった。着果側枝率には年次間差が認められたが、加

温温度間には有意な差は認められなかった。

株元加温の温度の違いが1日当たりの果実肥大量に及ぼす影響を表3-2に示す。1日当たりの果実肥大量は、2006年植の1月では20℃および25℃加温区、2月では20℃加温区、3月では25℃加温区においてそれぞれ無処理区より大きかった。2006年植、2007年植における試験区の商品果重は、129～135 gの範囲で処理区間に有意な差は認められなかった（データ略）。2007年植における株元加温の温度の違いが時期別商品果収量および総収量に及ぼす影響を表3-3に、1～4月の月別商品果率に及ぼす株元加温の影響を表3-4に示す。2006年植、2007年植のいずれにおいても10～11月の商品果収量および総収量は、株元加温区と無処理区との間に有意な差は認められなかった。一方、2006年植における12～6月の商品果収量および総収量は、20℃および25℃加温区の方が無処理区より多かった。また、2007年植においても12～6月の商品果収量および総収量は20℃加温区の方が無処理区より多かった。2007年植の商品果率を比較すると、2、3月において20℃加温区の方が無処理区より高かった。

株元加温区の温度の違いが電力消費時間に及ぼす影響を図3-3に示す。2006年植では25℃加温区で約1,400時間、20℃加温区で約850時間、15℃加温区で約150時間であり、2007年植の25℃加温区では約2,000時間、20℃加温区では約1,000時間、15℃加温区では約250時間であった。また、栽培期間の電気費用は加温温度20℃の電力消費時間から試算すると10 a当たり約9万円だった（データ略）。

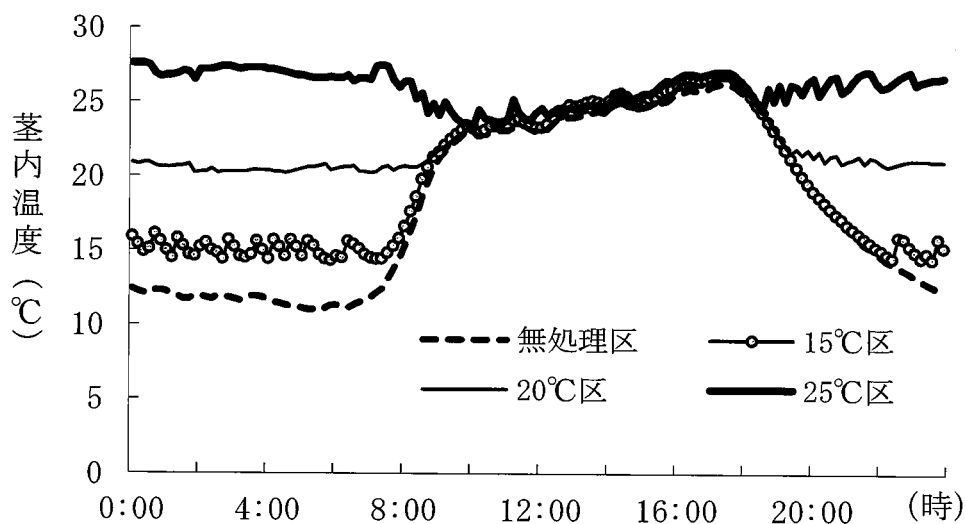


図3-2 株元加温によるナス‘筑陽’茎内温度の経時変化
(最低気温10℃管理, 2007年 4月 4日測定)

表3-1 ナス‘筑陽’における株元加温温度の違いによる開花側枝数，着果側枝数，着果側枝率の変化

年次	加温温度 (°C)	1次側枝数 (本/株)	開花側枝数 (本/株)	着果側枝数 (本/株)	着果側枝率 ^z (%)
2006年植	15	35.4 a ^y	120.3 b	113.3 b	94.2 a
	20	34.3 a	126.0 a	122.1 a	96.9 a
	25	35.1 a	124.7 a	120.4 a	95.8 a
	無処理	34.4 a	118.0 b	111.7 b	94.6 a
2007年植	15	35.8 a	148.3 b	137.0 b	92.4 a
	20	35.1 a	157.7 a	148.3 a	94.1 a
	25	34.2 a	156.0 a	147.0 a	94.2 a
	無処理	34.4 a	149.0 b	137.3 b	92.2 a
有意性 ^x	年次(A)	n. s.	**	**	**
	加温温度(B)	n. s.	**	**	n. s.
	(A) × (B)	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.

^z 着果側枝数 ÷ 開花側枝数 × 100

^y **, *はそれぞれ1%水準，5%水準で有意差があり，n. s. は有意差がないことを示す

^x 同一年同一カラム内の異なる英小文字間には 5%水準で有意差あり
(Tukey-Kramerの多重比較検定)

表3-2 ナス‘筑陽’における株元加温温度の違いによる1日当たりの果実肥大量の変化

年次	加温温度 (°C)	1日当たりの果実肥大量 ^z (g・day ⁻¹)				
		12月	1月	2月	3月	4月
2006年植	15	4.6 a ^y	4.0 b	4.4 b	5.4 b	6.7 a
	20	4.7 a	4.5 a	4.6 a	5.3 b	6.7 a
	25	4.8 a	4.3 a	4.4 b	5.6 a	6.7 a
	無処理	4.7 a	4.0 b	4.4 b	5.3 b	6.7 a
2007年植	15	4.7 a	3.6 b	3.7 a	5.0 a	5.8 a
	20	4.7 a	3.9 a	3.8 a	4.8 a	6.0 a
	25	4.7 a	3.8 a	3.7 a	4.9 a	5.7 a
	無処理	4.7 a	3.5 b	3.6 a	4.9 a	5.8 a

^z 収穫果実重 (g) ÷ 開花から収穫までの日数 (day)

^y 同一年同一カラム内の異なる英小文字間には 5%水準で有意差あり
(Tukey-Kramerの多重比較検定)

表3-3 ナス‘筑陽’における株元加温温度の違いによる時期別商品果収量、および総収量の変化

年次	加温温度 (°C)	商品果収量 ^z				総収量 ^y	
		10~11月		12~6月		12~6月	
		果数 (果/m ²)	重量 (kg/m ²)	果数 (果/m ²)	重量 (kg/m ²)	果数 (果/m ²)	重量 (kg/m ²)
2006年植	15	9 a ^x	1.4 a	105 b	14.0 b	110 b	14.7 b
	20	9 a	1.4 a	113 a	15.2 a	118 a	15.9 a
	25	8 a	1.3 a	110 a	14.6 a	116 a	15.4 a
	無処理	8 a	1.3 a	102 b	13.8 b	110 b	14.9 b
2007年植	15	28 a	4.2 a	115 b	15.1 b	123 b	16.1 b
	20	27 a	4.0 a	123 a	16.1 a	132 a	17.2 a
	25	27 a	4.0 a	118 b	15.1 b	130 a	16.6 a
	無処理	28 a	4.1 a	113 b	14.8 b	122 b	15.9 b

^z 上物収量+中物収量。

^y 商品果収量+下物収量。

^x 同一年同一カラム内の異なる英文字間には 5%水準で有意差あり (Tukey-Kramerの多重比較検定)

表3-4 ナス‘筑陽’における株元加温温度の違いによる月別商品果率の変化

加温温度 (°C)	月別商品果率 ^z (%)			
	1月	2月	3月	4月
15	90 a ^y	91 b	92 b	93 a
20	92 a	94 a	93 a	95 a
25	91 a	87 b	89 b	93 a
無処理	93 a	88 b	90 b	95 a

^z 商品果数 (本) ÷ 収穫果数 (本) × 100

^y 同一カラム内の異なる英小文字間には 5%水準で有意差あり (Tukey-Kramerの多重比較検定)
2007年植 (2008年 1月~ 4月)

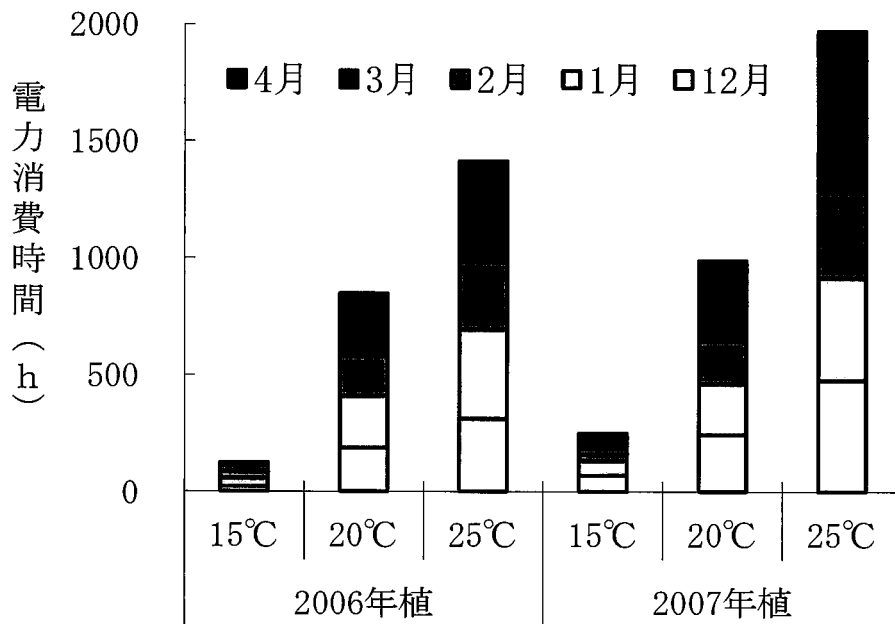


図3-3 株元加温温度の違いによる電力消費時間の変化

考察

ナスの単位面積当たりの商品果収量を決定する項目は、主枝に着生した果実を除けば、単位面積当たりの株数、株当たりの1次側枝数、各1次側枝当たりの収穫果数、収穫果に占める商品果率および商品果重が挙げられる。本実験では、このうちの単位面積当たりの株数、株当たりの1次側枝数および商品果重は株元加温区と無処理区で同等であった。

ナス栽培において高い商品果収量を得るためには、着果側枝数の確保に努めることが重要で（宮本，2000），着果側枝数を増加させるには各1次側枝における2次側枝以降の側枝数および着果側枝率を大きくし，加えて次の側枝の生長を早めるために果実肥大を促進させることが不可欠である。本実験における株当たりの着果側枝数は15°C加温区と無処理区との間に有意差が認められず，20°Cおよび25°C加温区では無処理区より多かった。1日当たりの果実肥大量は15°C加温区と無処理区との間に有意差が認められなかったが，20°Cおよび25°C加温区では無処理区より1月および2ないし3月で多かった。以上の結果から，株元の茎を20~25°Cに加温すると側枝の発生が促進され，果実の肥大量が大きくなることが明らかになった。

25°Cに制御した電熱線を用いた株元加温では無処理区より着果側枝率は高くなった（森山ら，2011）と報告されているが，本実験の着果側枝率は総ての株元加温区と無処理区で有意差は認められなかった。この要因としては，実験年は平年より日照時間が長く，落蕾および落花が少なかったために無処理区においても着果側枝率が92%と極めて高くなり，株元加温区と無処理区の差が小さくなったと考えられる。

一方、本実験の2006年植では12～6月の商品果収量および総収量は20℃および25℃加温区が無処理区より多かったが、2007年植では12～6月の商品果収量は20℃加温区のみが無処理区より多かった。2007年植の商品果率は20℃加温区のみが無処理区より高くなっており、このことが商品果収量の増加に繋がったと推察される。著者は前報(森山ら, 2011)で25℃に制御した電熱線を茎に巻き付ける株元加温では1～6月の商品果率および商品果収量が無処理区より増加したことを報告した。ただし、この実験における25℃株元加温区の茎内温度は24.1℃だったのに対し、本実験の25℃加温区の茎内温度は26.9℃と約3℃高かった。これは本実験の株元加温の手法が茎と電熱線を保温シートで包み込む手法であるため、熱が保温シート内に蓄えられて茎内温度が上昇したと推察された。また、本実験ではハウスの最低気温を2006年植は12℃、2007年植は10℃で制御したため、25℃加温区の加温時間は2007年植が2006年植より40%以上長かったことも原因の一つと考えられる。

野菜の茎葉部の局所加温における加温温度および加温時間と生育との関係について、イチゴのクラウン加温では生育促進効果は21℃以上の加温温度で認められ、温度が高くなるほど効果は高いが、25℃加温では1果重または果数が減少したこと(佐藤ら, 2010)が報告され、著者はナスの株元加温による側枝の生長は加温時間の長さに影響されること(森山ら, 2012a)を報告した。また、本実験の30℃加温区では枯死株が発生しており、25℃加温区の商品果率の低下には茎内温度や加温時間数等が影響したものと推察される。

以上の結果から、株元加温において茎を20℃に加温すると期間中の側枝数の増加および2, 3月の収穫果に占める商品果率が向上することにより12～6月の商品果収量の増加に結びつくことが明らかになった。

次に、株元加温の温度が消費電力に及ぼす影響を検討した結果、本実験における20℃加温区の電力消費時間は25℃加温区の約50%となり、栽培期間の電気費用は10a当たり約9万円となることが明らかになった。

以上のことから、ナスの株元加温において長期間にわたって安定した収量を確保しながら、暖房コストを大幅に削減できる温度は20℃が最適であることが明らかになった。

要約

ナスの促成栽培における株元加温の温度が着果、収量および品質に及ぼす影響について検討した。株元加温の温度を20℃にすると、側枝数の増加および収穫果に占める商品果率が向上することにより商品果収量が増加した。加温温度が20℃の場合、電力消費量は25℃の約50%となった。

第2節 加温部位がナスの主枝および側枝の生育に及ぼす影響

著者は第2章においてナスの株元加温について検討し、収穫果数ならびに商品果収量が增加することおよび暖房コストを大幅に削減できることを明らかにした(森山ら, 2011)。

株元加温は今後のナスの促成栽培にとって有効な管理技術になりうると考えられるが、長期間にわたって安定した収量を確保しながら、暖房コストを削減できる効果的な環境制御技術を確立するためには、株元加温がナスの形態的および生理的反応に及ぼす影響を明らかにする必要がある。加温による増収効果に関する野菜の形態的および生理的要因について、イチゴでは根域加温によって花房数が増加すること(金ら, 2009)や光合成速度が増加すること(宇田川, 1991)などが報告されているが、ナスでの報告は見当たらない。ナスの促成栽培では、長期間にわたって有効な結果側枝を増やすこと(宮本, 2000)や光合成を高めること(鐘ら, 1989)が増収につながると報告されている。

そこで、本実験では株元加温がナスの形態的および生理的反応に及ぼす影響を明らかにするため、加温部位がナスの主枝、側枝、根の生長および蒸散、光合成に及ぼす影響を調査した。

材料および方法

実験は福岡県農業総合試験場の自然光型ファイトトロン(小糸製作所)で行った。‘筑陽’の種子を2009年2月7日に園芸培土を充填した72穴セルトレイに播き、昼温(7:00~19:00)を20℃、夜温(19:00~7:00)を10℃、湿度70%条件下で栽培した。試験区として株元の茎部を加温する区(以下、株元加温区)、根域の底面を加温する区(以下、根域加温区)および無処理区の3区を設けた。株元加温区では株元に面状発熱体(フィルムヒーター、抵抗値80Ω、縦8.4cm、横5.4cm、厚さ0.2mm、シンワ測定)を装着する必要があるため、すべての区において2009年3月19日に、葉数7.1枚のセル苗の下位4葉を摘葉した。同日にポリプロピレン製容器(縦16cm×横12cm×高さ7cm、矢崎化工)内にプラスチック台(縦12cm×横9cm×高さ2.3cm、みのる産業)を入れ、その上に高吸水性不織布(縦25cm×横12cm×厚さ3mm、東洋紡績)と防根透水シート(縦25cm×横12cm×厚さ0.1mm、東洋紡績)を敷設して、セル苗を定置した。根域への光の侵入を遮断するとともに、地上部と根域部との断熱のため、本容器上部に発泡スチロール板(縦20cm×横15cm×厚さ1cm)を設置した。

養液栽培における加温の方法を図3-4に示す。株元加温区では根域上面の高さ1~9cm部分の茎を面状発熱体で包み込み、さらにその上に発泡ポリエチレンシート(縦7cm、横6cm、厚さ4mm)を装着した。加温温度は面状発熱体で包み込んだサーモセンサーが25℃になるように制御した。根域加温区ではプラスチック台と高吸水性不織布との間に面状発熱体を敷設した。加温温度は面状発熱体に直接固定したサーモセンサーが25℃になるように制御した。両区とも加温期間は2009年3月27日~4月19日までとした。培養液にはOKF-1(大塚化学)の1,000倍液を用い、根域の下が約5mm浸る程度に適宜補充した。実験は1区当たり3株を供し3反復した。

根域上面から高さ5cmの茎の表面温度、根域底面中央部の温度(以下、根域底面温度)、

根域中心部分の温度（以下、根域中心温度）および培養液の液温を温度記録計（RT-30S，エスペック）を用いて、1分間隔で記録した。2009年4月10日（晴天日）の11～12時に、主枝の10もしくは11枚目で水平に展開した葉（以下、展開葉）の蒸散速度および光合成速度を開放型携帯用光合成蒸散測定装置（LI-6400，LI-COR）を用いて測定した。測定時のチャンパー内環境は気温 20℃，光強度 1,200 mol・m⁻²・s⁻¹，炭酸ガス濃度 400 ppm，空気流量 500 mol・s⁻¹に設定した。加温開始 23 日後に葉身長が 5 cm 以上の主枝葉数とその葉面積（以下、主枝葉面積），茎長，地上部重，根重，主枝の茎葉重，葉身長が 5 cm 以上の葉を着生していた側枝数とその重量（以下、側枝茎葉重）および側枝の葉面積を調査した。また，第 1 花開花日を調査した。地上部重，主枝茎葉重および側枝茎葉重は新鮮重，根重は乾物重を測定した。乾物重は 80℃の乾燥器内で 12 時間通風乾燥したのちに測定した。また，栽培期間中に補充した培養液の総量（以下，給液量）を算出した。

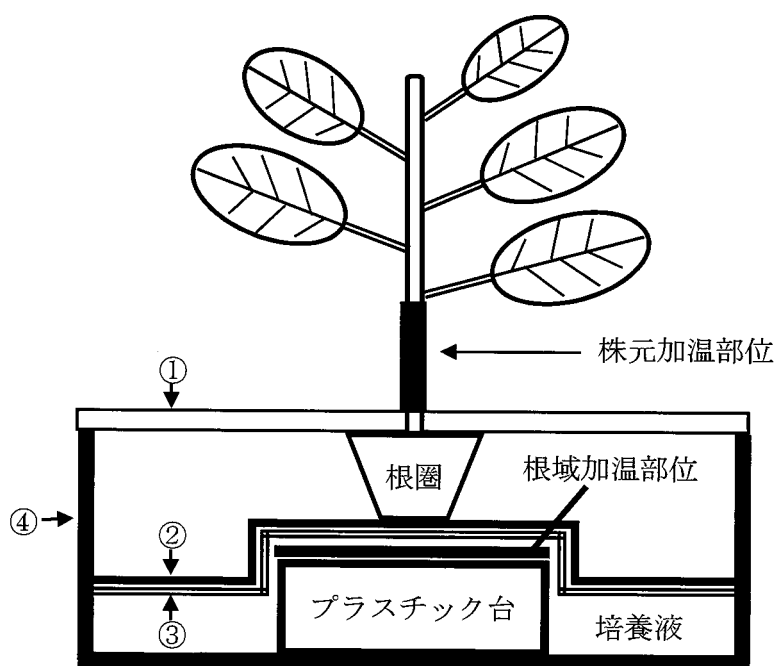


図3-4 養液栽培におけるナス‘筑陽’の局所加温の方法

- ①：発泡スチロール板，②：防根透水シート，③：高吸水性不織布
- ④：ポリプロピレン製容器

結果

加温部位がナスの茎部，根域周辺部および培養液の温度に及ぼす影響を表 3-5 に示す．茎表面温度は株元加温区で最も高く，根域加温区と無処理区では同等であった．根域底面温度および根域中央温度は根域加温区で最も高く，株元加温区と無処理区では同等であった．培養液温度は根域加温区で最も高く，夜間も 15.0℃を保ったのに対し，株元加温区および無処理区では差が見られなかった．

加温部位がナス個葉の蒸散および光合成速度，給液量に及ぼす影響を表 3-6 に示す．展開葉からの蒸散速度は，根域加温区で最も高く，株元加温，無処理と続いた．光合成速度および給液量は株元加温区と根域加温区で同程度であり，いずれも無処理区よりも大きかった．

加温 23 日後におけるナスの生育状況を図 3-5 に，加温部位が主枝および側枝の生育，根重，開花日および葉面積に及ぼす影響を表 3-7，図 3-6 に示す．加温開始 23 日後の主枝葉数には処理区間で有意差は認められなかった．主枝茎長，主枝葉面積および根重は根域加温区で最も高かったのに対し，側枝数，側枝葉面積および側枝茎葉重は株元加温区で最も高かった．特に，株元加温区における側枝葉面積と側枝茎葉重は，無処理区の 2 倍以上であり，顕著な差異が認められた．主枝茎葉重，地上部重および第 1 花開花日には株元加温区と根域加温区で有意な差が認められなかったが，いずれも無処理区より生育が促進されていた．株の葉面積のうち，側枝が占める割合は株元加温区で最も高く，33 %であったのに対し，根域加温区および無処理区では両区ともに 22 %で，差が見られなかった．

表3-5 加温部位がナス‘筑陽’の茎部，根域周辺部および培養液の温度に及ぼす影響

試験区	茎表面温度		根域底面温度		根域中央部温度		培養液温度	
	昼間 ² (°C)	夜間 (°C)	昼間 (°C)	夜間 (°C)	昼間 (°C)	夜間 (°C)	昼間 (°C)	夜間 (°C)
株元加温	24.8 a ^y	26.9 a	20.3 b	11.9 b	21.4 b	12.3 b	20.4 b	11.5 b
根域加温	19.8 b	10.6 b	24.0 a	20.7 a	23.4 a	17.8 a	23.0 a	15.0 a
無処理	20.2 b	10.7 b	20.5 b	11.9 b	21.1 b	12.0 b	20.6 b	11.3 b

² 昼間が7:00~19:00，夜間が19:00~7:00

^y 異なる英文字間には 5%水準で有意差あり (Tukey-Kramerの多重比較)

表3-6 加温部位がナス‘筑陽’の個葉^zの蒸散および光合成速度、給液量に及ぼす影響

試験区	蒸散速度 ($\text{mmolH}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	光合成速度 ^x ($\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	給液量 ($\text{mL}/\text{株}$)
株元加温	7.1 b ^y	15.0 a	1,492 a
根域加温	8.7 a	14.9 a	1,529 a
無処理	5.3 c	11.7 b	1,414 b

^z 2009年 4月10日に主枝10または11枚目の展開葉を測定

^y 異なる英文字間には 5%水準で有意差あり (Tukey-Kramerの多重比較)

^x 測定時のチャンバー内環境は気温20°C, 光強度 $1,200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 炭酸ガス濃度 400ppm, 空気流量 $500 \mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$

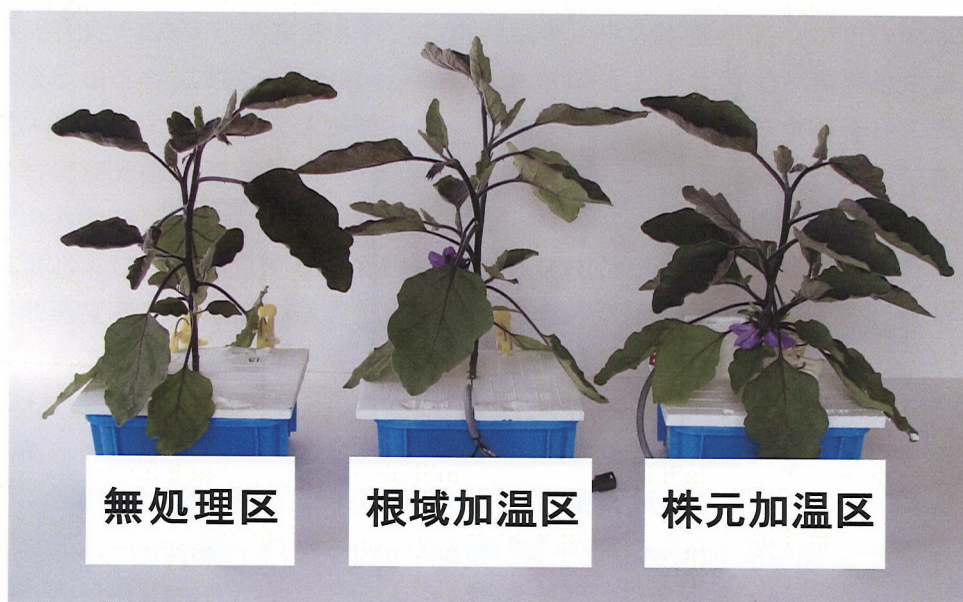


図3-5 加温 23 日後におけるナス‘筑陽’の典型的な生育状況

無処理区と比較して根域加温区では茎葉の伸長・発達が大きく、株元加温区では側枝の葉の発達が大きく、また第1側枝の開花も早い。

表3-7 加温部位がナス‘筑陽’の主枝および側枝の生育，根重，開花日に及ぼす影響

試験区	主枝				側枝数 (本)	側枝		地上部重 (g)	根重 (g)	第1花 開花日 (月. 日)
	葉数 (枚)	茎長 (cm)	茎葉重 ^x (g)	葉面積 (cm ² /株)		葉面積 (cm ² /株)	茎葉重 (g)			
株元加温	11.6 ^z a	25.4 b ^y	33.0 ab	712 b	4.8 a	343 a	15.1 a	48.0 a	2.1 b	4.12 a
根域加温	11.6 a	28.0 a	35.1 a	742 a	3.2 b	223 b	9.6 b	48.6 a	2.4 a	4.14 a
無処理	12.1 a	26.0 b	31.4 b	612 c	2.9 b	169 c	7.4 c	42.8 b	1.9 c	4.17 b

^z 調査は2009年 4月19日

^y 異なる英文字間には 5%水準で有意差あり (Tukey-Kramerの多重比較)

^x 茎葉重および地上部重は新鮮重，根重は乾物重

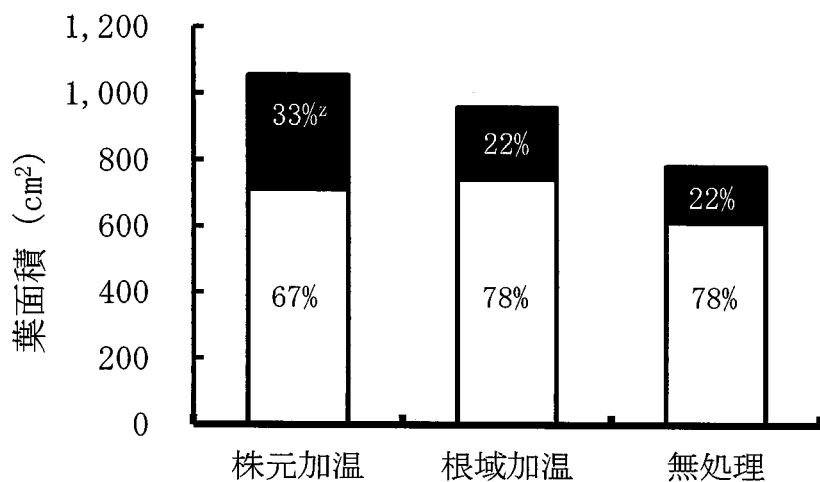


図3-6 加温部位がナス‘筑陽’の主枝および側枝の葉面積に及ぼす影響

^z 主枝および側枝の葉面積が株の総ての葉の葉面積に占める割合

□主枝 ■側枝

考察

ナス栽培において高い収量を得るためには、結果側枝数の確保が重要で(宮本, 2000), 側枝数の増加には側枝の生長および果実肥大の促進が不可欠である。温度, 湿度および光環境を同一条件にした本実験において, 株元加温区は無処理区に比べて側枝数が多く, 側枝茎葉重が重くなり, 第1花開花日が早くなった。以上の結果から, 株元加温による側枝の発生・生長の促進, 開花までの期間短縮という形態的な反応への影響を明らかにできた。

温度と植物の生理的反応, 特に水の動態との関係については, 根温に関して, イチゴでは根温の上昇により葉の蒸散速度が高くなり, 光合成速度が高くなること(宇田川, 1991), 茎部の加温に関して, キュウリの挿し穂では茎基部の切断部を浸した水を加温すると茎からの吸水速度が速まり, 貯蔵中の生体重の減少が抑制されること(寺倉ら, 2004)が報告されている。ナスの株元加温においても給水量が増加した点は類似しているが, イチゴの根やキュウリの挿し木の茎は水を吸収する部位であるのに対して, ナスの加温部位は水の運搬経路の茎という点が異なる。これまでにナスの株元加温と生理的反応との関係についての報告は見当たらない。植物の生理的反応に関しては, 葉の蒸散には気温, 湿度および空気流量などの環境条件が影響し, 水の通導抵抗が大きくなると葉の水ポテンシャルが低下して気孔が閉じやすくなり, 蒸散速度が低下すること(伊藤, 1994), 地温が低くなると水の粘性が増すとともに根の生理的活性が低下して水の通導抵抗が増加し, 吸水量が減少すること(平沢, 1994b)が報告され, 茶樹では茎, 根の温度が高くなるほど水の通導抵抗が小さくなること(福田ら, 1993)が報告されている。本実験では葉周辺の温度, 光強度, 炭酸ガス濃度および空気流量が同一で, 根の周囲に吸水できる水が十分にある条件下で蒸散速度および光合成速度を測定した結果, 株元加温, 根域加温区はともに無処理区に比べて個葉の蒸散速度および光合成速度が向上し, 加温開始後の株当たり給液量が多くなり, 地上部重および根重が重くなった。株元加温区では茎部のみの温度が上昇していることから, 蒸散速度の向上は茎の通導抵抗が減少して水の運搬機能が高まり, 葉への水の供給量が増加したことによるものと考えられた。一方根域加温区では培養液および根域の温度が上昇していることから, 蒸散速度の向上は水の粘性と根の通導抵抗が減少して吸水量が増加し, 葉への水の供給量が増加したことによるものと考えられた。また, 光合成速度は気孔開度に影響される(平沢, 1994a)ため, 本実験における光合成速度の向上は株元加温, 根域加温区において葉への水の供給量が増加して葉の気孔が閉じにくくなり, 気孔が開いた状態が長時間維持されたことによるものと推察された。

このように株元加温と根域加温とともに蒸散速度と光合成速度が向上する一方で, 両者では加温により生長が旺盛になる部位が異なり, 株元加温では側枝の生長が旺盛になるのに対し, 根域加温では主枝および根の生長が旺盛になることが明らかになった。

エンドウでは温度条件により側枝発生が旺盛になる節位が異なり, この要因として体内のホルモン量の変化が挙げられている(中村ら, 1963, 1966)。また, 一般に側枝の発生はオーキシンの減少, サイトカイニンの増加によって促進すること(Shimizu-Sato・Mori, 2001)が指摘されている。ナスの株元加温による側枝の生長促進についても体内における物質分配や植物ホルモンなどが関与している可能性がある。

以上のように, 本実験でナスの株元加温によって側枝の発生および生長が促進すること,

光合成および養水分吸収機能が向上することが明らかになり，促成栽培における収量向上に非常に適した技術であると推定された．これらの知見はナスの促成栽培において，収量性とコスト削減を兼ね備えた，より効率的な環境制御技術を確立する上で有効な情報になるものと考えられる．

要約

ナスの加温部位が主枝，側枝，根の生長および蒸散，光合成に及ぼす影響を検討した．株元加温により，側枝の発生および生長が旺盛になり，第1花の開花日が早くなった．株元加温および根域加温により個葉の蒸散速度および光合成速度が向上し，給液量が多くなった．しかし，加温部位による生育の様相は異なり，株元加温では側枝，根域加温では主枝および根の生長が旺盛になった．

第3節 株元加温の時間帯がナスの主枝および側枝の生育に及ぼす影響

局所加温がナスの形態的および生理的反応に及ぼす影響を明らかにするため、本実験では局所加温の時間帯がナスの主枝、側枝、根の生長および蒸散、光合成に及ぼす影響を調査した。

材料および方法

‘筑陽’を供試した。2009年11月17日に園芸培土を充填した72穴セルトレイに播種し、2010年2月10日に葉数8.3枚の下位4葉を摘葉したセル苗を前節の株元加温区と同様な装置内に定植した。終日25℃の加温を行う終日加温区、7:00~19:00に加温する昼間加温区、19:00~7:00に加温する夜間加温区および株元加温を行わない無処理区の4区を設けた。加温は2010年2月15日~3月10日まで行い、加温開始23日後に主枝および側枝の茎葉重、側枝数、側枝葉数および根重を調査した。また、第1花開花日を調査した。その他の栽培および調査方法は、前節の株元加温区と同じであった。

結果

株元加温の加温時間帯が茎表面温度、主枝および側枝の生育、根重、開花日に及ぼす影響を表3-8に示す。株元加温による昼間の茎表面温度は、終日加温区、昼間加温区の方が夜間加温区および無処理区より高かった。夜間の茎表面温度は終日加温区、夜間加温区の方が昼間加温区および無処理区より高かった。加温開始23日後の主枝茎葉重には処理区間で有意な差は認められなかった。側枝数は終日加温区、昼間加温区および夜間加温区で同程度であり、いずれも無処理区より多かった。側枝葉数および側枝茎葉重は終日加温区で最も大きく、無処理区で最も小さかった。昼間加温区と夜間加温区には有意な差は認められなかった。第1花開花日は終日加温区、昼間加温区および夜間加温区で同程度であり、いずれも無処理区より早かった。

表3-8 株元加温の加温時間帯がナス‘筑陽’の茎表面温度、主枝および側枝の生育、根重、開花日に及ぼす影響

試験区	茎表面温度 ^z (°C)		主枝 茎葉重 ^w (g)	側枝数 (本)	側枝		根重 (g)	第1花 開花日 (月. 日)
	昼間 ^y	夜間			葉数 (枚)	茎葉重 (g)		
終日加温	24.8 a ^x	25.3 a	32.1 ^y a	3.5 a	7.0 a	12.1 a	1.2 a	3.9 a
昼間加温	24.5 a	10.9 b	32.5 a	3.0 a	5.7 b	9.4 b	1.2 a	3.11 a
夜間加温	20.7 b	25.8 a	31.0 a	2.7 a	5.2 b	9.1 b	1.2 a	3.11 a
無処理	20.1 b	10.6 b	30.2 a	1.7 b	3.9 c	5.4 c	0.9 b	3.17 b

^z 平均温度

^y 昼間が7:00~19:00、夜間が19:00~7:00

^x 異なる英文字間には 5%水準で有意差あり (Tukey-Kramerの多重比較)

^w 茎葉重は新鮮重, 根重は乾物重

^y 調査は2010年 3月10日

考察

本実験における側枝の発生および根の生育は終日加温区、昼間加温区および夜間加温区に有意差はなく、無処理区より促進したが、側枝の生長は終日加温区が昼間加温区および夜間加温区より優れた。このことから、株元加温による側枝の生長は加温時間が長くなるほど促進され、加温時間帯より加温時間の長さに影響されることが明らかになった。著者らはこれまでに電熱線の温度を 25°C に制御する方法で株元加温を行ったが、曇天以外の日はハウス内気温が 10 時すぎに 25°C を超えたため、加温時間帯は主に夕方～ 10 時頃までの時間に行われ、昼間の時間帯はほとんど加温しなかった (森山ら, 2011)。また、電熱線の設定温度を 30°C にした場合、ナスの生育は著しく抑制された。本実験は昼温 20°C、夜温 10°C の実験室内において検討したものであり、効率的な株元加温技術を確立するには加温温度および加温時間の長さとの関係などをさらに詳しく検討する必要があると考えられる。

要約

ナスの株元加温の加温時間帯が主枝、側枝、根の生長および蒸散、光合成に及ぼす影響を検討した。株元加温による側枝の生長は加温時間が長くなるほど促進されるが、加温時間帯には影響されないことが明らかになった。

第4章 サイトカイニン施与が促成ナスの着果、収量および品質に及ぼす影響

株元加温による暖房コストの削減は、低温環境下における側枝数の増加に伴う収量性向上によって実現可能になった。今後もナスの促成栽培において安定した収量を確保しながら、暖房コストを削減できる効果的な環境制御技術を確立するためには、側枝数の増加をもたらすメカニズムを明らかにする必要がある。

一般に植物における側枝の生長には植物ホルモンのサイトカイニンが影響することが知られており（小柴ら，2010），ニホンナシでは樹体管理の違いによる側芽の発達程度とサイトカイニン含量が同調していること（伊東，2001），ウンシュウミカン（Zhu・Matsumoto, 1987; 朱ら，1989），リンゴ（Wertheim・Estabrooks, 1994），カーネーション（北村ら，1987）では合成サイトカイニンの一種BA（6-Benzylamino purine）施与が側枝の生育を促進することが報告されている。ナスでは木部溢泌液中のサイトカイニン含有量が多い品種ほど収量が多いこと（加藤・楼，1989）が報告されているが、サイトカイニン施与の影響についての報告は見当たらない。

そこで、本実験ではナスの株元加温による側芽の発達へのサイトカイニンの関与の可能性について検討するため、BA施与がナスの促成栽培における生育、収量に及ぼす影響を調査した。

材料および方法

実験は、福岡県農業総合試験場筑後分場（福岡県三潁郡大木町，細粒灰色低地土，埴壤土）の間口6 m，奥行き20 m，軒高3.2 m，体積約400 m³ 南北方向単棟ビニルハウスで行った。穂木に‘筑陽’，台木に‘トナシム’を用いた。処理区としてBA施与区と対照区を設けた。BA施与区では、大川（1976）の実験結果をもとに、0.25%のBAを含むラノリンペーストを側枝発生基部に1側枝当たり約0.05g塗布した。塗布は2011年1月8日から5月13日までの間、約10日間隔で実施した。

2010年9月16日に第1花開花期の苗を畝幅200 cm，株間60 cm，1条植えて定植し、主枝V字4本仕立てにした。第1主枝が第9花開花時，第2主枝が第8花開花時および第3，4主枝が第7花開花時に、開花花房の直上葉を1葉残して摘芯した。開花した花には、開花当日から2日後までにトマトトーンの50倍希釈液を1回噴霧した。果実収穫時に側枝を1芽を残して切り戻した。ハウス内気温が25℃以上で内張り資材を開放して換気し、23℃以下で閉鎖した。外張り資材はハウス内気温が午前28℃以上，午後26℃以上で開放し，午前26℃以下，午後24℃以下で閉鎖した。夜間は白灯油を燃料とした温風暖房機で、最低気温を10℃に制御した。基肥を10 a当たり窒素24 kg，リン酸28 kg，加里20 kg，追肥を12～6月に月1回ずつ，合計10 a当たり窒素24 kg，リン酸28 kg，加里10 kg施用し，1区当たり3株，3反復で実験を行った。

長さ18 cm以上の果実を随時収穫し、収穫物を博多なす選果基準（本県JA全農ふくれんなす部会作成）に基づいて3段階（上物，中物，下物）に分類し，それぞれ果数および果重を測定した。上物と中物に分類された果実を市場に出荷可能な果実（以下，商品果）とみなし，合計収量を算出した。1日当たりの果実肥大量は，収穫物の果重を開花～収穫ま

での日数で除して算出した。また、第1～4主枝において発生した1次側枝数、1次側枝および1次側枝から順次発生した2次側枝以降の側枝のうち、開花ならびに着果が見られた側枝数（順に開花側枝数、着果側枝数）、n次側枝における開花期～(n+1)次側枝における開花期までの日数（以下、開花間隔日数）を算出した。

結果

BA施与が時期別収穫果数および商品果収量に及ぼす影響を表4-1に示す。1～2月の収穫果数・商品果収量は、BA施与区と対照区との間に有意な差が見られなかった。一方、3～6月はBA施与区の方が対照区より収穫果数および商品果収量が多く、特に3月の商品果収量は16ポイント多かった。BA施与が1次側枝数、開花側枝および着果側枝数、着果率に及ぼす影響を表4-2に示す。1株当たりの1次側枝数および着果率には処理区間に有意な差が認められなかった。1株当たりの開花および着果側枝数は、BA施与区の方が対照区より多かった。BA施与が側枝における開花間隔日数に及ぼす影響を表4-3に示す。1月に開花した側枝の開花間隔日数には、処理区間に有意な差が見られなかった。一方、2～5月ではBA施与区の方が対照区より短く、特に3月の差が顕著であった。BA施与が時期別の不良果発生割合および1日当たりの果実肥大量に及ぼす影響を表4-4および表4-5に示す。1～6月における曲がり果、首細果および細果の発生と、1日当たりの果実肥大量は、処理区間に有意な差が見られなかった。1～6月における開花から収穫までの日数は23～33日で推移し、処理区間には1日当たりの果実肥大量に対応して有意な差はみられなかった（データ略）。

表4-1 BA施与がナス‘筑陽’の時期別収穫果数および商品果収量に及ぼす影響

処理区	収穫果数 (果・m ⁻²)					商品果収量 ^z (kg・10a ⁻¹)				
	1月	2月	3月	4月	5～6月	1月	2月	3月	4月	5～6月
BA施与	15.1	18.3	23.1	28.3	40.8	1,540(97) ^x	1,597(94)	2,555(116)	3,025(107)	5,004(108)
対照	15.0	18.1	20.1	26.7	38.9	1,585(100)	1,697(100)	2,212(100)	2,829(100)	4,639(100)
t検定 ^y	n. s.	n. s.	*	*	*	n. s.	n. s.	*	*	*

^z 上物収量+中物収量

^y **, *はそれぞれ1%水準, 5%水準で有意差があり, n. s. は有意差がないことを示す

^x ()内の値は, 対照を100とした場合の比率

表4-2 BA施与がナス‘筑陽’の1次側枝数、開花側枝数および着果側枝数に及ぼす影響

処理区	開花側枝数			
	1次側枝数 (本/株)	開花側枝数 (本/株)	着果側枝数 (本/株)	着果率 ^z (%)
BA施与	46.3	187.5	157.0	84.5
対照	47.3	164.3	141.3	85.9
t検定 ^y	n. s.	*	*	n. s.

^z 着果側枝数 ÷ 開花側枝数 × 100

^y *は 5%水準で有意差があり, n. s. は有意差がないことを示す
調査は2010年11月3日～2011年6月15日まで実施

表4-3 BA施与がナス‘筑陽’の側枝における開花間隔日数^zに及ぼす影響

処理区	開花間隔日数 (日)				
	1月	2月	3月	4月	5月
BA施与	44.6	33.6	29.8	26.5	22.2
対照	44.9	39.6	36.2	30.1	25.2
t検定 ^y	n. s.	*	**	*	*

^z n次側枝と n+1次側枝の開花日の平均間隔日数

^y **, *はそれぞれ 1%水準, 5%水準で有意差があり, n. s. は有意差がないことを示す

表4-4 BA施与がナス‘筑陽’の時期別不良果発生割合に及ぼす影響

処理区	曲がり果 (%)				首細果 (%)				細果 (%)			
	A ^y	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
BA施与	20.1	14.6	24.6	11.5	2.2	0.4	0.4	0.7	4.5	2.5	5.4	0.2
対照	17.8	13.5	25.4	13.1	2.0	0.4	0.3	1.9	4.8	3.8	4.9	1.9
t検定 ^x	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.

^z (上物収量 + 中物収量) ÷ 総収量 × 100

^y A: 1～2月, B: 3月, C: 4月, D: 5～6月

^x 逆正弦変換値によるt検定により**, *はそれぞれ1%水準, 5%水準で有意差があり, n. s. は有意差がないことを示す

表4-5 BA施与がナス‘筑陽’の1日当たりの
果実肥大量に及ぼす影響

処理区	1日当たりの果実肥大量 ^z (g・day ⁻¹)					
	1月	2月	3月	4月	5月	6月
BA施与	3.4	3.8	4.8	5.4	5.9	6.3
対照	3.5	3.9	4.9	5.3	6.0	6.5
t検定 ^y	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.

^z 収穫果実重÷開花から収穫までの日数

^y n. s. は有意差がないことを示す

考察

ナスの促成栽培では1芽切り戻し整枝を行っているため、各1次側枝ごとに2次側枝以降の側枝の生長および果実の肥大が繰り返される。したがって、収穫果数を増加させるためには、側枝の生長を促進させて開花を早めるか、もしくは開花～収穫までの日数を短くして、側枝形成～収穫までの期間を短縮させることが不可欠である。本実験では、BA施与区は対照区と比較して開花および着果側枝数が増加し、その結果、3～6月の収穫果数が増加して商品果収量が増加した。2～5月の開花間隔日数は、BA施与区の方が対照区に比べて短かった。一方、開花～収穫までの日数は処理区間に有意な差が認められなかった（データ略）。これらのことから、促成栽培におけるBA施与では、側枝の発生・生長が促進され、収穫果数および収量が増加することが示唆された。なお、本実験の2月の開花間隔日数はBA施与区が対照区より短いにもかかわらず、収穫果数は3月以降から増加した。本実験における2月の開花～収穫までの日数は、当該期間が低温で日射量が少ないため、約30日間を要したため、収穫果数に反映されるのが遅れたものと推察される。

BA施与と果実の生育との関係について、キュウリでは果実の初期肥大は大きいですが、その後は対照と差がないこと（宍戸ら，1990），キウイフルーツでは果実肥大効果は極めて小さく、果実品質向上効果も認められないこと（田中，1987）が報告されている。本実験の果実肥大量および不良果発生割合は処理区間で有意差が認められず、ナス栽培においてもBA施与による果実肥大促進および品質向上効果は期待できないことが示唆された。

以上の結果から、ナスの促成栽培においてサイトカイニン施与による、側枝数増加のメカニズムである側枝の発生・生長の促進という形態的な反応と、それによる収量向上効果を明らかにできた。

サイトカイニンは根で作られ（Englbrecht，1972），木部を経て、地上部に送られ（Morris，1981），地上部の生育を制御しており、ナスでは太根が多く、木部溢泌液の養水分量およびサイトカイニン量が多いほど収量が向上すること（加藤・楼，1989）が報告されている。著者は株元加温により根量および吸水量が大きくなり、側枝の発生・生長が促進すること（森山ら，2011・2012a）を報告している。株元加温による形態的な反応と本実験

の結果から株元加温による側枝の生長促進にサイトカイニンが関与している可能性がある。

以上のように、本実験でナスのBA施与によって側枝の発生・生長が促進することが明らかになり、サイトカイニンの生産力および地上部への供給力を向上させる技術は促成栽培における収量向上に役立つものと推定された。これらの知見はナスの促成栽培において、収量性とコスト削減を兼ね備えた、より効率的な環境制御技術を確立する上で有効な情報になるものと考えられる。

要約

ナスの促成栽培におけるBA施与が生育および収量に及ぼす影響について検討した。BA施与により、開花および着果側枝数が多くなり、側枝における開花間隔日数が短くなった。その結果、収穫果数および商品果収量が増加した。しかし、BA施与による果実肥大促進および品質向上効果は認められなかった。

の結果から株元加温による側枝の生長促進にサイトカイニンが関与している可能性がある。

以上のように、本実験でナスのBA施与によって側枝の発生・生長が促進することが明らかになり、サイトカイニンの生産力および地上部への供給力を向上させる技術は促成栽培における収量向上に役立つものと推定された。これらの知見はナスの促成栽培において、収量性とコスト削減を兼ね備えた、より効率的な環境制御技術を確立する上で有効な情報になるものと考えられる。

要約

ナスの促成栽培におけるBA施与が生育および収量に及ぼす影響について検討した。BA施与により、開花および着果側枝数が多くなり、側枝における開花間隔日数が短くなった。その結果、収穫果数および商品果収量が増加した。しかし、BA施与による果実肥大促進および品質向上効果は認められなかった。

第5章 促成ナス栽培における実用的な株元加温システムの開発

第1節 ダクト加温システムの開発および加温効果

ナスの促成栽培において暖房コストを削減できる方法として局所加温が提案され(斎藤, 2008), 深層地中加温による増収(田中ら, 2000)が報告されているが, この方法はコストおよび労力負担が課題であり(宮城県農林水産部農業支援課, 2004), 生産現場においてこれらの点を克服できる実用的な栽培技術の開発が必要となる. 著者はナスの促成栽培において電熱線を用いて主枝の株元部分の茎のみを加温する技術について検討し, 同技術によって暖房コストを大幅に削減できることを明らかにした(森山ら, 2011). しかし, この技術は制御装置や電熱線などの導入費用が高額なため, 生産現場で活用されるためには導入費用を低減する必要がある.

そこで, ナスの促成栽培における株元加温を生産現場で容易に活用できる技術として発展させるため, 新たにトンネルと枝ダクトを組み合わせたダクト加温システム(以下, ダクト加温システム)を開発した. 開発過程における初期のシステムは暖房機に繋いだ枝ダクト表面から放射される熱を利用する方式だったため, 奥行き長いハウスでは暖房機から遠くなるほどトンネル内温度が低くなりすぎることが問題であった. そのため, 遠い位置でも適温が維持できる手段として枝ダクトに排気孔を開ける方法を考案した. 本節では, 開発したダクト加温システムの概要, ダクト加温システムの枝ダクトに排気孔を開ける方法が株元部の気温に及ぼす影響およびダクト加温システムがナスの株元部における気温, 茎表面温度および地温に及ぼす影響について報告する.

材料および方法

1. ダクト加温システムの概要

開発したシステムの概要を図5-1, 5-2, 5-3に示す. 畝の上に高さ約25 cm, 幅約55 cmのトンネル支柱を立て, その上を透明の農業用ビニルフィルム(厚さ0.05 mm)で覆ってビニルトンネルを設置し, 暖房機の主ダクト(厚さ0.10 mm, 折径550 mm, フルタ電機)に繋いだ直径約13 cmの枝ダクト(厚さ0.07 mm, 折径200 mm, 誠和)をトンネル内に挿入した.

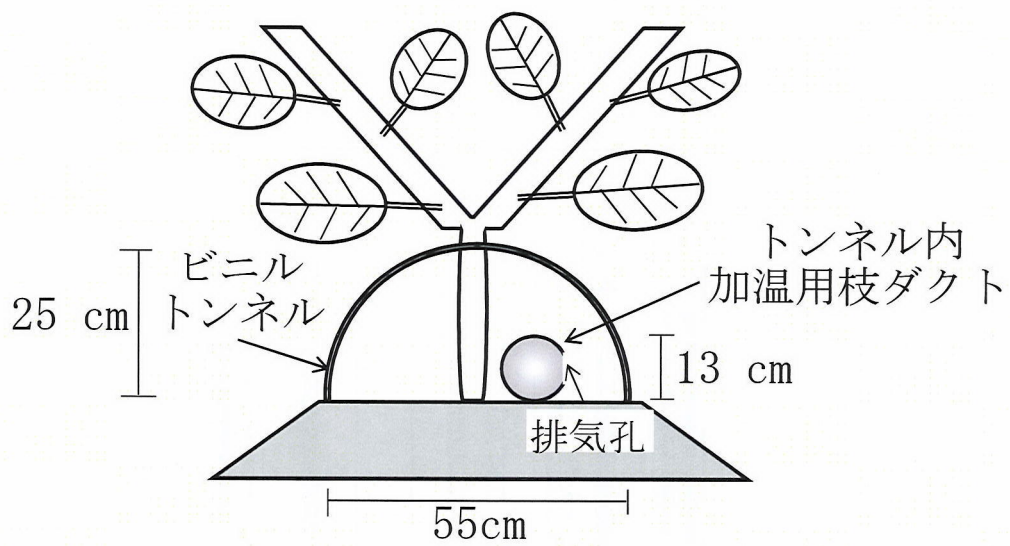


図5-1 ダクト加温システムの概要

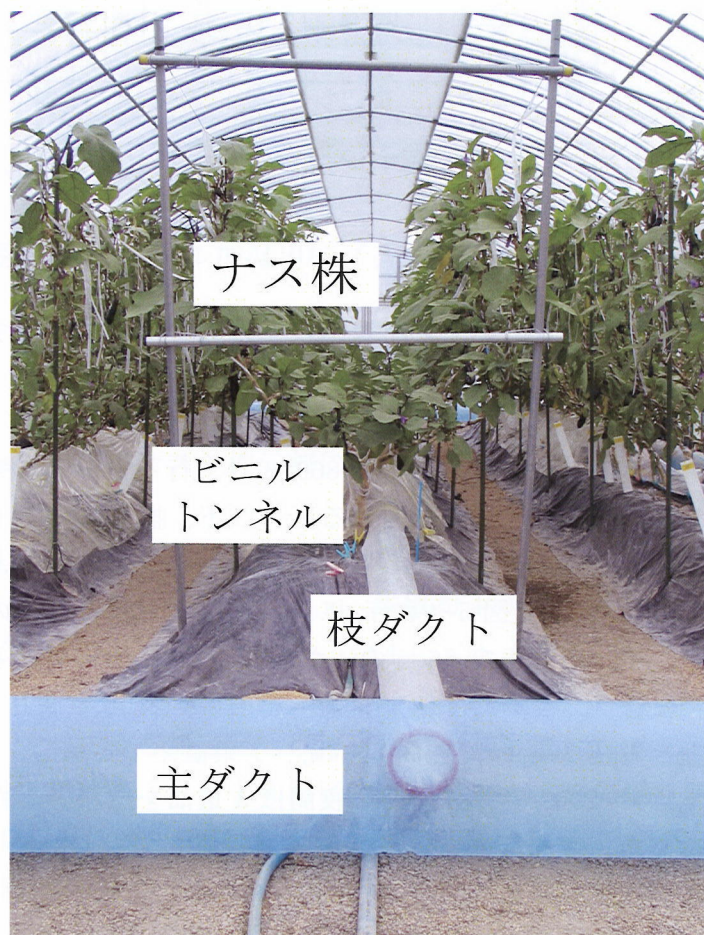


図5-2 ナスのダクト加温の状況

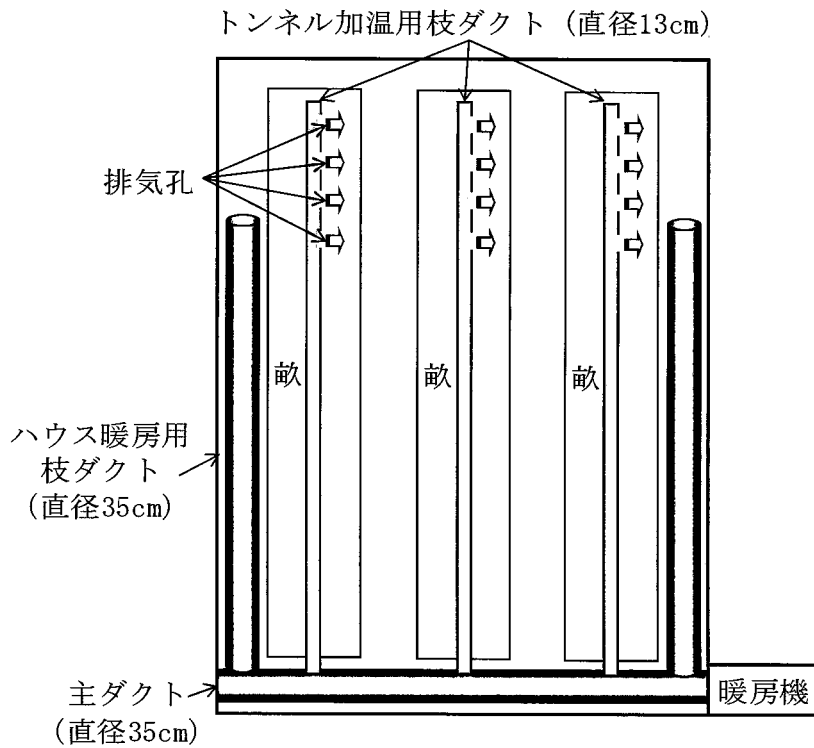


図5-3 ダクト加温システムのダクト配置

2. 枝ダクトに排気孔を開ける方法がトンネル内の株元部の気温に及ぼす影響

(実験 1)

実験は、福岡県みやま市瀬高町本郷のS氏圃場（細粒灰色低地土，埴壤土）の間口 6 m，奥行き 62 m，南北方向 5 連棟ビニルハウス（1,860 m²）で行った。5 連棟ハウス内の 1 棟（372 m² づつ）ずつに枝ダクトに排気孔を開ける区（以下、排気区）とトンネル内では排気を行わない対照区を設け，2008 年 12 月 17 日にダクト加温システムによる加温を開始した。排気区で行った排気法の状況を図 5-4 に示す。排気区では，枝ダクトの先端を閉じて，暖房機側の畝端から 44，48，52 および 56 m の 4 か所に直径 9 cm の排気孔を，通路側の側面に設けた。穂木に‘筑陽’，台木に‘トナシム’を用い，2008 年 9 月 24 日に第 1 花開花期の苗を畝長さ 59 m，畝幅 200 cm，株間 60 cm，1 条植えて定植し，主枝 V 字 4 本仕立てにした。2008 年 12 月～2009 年 3 月の間，夜間は A 重油を燃料とした温風暖房機で，最低気温を 11℃に制御した。対照区において暖房機が設置している畝端（以下，暖房機側畝端）から 10，20，30，40 および 50 m の枝ダクト内部の畝の上面から高さ 6.5 cm に温度記録計（RT-30S，エスペック）のセンサー（直径 1 mm）を設置して，ダクト内部の温度（以下，ダクト内温度）を 10 分間隔で測定した。暖房機稼働時に暖房機側畝端から 5，10，20，30，40，50 および 55 m の枝ダクト内部の畝の上面から高さ 6.5 cm に風速計（Tf-30S，ペック）のセンサーを設置して，ダクト内部の風速（以下，ダクト内風速）を測定した。暖

房機側畝端から 6, 18, 30 および 42 m の 4 か所の畝の上面から高さ 15 cm に温度記録計 (RT-30S, エスペック) を設置して, 株元部の気温 (以下, 株元部気温) を 10 分間隔で測定した.

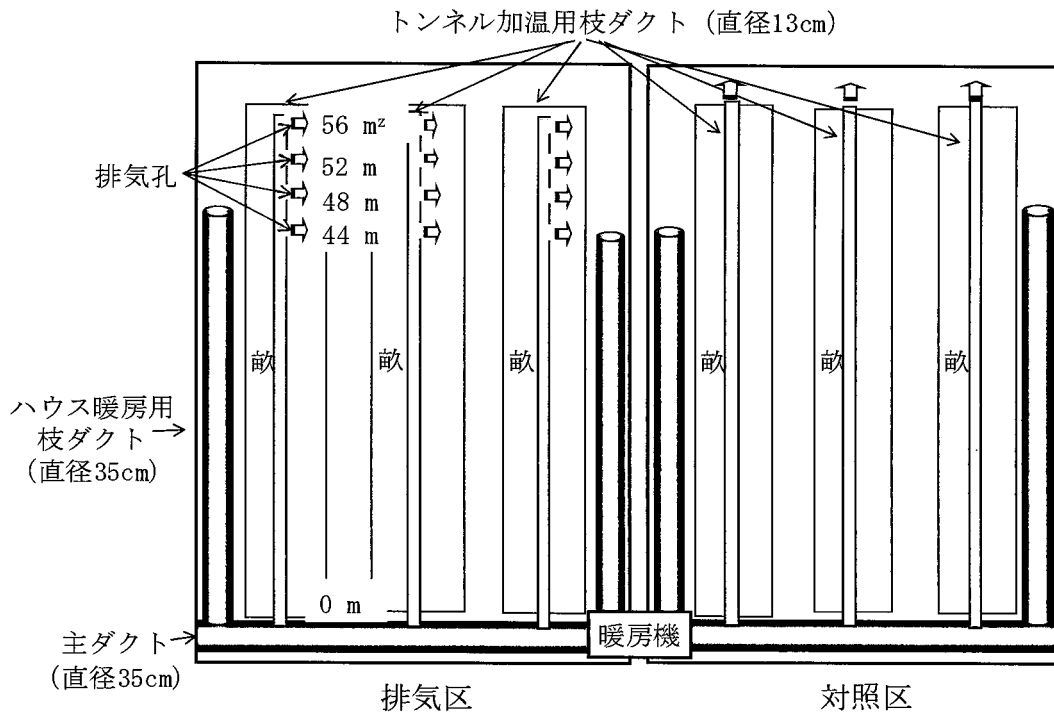


図5-4 トンネル加温用枝ダクトの排気方法および配置の状況

z 暖房機側の畝端からの距離

3. ダクト加温システムがナスの株元部における気温, 茎表面温度および地温に及ぼす影響 (実験 2)

実験は, 福岡県農業総合試験場筑後分場 (福岡県三潴郡大木町, 細粒灰色低地土, 埴壤土) の間口 6 m, 奥行き 20 m, 軒高 3.2 m, 体積約 400 m³, 南北方向単棟ビニルハウスで行った. 穂木に '筑陽' (タキイ種苗), 台木に 'トナシム' (タキイ種苗) を用い, 2007年9月11日に, 畝長さ 18 m, 畝幅 200 cm, 株間 60 cm, 1条植えて定植し, ハウス内にダクト加温システムによる加温区 (以下, ダクト加温区) とダクト加温システムを設置していない対照区を設けた. ダクト加温区では, 枝ダクトの先端を閉じて, 暖房機側の畝端から 13.8, 15.0, 16.2 および 17.4 m の 4 か所に直径 9 cm の排気孔を, 通路側の側面に設けた. ダクト加温区は暖房開始前の 11月29日にダクト加温システムを設置し, 12月5日~2008年4月30日まで加温した. 温度センサー (ハウス内の北から 10 m, 東から 2.5 m, 地面からの高さ 1.0 m の位置に設置) を用いてハウス内の最低気温を 10℃に制御し, 暖房機が稼動した期間 (以下, 暖房期) および停止した期間 (以下, 暖房停止期) に分けて温度を測定した. 畝の上面から高さ 15 cm における気温 (以下, 株元部気温) およ

び茎の表面温度（以下，茎表面温度），地下 10 cm における地温を温度記録計（RT-30S，エスペック）を用いて，10 分間隔で測定した．ダクト加温区における 2008 年 2 月 6 日 14 時の可視画像をデジタルカメラ（EX-Z400，CASIO）で撮影し，同日 19～21 時の間で暖房機が稼働した時の株およびトンネルの表面温度をサーモグラフィ（TH7800N，NEC 三栄）で測定した．暖房には白灯油を燃料とした温風暖房機（KA-205，熱出力 20,000 kcal・h⁻¹，ネポン）を用いた．

結果

1 枝ダクトに排気孔を開ける方法がトンネル内の株元部の気温に及ぼす影響

（実験 1）

2008 年 2 月 17～18 日における対照区のダクト内温度を図 5-5 に示す．10 m 地点のダクト内温度は，4 時 44 分（暖房機稼働開始時，16.7℃）から上昇し，58 分（暖房機停止時）には 36.4℃に達した．一方，50 m 地点では 4 時 44 分（暖房機稼働開始時）で 13.0℃，58 分（暖房機停止時）で 17.7℃となり，最高温度は 10 m 地点より 18.7℃も低かった．暖房機が稼働している時のダクト内風速を表 5-1 に示す．対照区の風速はすべての地点で 3.2 m・s⁻¹より大きかった．一方，排気区では 5～40 m 地点の風速は 3.5 m・s⁻¹前後で対照区とほぼ同等だったが，50 m 以降は距離が遠くなるにしたがって急激に低下した．2008 年 2 月 17～18 日における暖房機側畝端からの距離別の株元部気温を図 5-6 に示す．株元部気温は，6～30 m 地点では排気区と対照区との温度差は 0.1～0.6℃とほぼ同等だった．一方，42 m より先では対照区は暖房機から距離が遠くなるにしたがって急激に低下したが，排気区は対照区より気温低下が小さく，54 m 地点の気温は対照区に比べて約 2℃高く維持できた．

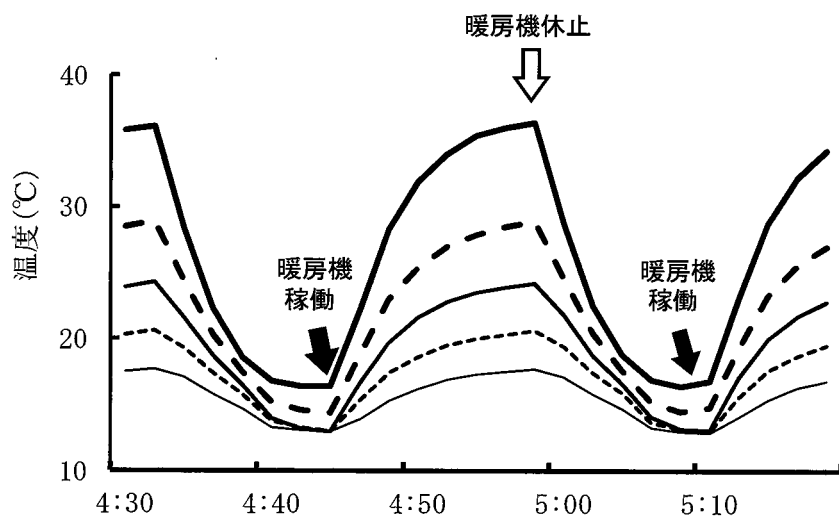


図5-5 2008年2月18日の対照区におけるダクト内温度^zの推移

^z 畝の上面から高さ6.5 cmの枝ダクト内の温度

暖房機側の畝端からの距離： — 10m - - 20m — 30m
 ----- 40m — 50m

2. ダクト加温システムがナスの株元部における気温、茎表面温度および地温に及ぼす影響 (実験 2)

1) 暖房機の稼働期

暖房機が稼働した 2008 年 2 月 16~17 日における株元部気温、茎表面温度および地温の推移を図 5-7, 2008 年 2 月 6 日における日中の可視画像および加温中の赤外線画像を図 5-8 に示す. 株元部平均気温は, ダクト加温区では 12~18 時 (日没まで) で 27.7℃, 18~21 時 (暖房開始時) で 16.7℃, 21~8 時 (暖房終了時) で 18.8℃であり, 対照区よりそれぞれ 2.5, 3.0 および 7.6℃高く, 両区間の温度差は特に 21~8 時において顕著であった. ダクト加温区の茎表面平均温度は 8 時 30 分頃から上昇し, 8~18 時で 23.6℃, 18~8 時で 18.4℃であり, 特に 18~8 時は対照区より 6.3℃高かった. ダクト加温区の地温は 18~21℃で推移し, 日平均で対照区より 1.3℃高かった.

2) 暖房機の停止期

暖房機が稼働しなかった 2008 年 4 月 2~3 日における株元部気温、茎表面温度および地温の推移を図 5-9 に示す. ダクト加温区の株元部平均気温は, 早朝から 12 時にかけて上昇し, 12~18 時で 24.7℃, 18~8 時で 16.2℃であり, 対照区よりそれぞれ 2.8, 2.2℃高かった. ダクト加温区の茎表面温度は, 早朝から 12 時にかけて上昇した後, 15 時まで 27℃前後で推移し, 8~18 時が 23.2℃, 18~8 時が 16.5℃で対照区より 2.6℃高かった. ダクト加温区の地温は 22.0~23.1℃で推移し, 日平均で対照区より 1.4℃高かった.

表5-1 枝ダクトの排気方法がダクト内の風速に及ぼす影響

処理区	排気孔	先端部	畝端からの距離別の風速 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)						
			5m	10m	20m	30m	40m	50m	55m
排気	有	閉鎖	3.7	3.6	3.5	3.4	3.3	2.7	1.2
対照	無	開放	3.7	3.7	3.6	3.5	3.5	3.4	3.2

調査は2008年2月17日実施

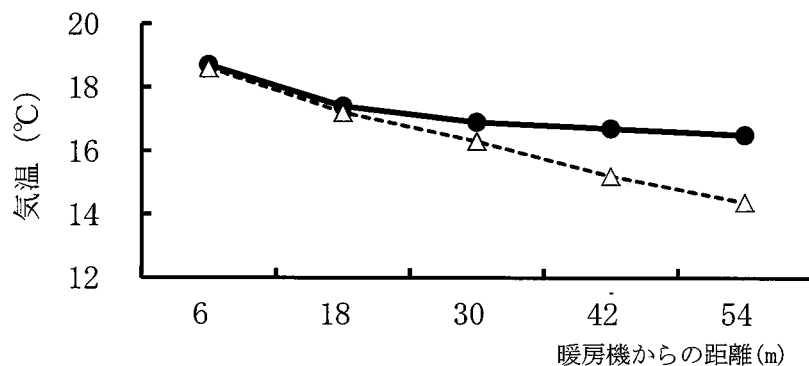


図5-6 2008年2月17~18日におけるトンネル内気温の推移
ハウスの最低温度は11℃

●-排気区 -△-対照区

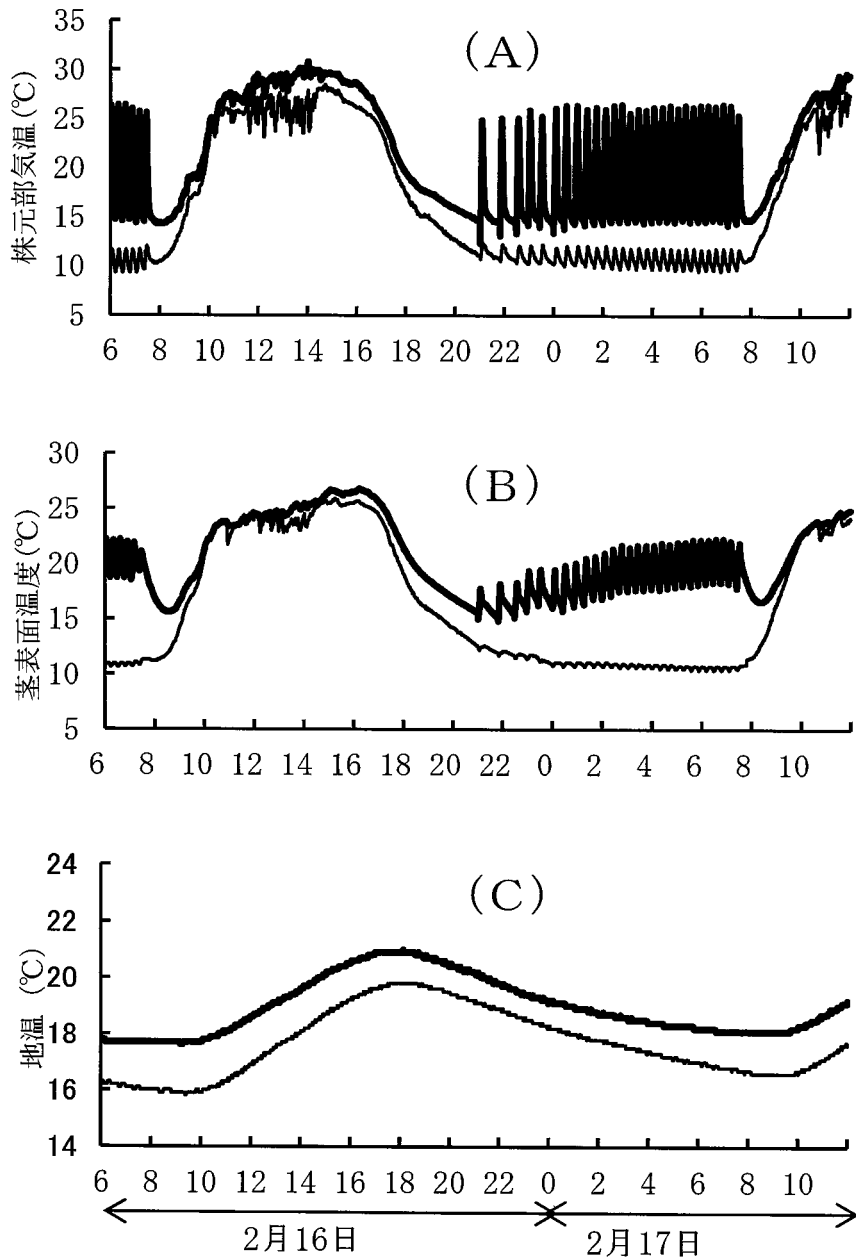


図5-7 2008年2月16～17日（暖房機稼働期）における株元部気温（A）茎表面温度（B）および地温（C）の経時変化
 — ダクト加温区, - - 対照区, ハウス内の気温の最低温度は10°C
 A：畝の上面から高さ15 cmの位置, C：地下10 cmの位置



日中の可視画像

夜間・加温中の赤外線画像

図 5-8 株およびトンネルにおける日中の可視画像および加温中の赤外線画像
ハウスの平均気温は日中（12～18時）が 24.7℃，夜間（19～7時）が 12.1℃

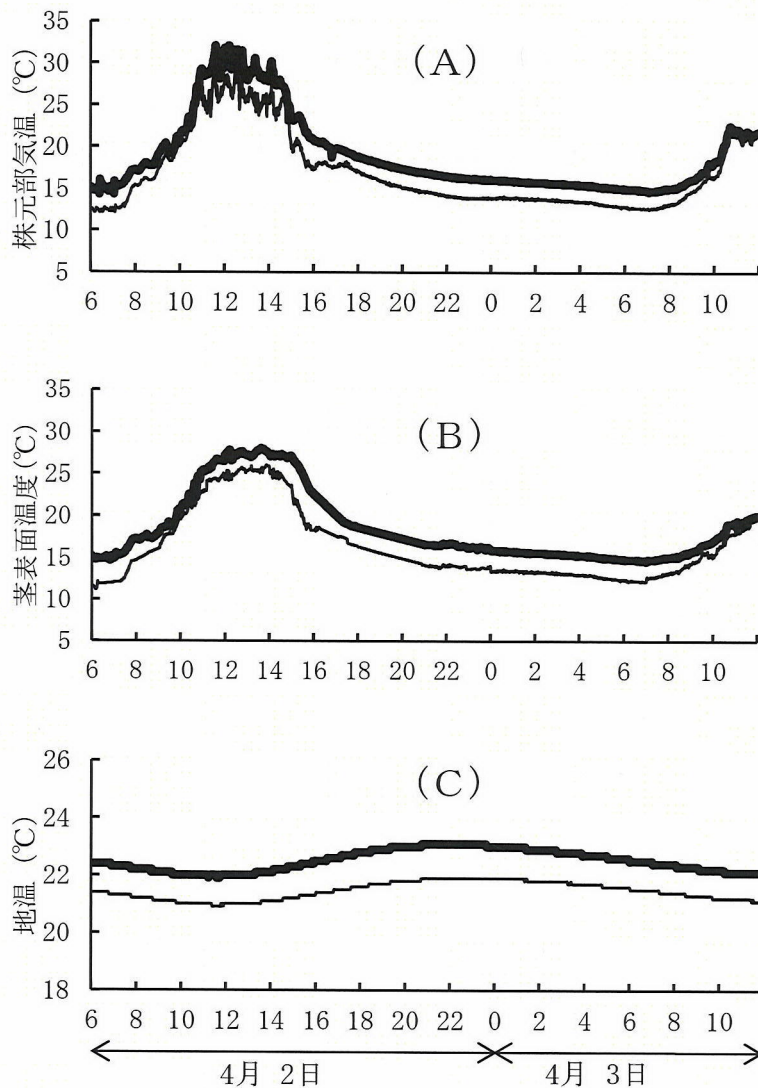


図5-9 2008年4月2～3日（暖房機停止期）における株元部気温（A）
茎表面温度（B）および地温（C）の経時変化
— ダクト加温区，—— 対照区，ハウス内の気温の最低温度は10℃
A：畝の上面から高さ15 cmの位置，C：地下10 cmの位置

考察

著者は近年の石油価格の高騰がナス農家の経営を圧迫する中で、暖房コストを大幅に削減でき、しかも生産現場で容易に活用できるナスの促成栽培技術として、トンネルと枝ダクトを組み合わせたダクト加温システムを開発した。ダクト加温システムの開発に当たっては簡単に設置でき、被覆フィルムの掛けはずしも容易（板木，1993）で、安価な資材のみで設営できて保温効果が高い（内島，1997）とされるトンネル被覆に着目し、トンネルをナスの地際部に設営し、その内側に既設の暖房装置を利用した暖房ダクトを挿入して加温するシステムとした。

さらに、単純にトンネル内にダクトを通してダクト表面から放熱する方式ではダクトの温度が暖房機から遠くなるほど低くなりトンネル内に温度勾配ができるため、暖房機から遠い地点の温度低下を抑制してトンネル内温度の均一性を高める目的で、枝ダクトの排気方法を検討した。燃焼によって発生した熱をファンでハウス内に送り出す温風暖房方式では、ダクトの配置や排気孔の設置などでハウス内の温度分布を変えれることが特長であり、均一な温度分布を実現するには分岐ダクト内の風速を 3.5~4.5 m/sec にする必要がある

（板木，1993）。奥行き 62 m ハウスで行った本実験において、枝ダクトに排気孔を開けない対照区のダクト内温度は、50 m 地点では最高でも 17°C までしか上昇せず、そのため、54 m 地点のトンネル内気温も 14°C にしか達しなかった。そこで、枝ダクトの先端を閉じて、暖房機側畝端から 44~56 m に排気孔を開けた結果、54 m 地点のトンネル内気温は対照区より 2°C 高い 17°C を維持でき、6 m と 54 m との温度差を対照区より 2°C 小さくすることができた。これは、44~56 m 地点に排気孔を開けることによって 40 m 地点までの枝ダクト内風速を対照区と同等に維持できたため、0~40 m 地点までは対照区と同じダクト表面からの放射熱でトンネル内を暖め、50 m 付近は約 17°C の温風をトンネル内に排出できたことによると考えられる。以上の結果から、枝ダクトの先端を閉じて、枝ダクトの先端部に排気孔を設けることにより暖房機から遠い位置のトンネル内気温の温度低下を抑制できることが示唆された。

開発したシステムは暖房機の温風による加温法であるため、各部位の温度変化には暖房機の稼働状況が大きく影響する。九州におけるナスの促成栽培では最低気温が 12°C を下回ることの多い 11~3 月にかけてハウス内の暖房を行うが、4 月以降は暖房を行わないのが一般的である（石橋，2000）。本実験の暖房期では夜間の茎表面温度はダクト加温区の方が対照区より顕著に高かった。次に暖房停止期の夜間の茎表面温度は、ダクト加温区、即ちトンネル被覆をしている区の方が対照区より約 3°C 高かった。トンネル内の温度について、地中加温などにより地面からの上向きの放熱量が大きくなる場合、トンネルでは被覆フィルムによって対流・放射による熱流が妨げられるため、高い保温効果が得られること（板木，1993）が報告されている。本実験の暖房期には地面、ダクトの表面および孔から放出された熱がトンネル内に蓄えられて顕著に気温が上昇し、その熱が伝わって茎の温度が上昇したと考えられる。

要約

ナスの促成栽培における暖房コストの削減を目的として、ナスの地際部に設置したトンネル内に枝ダクトを挿入して株元部を加温するシステムを開発した。奥行き約 60 m のハウスにおいて、開発したダクト加温システムの枝ダクトの先端を閉じて、枝ダクトの先端部に排気孔を設けることにより暖房機から遠い位置のトンネル内気温の温度低下を抑制できた。ダクト加温システムにおいて、暖房機が稼動した期間ではダクト加温区の方が対照区より夜間の茎表面温度が 6.3℃ 高く、暖房機が稼動しなかった期間でもダクト加温区の方が対照区より約 3℃ 高かった。

第2節 ダクト加温システムおよび最低気温の違いによる収量、品質等への影響

本節では、新たに開発したダクト加温システムにおけるハウス内最低気温の低減能力を調査し、暖房コストの削減効果を明らかにすることを目的にした。最低気温 10℃管理および 12℃管理したハウスで株元加温を実施し、このシステムによる株元加温がナスの着果、収量、品質および暖房用燃料費に及ぼす効果について検討したので報告する。

材料および方法

2棟のビニルハウス（規格は前節と同様）の最低気温をそれぞれ 10、12℃（以下、それぞれ 10℃ハウス、12℃ハウス）に制御した。2007年9月11日に第1花開花期の苗を定植し、第1主枝は第9花開花時、第2主枝は第8花開花時および第3、4主枝は第7花開花時に、それぞれの花房の直上葉を1葉残して摘芯した。側枝は収穫時に1芽を残して切り戻した。2棟のハウス内にそれぞれダクト加温システムによる加温区（以下、ダクト加温区）とダクト加温システムを設置していない対照区を設け、2007年12月5日にダクト加温システムによる加温を開始した。10 a当たりの肥料成分量は、基肥として窒素 24 kg、リン酸 28 kg および加里 20 kg、追肥として12～6月に月1回ずつ、合計窒素 24 kg、リン酸 28 kg および加里 10 kg とした。1区当たり3株を供試し、3反復とした。

果実の収穫、品質評価、商品果収量および1日当たりの果実肥大量の算出は第2節第1章と同じ手法で行った。また、第1～4主枝において発生した1次側枝数、1次側枝および1次側枝から順次発生した2次側枝以降の側枝のうち、開花ならびに着果が見られた側枝数（順に開花側枝数、着果側枝数）、n次側枝における開花期～(n+1)次側枝における開花期までの日数（以下、開花間隔日数）を算出した。

結果

1) ハウス内最低気温を 10℃に制御した時の効果

最低気温 10℃のハウスの側枝数および側枝における開花間隔日数、1日当たりの果実肥大量を表 5-2、表 5-3 に示す。1株当たりの1次側枝数にはダクト加温区と対照区間に有意差が認められなかったが、1株当たりの開花側枝数、着果側枝数および着果側枝率には有意差が見られ、いずれもダクト加温区の方が対照区より多かった。1～4月における側枝の開花間隔日数はダクト加温区の方が対照区より 3.5～7.1日短かったが、5月ではダクト加温区と対照区とで有意な差は認められなかった。12および6月における1日当たりの果実肥大量はダクト加温区と対照区とで有意な差は認められなかったが、1～5月の果実肥大量はダクト加温区の方が対照区より大きかった。これに対応して、1～5月における開花日～収穫日までの日数はダクト加温区の方が対照区より 0.6～2.2日短くなった（データ略）。

最低気温 10℃のハウスにおける時期別の収穫果数および商品果収量を表 5-4 に示す。10～11月における収穫果数はダクト加温区と対照区とで有意な差は認められなかったが、12～6月の収穫果数はダクト加温区の方が対照区より多かった。12～6月におけるダクト加温区の商品果収量は対照区より9ポイント高く、特に3～4月でその差が顕著であった。

12～6月におけるダクト加温区，対照区の商品果の重さは，それぞれ 120，119 g であり，両区に有意な差は見られなかった（データ略）。

2) ハウス内最低気温を 10℃と 12℃に制御した時の効果の違い

ハウス内最低気温の違いとダクト加温の有無が時期別の収穫果数，商品果収量に及ぼす影響を表 5-5 に示す。10℃ハウスと 12℃ハウス間で比較すると，10～11 月における収穫果数および商品果収量には有意な差が認められなかったが，12～6 月では両ハウスともにダクト加温区の方が対照区より多かった。また，10℃ハウスにおけるダクト加温区の収穫果数および商品果収量は，12℃ハウスにおける対照区と同等であった。

栽培期間中（2007 年 9 月 11 日～2008 年 6 月 15 日）における暖房用燃料消費量は，10℃ハウスでは 1 棟（120 m²）当たり 840 L であり，12℃ハウス（1,256 L）より 33%少なかった（データ略）。

表5-2 最低気温10℃のハウスの側枝数，着果側枝率および側枝における開花間隔日数

処理区	1次側枝数 (本/株)	開花側枝数 (本/株)	着果側枝数 (本/株)	着果側枝率 ^z (%)	開花間隔日数 ^y				
					1月	2月	3月	4月	5月
ダクト加温	41.0	186.0	162.0	87.1	46.6	35.1	34.7	27.6	23.6
対照	40.7	163.3	137.3	84.1	50.1	42.2	40.1	32.1	24.5
t検定 ^x	n. s.	*	*	*	*	**	*	*	n. s.

^z (着果側枝数/開花側枝数) × 100

^y n次側枝と n+1次側枝における開花日の間隔日数の平均値

^x **, *はそれぞれ 1%水準，5%水準で有意差あり，n. s. は有意差なし

表5-3 最低気温10℃のハウスにおける
1日当たりの果実肥大量

処理区	果実肥大量 ^z (g · day ⁻¹)						
	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月
ダクト加温	4.3	4.2	5.2	5.4	5.6	7.5	7.7
対照	4.2	3.8	4.8	5.0	5.2	6.9	7.8
t検定 ^y	n. s.	*	*	*	*	*	n. s.

^z 収穫果実重/開花から収穫までの日数

^y *は 5%水準で有意差あり，n. s. は有意差なし

表5-4 最低気温10℃のハウスにおける時期別の収穫果数および商品果収量

処理区	収穫果数 (果・m ⁻²)					商品果収量 ^z (kg・10 a ⁻¹)				
	10~11月	12~2月	3~4月	5~6月	12~6月	10~11月	12~2月	3~4月	5~6月	12~6月
ダクト加温	25	46	54	37	136	3,620(102)*5,627(108)	5,801(113)	4,196(106)	15,624(109)	
対照	24	42	49	33	125	3,564(100)	5,204(100)	5,157(100)	3,967(100)	14,328(100)
t検定 ^y	n. s.	*	**	*	*	n. s.	*	**	*	**

^z 上物収量+中物収量

^y **, *はそれぞれ 1%水準, 5%水準で有意差あり, n. s. は有意差なし

^x ()内の値は, 対照に対する比率

表5-5 ハウス内の最低気温の違いとダクト加温の有無が時期別の収穫果数, 商品果収量に及ぼす影響

処理区	10~11月		12~6月	
	収穫果数 (本・m ⁻²)	商品果収量 ^z (t・10 a ⁻²)	収穫果数 (本・m ⁻²)	商品果収量 (t・10 a ⁻²)
10℃ ダクト加温	25	3.6	136 b	15.6 b ^y (109) ^x
10℃ 対照	24	3.6	125 c	14.3 c (100)
12℃ ダクト加温	24	3.5	146 a	16.7 a (117)
12℃ 対照	24	3.6	135 b	15.7 b (110)
分散分析 ^w	n. s.	n. s.	*	*

^z 上物収量+中物収量

^y 異なる英文字間には 5%水準で有意差あり (Tukey-Kramerの多重比較検定)

^x ()内の値は最低気温10℃の対照区に対する比率

^w *は 5%水準で有意差あり, n. s. は有意差なし

考察

著者は前報 (森山ら, 2011) で電熱線による株元加温区は対照区より側枝の生長を促進させ, 1~5月における側枝の開花間隔日数が短縮したことを報告した. それとともに株元部の茎を 20℃に加温した場合には対照区より増収する一方で, 15℃では対照区と差がないことを確認している (未発表). 本実験では, 5月における側枝の開花間隔日数にはダクト加温区と対照区間に有意差が認められなかった. このことから, ダクト加温システムにおける暖房停止期では, ダクト加温区の夜間の茎表面温度が対照区より約 3℃高いものの, 約 16℃までしか上がらず, 株元加温の効果が低く, 5月以降における側枝の生長促進効果は期待できないことが示唆された.

これに対して, 電熱線による株元加温区では, 1~3月における果実肥大量は対照区より

大きかったものの、地温の上昇は認められなかった（森山ら，2011）．本実験では，1～5月を通してダクト加温区の果実肥大量が対照区よりも大きく，暖房停止期においてもダクト加温区の方が対照区より地温が高かった．根域加温によりナスの収量が増加すること（番ら，1992），根域加温によりナスの個葉の光合成速度および株の吸水量が大きくなり，主枝および根の生長が旺盛になること（森山ら，2012a）から，ダクト加温区は地温上昇により，同化作用や吸水量が大きくなって株の生育が旺盛になり，果実への養水分供給が増加して，4月以降も果実肥大量が向上するものと推察される．

以上のように，ダクト加温システムにおけるダクト加温区は1～4月における開花間隔日数が短かく，1～5月における果実肥大量が増加するため，12～6月における商品果収量が電熱線による株元加温と同等に増加した．また，10℃ハウスにおけるダクト加温区の商品果収量は，12℃ハウスの対照区と同等であった．

次に，ナスの促成栽培におけるダクト加温による暖房コストの削減効果について検討した．

暖房用燃料消費量の試算ツール（高市，2007）を用いて，福岡県の一般的なハウス形状，被覆条件での10 a当たり暖房用燃料消費量を算出した結果，10℃ハウスは12℃ハウスより燃料消費が40%少なくなった．本実験においても，10℃ハウスにおける灯油消費量は12℃ハウスより33%少なく，ハウスの最低気温を12℃から10℃に2℃下げた場合の暖房用燃料費を算出すると，32万円（試算ツールを用い，A重油価80円/Lで算出）減らすことができる．

なお，開発したシステムを活用する場合，暖房機は機種ごとに適正なダクト数が決まっているため，トンネル内加温用枝ダクトを7本追加するごとに既存のハウス暖房用枝ダクト（直径約40 cm）を1本減らす必要がある．

以上のように，ナスの促成栽培において開発したダクト加温システムは安価な資材で容易に設営でき，しかも最低気温を2℃下げた温度条件下でも福岡県における慣行温度管理（12℃）と同等の収量が得られる．従って，ダクト加温システムは暖房コストを大幅に削減でき，しかも生産現場で容易に活用できるナスの促成栽培技術であると考えられる．

要約

開発したダクト加温システムによって側枝の生長および果実の肥大が促進し，対照区より収穫果数が多くなり，商品果収量が増加した．10℃に暖房したハウスのダクト加温区の商品果収量は，12℃のハウスの対照区と同等であった．実験を行った10℃ハウスにおける灯油消費量は12℃ハウスより33%少なく，ハウスの最低気温を12℃から10℃に2℃下げた場合，暖房用燃料費を32万円（試算ツールを用い，A重油価80円/Lで算出）減らすことができる．従って，ナスの促成栽培においてダクト加温システムは収穫果数を確保しつつ暖房コストを大幅に削減できる実用的な栽培技術であるといえる．

第3節 ダクト加温システムの経営評価

生産現場において新しい農業技術の導入を検討する場合には経営的な評価が重要である。本節では、第2章で報告した電熱線を用いた株元加温方式（以下、電熱線利用方式）および本章第1節で報告したダクト加温システムにおける資材経費、賃金、電気費用等の経費試算を行い、両方式に株元加温を行わない慣行栽培を含めて経営評価を行った。なお、本節では第2章で実施した電熱線を茎に巻き付ける手法は作業時間が長くなるため、低コスト化および省力を目的に開発した第3章第1節の電熱線を茎に沿わせる手法を用いた。

材料および方法

1. 電熱線利用方式

実験は、福岡県農業総合試験場野菜栽培部（福岡県筑紫野市、細粒灰色低地土、砂壤土）の間口6 m、奥行き20 m、軒高3.2 m、体積約400 m³、南北方向単棟ビニルハウスで行った。穂木に‘筑陽’（タキイ種苗）、台木に‘トナシム’（タキイ種苗）を用い、2006年9月5日に、畝幅200 cm、株間60 cm、1条植えで定植し、主枝V字4本仕立てで栽培を行った。暖房開始前の2006年11月29日に以下の方法で電熱線利用方式を設置した。作業は電熱線（E2050120：三相200 V・500 W¹・120 m¹、荏原電線）の設置、電熱線の主茎への固定、保温シート（縦横25 cm、厚さ4 mm、Zen）の設置、電熱線と制御装置との結線の順序で行い、資材設置に係る2人の作業員（男性46歳、女性52歳）の作業時間を計測した。調査面積は1回に24 m²（20株）とし3反復で調査した。本システムの導入費用は、福岡県主要野菜の栽培技術指針（福岡県農林水産部経営技術支援課、2009b）に基づいて求めた各資材の必要数量に実験当時（2006年）の購入単価を乗じて算出した。

2. ダクト加温システム

実験は、福岡県農業総合試験場筑後分場（福岡県三潴郡大木町、細粒灰色低地土、埴壤土）の間口6 m、奥行き20 m、軒高3.2 m、体積約400 m³、南北方向単棟ビニルハウスで行った。穂木に‘筑陽’（タキイ種苗）、台木に‘トナシム’（タキイ種苗）を用い、2007年9月11日に、畝幅200 cm、株間60 cm、1条植えで定植し、主枝V字4本仕立てで栽培を行った。暖房開始前の2007年11月29日に以下の方法でダクト加温システムを設置した。作業は枝ダクトの設営、枝ダクトの先端部閉鎖および排気孔開放、トンネル支柱の打ち込み、ビニルフィルムの設置の順序で行い、システム設営に係る2人の作業員（男性55歳、女性57歳）の作業時間を計測した。調査面積は1回に12 m²（10株）とし6反復で調査した。また、本システムの導入費用は、福岡県主要野菜の栽培技術指針（福岡県農林水産部経営技術支援課、2009b）に基づいて求めた各資材の必要数量に実験当時（2007年）の購入単価を乗じて算出した。

結果

1. 電熱線利用方式

設営に係る10 a当たりの作業時間および賃金は、賃金単価804円/h(福岡県農業会議, 1999)をもとに算出すると、それぞれ15.1 h/人、約1.2万円であった。電熱線利用方式における設営資材およびその経費を表5-6に示す。10 a当たりの導入費用を試算すると、電気制御装置が約47万円、電熱線が12万8千円、保温シートが12万円で、1年間にかかる経費は15万円であった。

2. ダクト加温システム

トンネルとダクトの設営に係る10 a当たりの作業時間および賃金は、賃金単価804円/h(福岡県農業会議, 1999)をもとに算出すると、それぞれ14.0 h/人、約1.1万円であった。ダクト加温システム設営資材およびその経費を表5-7に示す。10 a当たりの導入費用を試算すると、トンネルの支柱が約8千円、農業用ビニルが2万6千円、枝ダクトが約6千円で、1年間にかかる経費は約2万円であった。

表5-6 10 a当たりの電熱線方式の設営資材とその経費

資材名	規格	数量 ^z	資材経費 ^y (円)	年間資材経費 ^x (円)
電気制御装置	制御容量：1kw, 温度・時間制御	4 個	472,000	94,400
電熱線	長さ120m, 三相200V, 500W	8 本	128,000	25,600
保温シート	アルミ蒸着フィルムと不織布のラミネート加工 縦横：25cm, 厚さ：4mm	800 枚	120,000	30,000
合計			720,000	150,000

^z 福岡県主要野菜の栽培技術指針(間口6 mハウス)

^y 2006年における購入単価から算出

^x 耐用年数は電気制御装置、電熱線が5年、保温シートが4年

表5-7 10 a当たりのダクト加温システム設営資材とその経費

資材名	規格	数量 ^z	資材経費 ^y (円)	年間資材経費 ^x (円)
トンネル支柱	長さ130 cm	256本	7,680	3,840
農業用ビニル	厚さ0.05 mm, 巾 1 m	500 m	26,000	13,000
枝ダクト	厚さ0.07 mm, 直径125 mm	500 m	6,250	3,125
合計			39,930	19,965

^z 福岡県主要野菜の栽培技術指針(間口6 mハウス)

^y 2007年における購入単価から算出

^x 各資材の耐用年数は2年

考察

株元加温の設営に係る 10 a 当たりの作業時間は、電熱線利用方式で 15.1.0 h/人、ダクト加温システムで 14.0 h/人であり、両者はほぼ同等だった。ダクト加温システムは畝にダクトおよびトンネルを設置するだけで簡単であり、一方の電熱線利用方式も電熱線を茎に沿わせる手法に変更することによって電熱線を株に装着する作業を大幅に簡略化できたためと考えられる。設営に要する資材費は、電熱線利用方式が 10 a 当たり約 15 万円/年だったのに対し、ダクト加温システムは約 2 万円/年であり、ダクト加温システムが電熱線利用方式に比べて約 13 万円安かった。以上のことから、両方式を比較すると、設営に係る作業時間は同等で作業賃金には差がないが、設営に係る資材費はダクト加温システムが極めて安価なことが明らかになった。

次に、技術導入にあたって新規に発生するランニングコストを比較すると、電熱線利用方式における電気代は、第 3 章の第 1 節で報告したように株元加温の設定温度 20℃では 10 a 当たり約 9 万円となる。一方、ダクト加温システムでは、ハウス内の暖房のために発生させた熱を最初、トンネル内に放射・送風して活用するもので、その後はトンネルのビニルフィルムを透過してハウス内に放熱されてハウス内の暖房に使われるため、新たなランニングコストは発生しないと推察される。

一方、両方式の株元加温を導入した場合の暖房コストは、第 2 章第 2 節および第 5 章第 2 節で報告したように暖房用燃料消費量の試算ツール（高市，2007）を用いて、福岡県の一般的なハウス形状、被覆条件での 10 a 当たり暖房用燃料消費量を算出した結果、どちらの方式とも燃料消費量が 40%少なくなり、株元加温を行わない慣行栽培に比べて 32 万円（A 重油価 80 円/L で算出）を削減できる。

以上の結果から、電熱線利用方式とダクト加温システムの経営評価を比較すると、両方式とも 10 a 当たりの暖房経費を約 32 万円減らせることは同じであるが、電熱線利用方式では導入経費が約 16 万円、電気費用が約 9 万円かかるため、1 年間にかかる 10 a 当たり生産費は技術導入前に比べて約 7 万円減る。一方、ダクト加温システムでは導入経費が約 3 万円と安価で、しかも新規のランニングコストが発生しないため、技術導入前に比べて 1 年間にかかる 10 a 当たり生産費を電熱線利用方式より約 22 万円も多い、約 29 万円削減できる。福岡県におけるナスの促成栽培の 10 a 当たり経営金額をみると、農業粗収益 435 万円、農業経営費 222 万円で、農業所得は 213 万円であり（農林水産省，2007）、ダクト加温システムを導入することによって 10 a 当たりの経営費が 22 万円削減され、所得が約 1 割増加すると考えられる。

要約

ダクト加温システムおよび電熱線利用方式の経営評価を比較すると、両方式とも 10 a 当たりの暖房経費を約 32 万円減らせることは同じであるが、電熱線利用方式では導入経費が約 16 万円、電気費用が約 9 万円かかるため、1 年間にかかる 10 a 当たり生産費は技術導入前に比べて約 7 万円減る。一方、ダクト加温システムでは導入経費が約 3 万円と安価で、しかも新規のランニングコストが発生しないため、技術導入前に比べて 1 年間にかかる 10 a 当たり生産費を電熱線利用方式より約 22 万円も多い、約 29 万円削減できる。

第4節 ダクト加温システムの現地適応性

開発したダクト加温システムの生産現場での適応性を検討するため、福岡県内の促成ナス生産農家の圃場において、ダクト加温システムを設置した区（以下、ダウト加温区）とダクト加温システムを設置していない対照区を設け、ダクト加温システムがナスの促成栽培における生育および出荷量に及ぼす影響について検討した。

材料および方法

実験は、福岡県八女市黒木町笠原のI氏圃場（中粗粒灰色低地土，砂壤土）の間口6 m，奥行き48 m，南北方向4連棟ビニルハウス（1,152 m²）で行った。ハウス内を2等分（576 m²づつ）してダクト加温区と対照区を設け、2008年11月17日にダクト加温システムによる加温を開始した（図5-10）。ダクト加温区では、本章第1節で報告した資材を用い、枝ダクトは先端を閉じて、暖房機側の畝端から37.5、40.0、42.5および45.0 mの4カ所に直径9 cmの排気孔を設けた。穂木に‘筑陽’，台木に‘トナシム’を用い、2008年8月21日に第1花開花期の苗を畝長さ46 m，畝幅200 cm，株間58 cm，1条植えで定植し、主枝V字4本仕立てにした。開花した花には、開花当日から2日後までにトマトトーンの50倍希釈液を噴霧し、側枝は収穫時に1芽を残して切り戻した。2008年11月～2009年3月の間、夜間はA重油を燃料とした温風暖房機で、最低気温が11℃以下にならないように管理した。施肥等の栽培管理は博多なす栽培の手引き（博多なす技術者協議会作成）に基づいて実施した。長さ18 cm以上の果実を随時収穫し、収穫物を博多なす選果基準（本県JA全農ふくれんなす部会作成）に基づいて商品果，不良果に分類し、商品果はJAふくおか八女黒木集荷場にダクト加温区と対照区とを分けて出荷した。2008年12月～2009年6月11日までの各月1回，株に着生している花および果実数（以下，着花・果数）を調査した。開花から収穫までの日数は、2008年12月～2009年5月に開花した花について、収穫日から開花日を引いて算出した。2008年12月～2009年6月までの出荷量は、集荷場に出荷された商品果の重量を加算した。生育調査は1区当たり3株を供し、3反復した。



図 5-10 農家圃場におけるダクト加温システムの設営状況

結果

2008年12月～2009年6月における1株当たりの着花・果数を図5-11に示す。2008年12月～2009年1月上旬および6月における1株当たりの着花・果数にはダクト加温区と対照区間に有意差が認められなかったが、2009年1月下旬、2、3、4および5月には有意差が見られ、いずれもダクト加温区の方が対照区より多かった。2008年12月～2009年5月における開花～収穫までの日数を図5-12に示す。2008年12月～2009年1月上旬および4、5月における開花～収穫までの日数にはダクト加温区と対照区間に有意差が認められなかったが、2009年1月下旬、2および3月には有意差が見られ、いずれもダクト加温区の方が対照区より短かった。2008年12月～2009年6月における出荷量を図5-13に示す。2009年1月中旬～6月までの出荷量は対照区に比べてダクト加温区が多くなり、特に4月下旬～5月下旬の増収(0.2～0.3 t/10 a)が顕著であった。2008年12月～2009年6月までの10 a当たり総出荷量はダクト加温区が対照区より1.5 t/10 a(11%)も多かった。

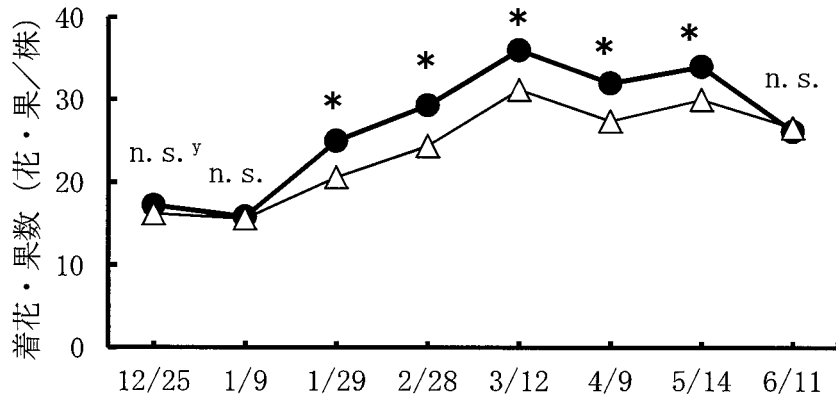


図5-11 株当たり着花・果数^zの推移 (月/日)

^z 着花数と果実数との和

^y *は5%水準で有意差あり, n. s. は有意差なし (t検定)

●ダクト加温 △対照

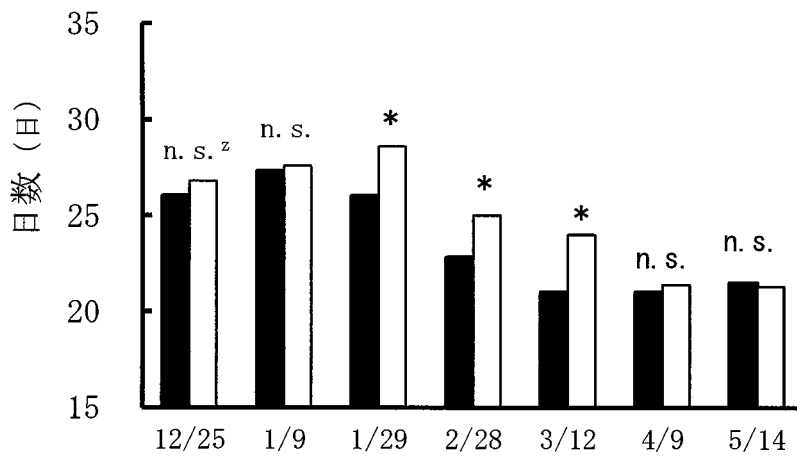


図5-12 開花から収穫までの日数 (月/日)

^z *は5%水準で有意差あり, n. s. は有意差なし (t検定)

■ダクト加温 □対照

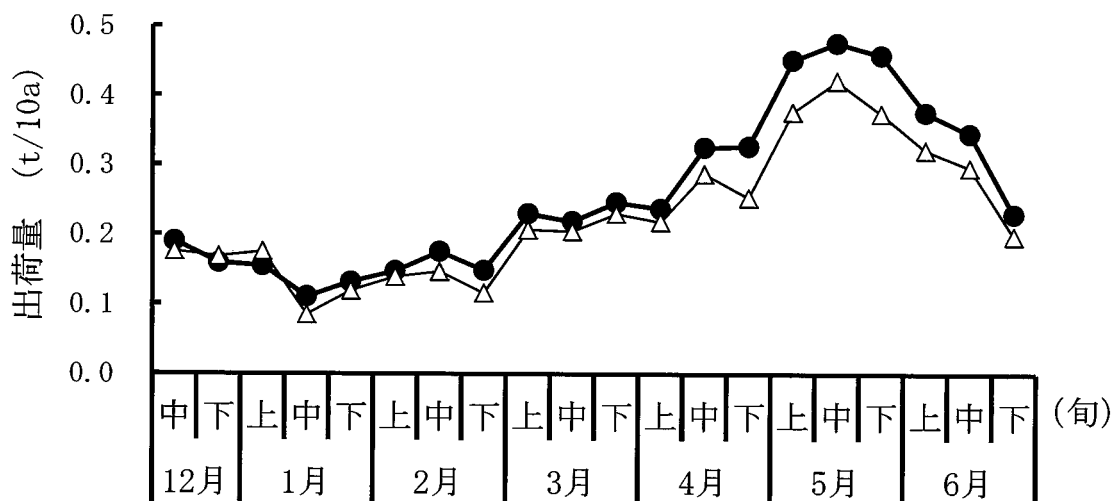


図5-13 10a当たりの旬別出荷量^zの推移

^z 2008年12月～2009年6月までの10a当たりの合計出荷量はダクト加温区が15.2t, 対照区が13.7t

●ダクト加温 △対照

考察

福岡県内の促成ナス生産農家の圃場において、ダクト加温システムの適応性を検討した。著者は福岡県農業試験場の最低気温を10℃に制御したハウスにおいてダクト加温システムを設営すると、側枝の生長および果実の肥大が促進し、対照区より収穫果数が多くなり、商品果収量が約1割増加する(森山・奥, 2012b)ことを報告した。圃場面積が1,000 m²以上と広く、温度、灌水および施肥等の環境管理と摘芯および整枝等の樹体管理を農家が行う現地農家の圃場を用いた本実験において、ダクト加温区は対照区に比べて2009年1月下旬、2～5月までの開花・果数の増加および1月下旬～3月までの開花～収穫までの期間短縮効果が認められ、2008年12月～2009年6月までの10 a当たり総出荷量が1.5 tも多くなった。以上の結果から、福岡県内の促成ナス生産農家の圃場においても、福岡県農業総合試験場における実験結果と同様に、ダクト加温システムを導入することにより開花～収穫までの期間短縮および増収効果が発揮されることが示唆された。

摘要

福岡県内の促成ナス生産農家の圃場において、ダクト加温システムの適応性を検討した。圃場面積が1,000 m²以上と広く、温度、灌水および施肥等の環境管理と摘芯および整枝等の樹体管理を農家が行う現地農家の圃場においても、福岡県農業総合試験場における実験結果と同様に、ダクト加温システムを導入することにより開花～収穫までの期間が短縮し、商品果収量が約1割増加した。

第6章 総括

ナスの促成栽培は収益性が高いため、福岡県、熊本県、岡山県、高知県などの九州、近畿、四国地方では重要な栽培品目として位置付けられている。しかし、近年の暖房用燃料等の価格高騰が農家経営を大きく圧迫しており、これらの産地では低コストで暖房コストを大幅に削減できる技術が求められている。そこで、資材設営に要する費用が安価で労力負担が軽い株元加温法〔特許第4888847号「ナスの栽培方法」〕を考案して、本法がナスの形態的および生理的にどのような影響を及ぼすのかを検討した。さらに、生産現場で容易に活用できる株元加温システムの開発に取り組んだ。

試験着手に当たっては、まず促成栽培で最低温度が高い主要な果菜類（ナス、トマト、キュウリ）において株元加温が生育と着果に及ぼす影響を比較した。ナスの促成栽培において高い収量を得るためには、結果側枝数の確保に努めることが重要である(宮本, 2000)。また、側枝数を増加させるには各一次側枝における二次側枝以降の側枝の生長と、開花を経て収穫までの期間を短縮させることが不可欠である。本実験では、株元加温によりナスの側枝の生長および果実の肥大が促進され、収穫果に占める不良果（曲がり果、首細果および細果）の発生が減少して商品果率が向上した。また、ハウス内最低気温を10℃で管理したハウスにおける株元加温した区の商品果収量は、ハウス内最低気温を12℃で管理したハウスの無処理区と同等となり、株元加温により暖房コストを大幅に削減できることが示唆された。トマトでは土耕栽培における収量および品質を調査した結果、開花および果実肥大期が加温期間にあてれば、収穫果数の増加や空洞果の発生が減少して商品果率が高まるとともに、1果重の増加も認められた。一方、キュウリでは生育および養水分吸収量を調査した結果、株元加温によりナスと同様に主枝および側枝の生長が促進され、側枝の発生数および主枝の着果数が増加した。また、株元加温によって根の生長が旺盛になり、給液量が多くなった。

以上の結果から、ナスの土耕栽培における株元加温では収穫果数の増加および収穫果に占める商品果率が向上し、単位面積当たり商品果収量が増加すること、トマトの土耕栽培における株元加温では商品果収量が増加すること、さらに著者が考案した株元加温技術はナス、トマトのナス科以外に、ウリ科のキュウリにおいても果実生産の促進効果が明らかになった。したがって、株元加温による低温環境下における生産性の向上効果がナス科やそれ以外の果菜類にも応用できれば、わが国における施設野菜の発展に寄与することが期待できるものと考えられる。

さらに、本実験ではナスについて以下の詳細な検討をした。

最初に、ナスへの株元加温方法が生育に及ぼす影響について明らかにするために、加温の温度、部位および時間帯について検討した。株元加温における温度の影響を検討した結果、株元加温の温度を20～25℃にすると、側枝数の増加および収穫果に占める商品果率が向上して商品果収量が増加すること、温度が20℃の場合、電力消費量は25℃の約50%となることが明らかになった。以上の結果から、ナスの株元加温において長期間にわたって安定した収量を確保しながら、暖房コストを大幅に削減できる加温温度は20℃が最適であることが示唆された。また、ナスでは有効な結果側枝を増やすこと(宮本, 2000)や光合成を高めること(鐘ら, 1989)が増収につながると報告されているが、加温の方法が形態的

および生理的反応に及ぼす影響についての報告は見当たらない。そこで、効果的な環境制御技術を確立するために加温の部位および時間帯がナスの主枝、側枝、根の生長、開花日および蒸散、光合成に及ぼす影響を調査した。実験の結果、株元加温により側枝の発生および生長が旺盛になり、第1花の開花日が早くなった。株元加温および根域加温により個葉の蒸散速度および光合成速度が向上し、給液量が多くなった。しかし、加温部位による生育の様相は異なり、株元加温では側枝、根域加温では主枝および根の生長が旺盛になった。また、株元加温による側枝の生長は加温時間が長くなるほど促進されるが、加温時間帯には影響されないことが明らかになった。以上のことから、株元加温によって側枝の発生および生長が促進すること、光合成および養水分吸収機能が向上することが明らかになり、この株元加温はナスの収量向上に非常に適した技術であると推定された。

次に、株元加温によって引き起こされる形態的な事象である側枝の生育促進の生理的な要因を明らかにすることは重要である。そこで、側芽の発達へのサイトカイニンの関与の可能性について検討するため、BA施与がナスの促成栽培における生育、収量に及ぼす影響を調査した。その結果、BA施与により、開花および着果側枝数が増加し、側枝における開花間隔日数が短くなり、商品果収量が増加した。しかし、BA施与による果実肥大促進および品質向上効果は認められなかった。以上のことから、ナスの促成栽培においてサイトカイニン施与による、側枝数増加のメカニズムである側枝の発生・生長の促進という形態的な反応と、それによる収量向上効果を明らかにでき、株元加温による側枝の生長促進にサイトカイニンが関与している可能性が示唆された。今後、さらに検討する必要がある。

以上の検討した内容をふまえて、ナスにおける株元加温を生産現場で容易に活用できる技術として確立するため、促成栽培に適した実用的な株元加温システムを考案するとともに、このシステムが収量および品質に及ぼす影響を検討した。また、ハウス内最低気温の低減および暖房コストの削減効果を確認した。その結果、最終的に、暖房コストを大幅に削減でき、しかも生産現場で容易に活用できるナスの促成栽培のための株元加温技術として、トンネルと枝ダクトを組み合わせたダクト加温システムの開発に到達した。ダクト加温システムの開発に当たっては簡単に設置でき、被覆フィルムの掛けはずしも容易(板木, 1993)で、安価な資材のみで設営できて保温効果が高い(内島, 1997)とされるトンネル被覆に着目し、トンネルをナスの地際部に設営し、その内側に暖房ダクトを挿入して加温するシステムとした。さらに、単純にトンネル内にダクトを通してダクト表面から放熱する方式ではダクトの温度が暖房機から遠くなるほど低くなりトンネル内に温度勾配ができるため、トンネル内温度の均一性を高める目的で、ダクトの先端を閉じ、先端側面部分に排気孔を設けて、トンネル内で排気する方式を考案した。また、開発したシステムは暖房機の温風による加温法であるため、株元の温度変化には暖房機の稼動状況が大きく影響する。長期間の温度調査の結果、株元部の温度は暖房機が稼動した期間と暖房機が稼動しなかった期間ともダクト加温区の方が対照区より高いことが確認された。ダクト加温システムによって側枝の生長および果実の肥大が促進され、対照区より収穫果数が多くなり、商品果収量が増加した。また、ハウス内最低気温 10℃に暖房したハウスのダクト加温区の商品果収量は、ハウス内最低気温 12℃のハウスの対照区と同等であった。暖房用燃料消費量の試算ツール(高市, 2007)を用いて、福岡県の一般的なハウス内最低気温を 12℃から

10℃に2℃下げた場合の暖房用燃料費を算出すると、10 a 当たり 32 万円（A 重油価 80 円 / L で試算）減らすことができる。本システムは従来の暖房システムを改良して行うことができるため、資材費として 10 a 当たり約 2 万円 / 年の投資で対応でき、システムの設営作業も畝にダクトおよびトンネルを設置するだけと簡単であり、10 a 当たりの作業時間は 14.0 h / 人であった。

以上のように、ナスの促成栽培におけるダクト加温システムは、暖房コストを大幅に削減でき、しかも生産現場で容易に活用できる画期的なナスの環境制御技術であり、果菜類の促成栽培産地における農家の収益性を向上させ地域農業の維持・発展に大きく寄与すると期待できる。また、本研究で開発した株元加温システムは、従来の促成栽培より化石燃料の消費量を削減できるため、二酸化炭素の排出量が大幅に削減でき、地球温暖化対策へ貢献できる。本研究成果の中のダクト加温システムは、農林水産省において 2012 年度の農業関係の研究機関による研究成果の中から早急に農業生産現場へ普及する必要がある農業新技術（農業新技術 2012）に選定された（農林水産省農林水産技術会議事務局研究推進課，2012）。2011 年時点で福岡県内のナスの促成栽培農家（452 戸）の内、30 戸の農家がハウス全体もしくは一部で株元加温システムを導入しており、今後は農家の収益を向上させる技術として本県の普及組織および JA 組織が連携して普及推進を図る予定である。

近年の原油を取り巻く状況を考慮すると将来的に A 重油価格の大幅な下落は見込めず、今後さらに暖房用燃油の消費量を削減できる技術への要望が強まると予想される。このような状況の中、植物体の株元を効果的かつ効率的に加温する株元加温は、今後の研究進展によりさらに暖房コスト削減が可能になる技術分野といえる。本研究はこれまでに報告がある根圏や生長点とは異なる、茎部の加温による省エネ効果および形態的・生理的反応を明らかにした革新的な研究であり、今後本研究成果を基に、野菜の他品目に加えて花きや果樹栽培において、省エネ生産技術や収量向上技術などの幅広い研究発展が期待できる。

Studies on Basal Stem Heating in Forcing Culture of Eggplant

Tomoyuki MORIYAMA

Summary

Eggplant is one of the most important vegetables in Kyushu, Kinki and Shikoku Districts, e.g., Fukuoka, Kumamoto, Okayama and Kochi Prefectures, because of its high profit in forcing culture. Farming management is becoming severe since the prices of fuel for heating etc. became high in recent years. Establishment of the practical techniques for reducing the costs of heating is, therefore, desired. In this research, a novel 'basal stem heating' method that can save cost and labor was developed, and effects of the method on plant growth were morphologically and physiologically investigated, with the attempt of the establishment of practical use of the basal stem heating.

Effects of the 'basal stem heating' on growth and fruiting in eggplant, tomato and cucumber, in which high minimum temperatures are required in forcing culture, were investigated.

The basal stem heating with electricity accelerated the growth of lateral branches and fruits and gave an increase of marketable fruit rates in eggplant. Marketable yield with the basal stem heating in a greenhouse under the minimum temperature at 10°C was similar to the controls without the basal stem heating in the greenhouse at 12°C, indicating that the basal stem heating considerably saves the costs in forcing culture of eggplant. Effects of the basal stem heating on yield and fruit quality were investigated in soil culture of tomato. Number of fruits, ratio of marketable fruits and average fruit weight increased when the basal stem heating was given during the flowering and fruit enlarging stages. Effects of the basal stem heating on growth and nutrient uptake were investigated in cucumber. Similarly to the effects in eggplant, the treatment accelerated the growth of primary scaffold and lateral branches, and raised the number of lateral branches and fruits on the primary scaffold branch. The method also resulted in vigour root growth and increased nutrient uptake. It is suggested that cultivation under structure in Japan will be developed if the productivity becomes higher by the basal stem heating in various fruit vegetables.

Effects of heating to various parts with different temperatures and time on the

growth and yields in forcing culture of eggplant were investigated. Increases in number of lateral branches, fruit growth and marketable fruit yields were observed at 20-25°C, when the amount cost of electric power required to run the system at 20°C was 50% less than that at 25°C. These results show that 20°C is a suitable temperature for saving the cost with this system in forcing culture of eggplant.

Effects of basal stem and root zone heating with different heating time and duration on the growth of primary scaffold branch and lateral branches, roots, flowering date, transpiration and photosynthesis were investigated in forcing culture of eggplant. The basal stem heating brought vigor and more lateral branches and early flowering of first flower. Transpiration and photosynthesis of leaves and amount of nutrient solution uptake increased by heating of both basal stem and roots as compared with the control. The basal stem heating promoted the growth of lateral branches, whereas root zone heating did that of primary scaffold branch and roots. The longer the heating duration was, the more the lateral branches grew. Heating time did not affect the growth of lateral branches when the heating duration was the same. It was estimated that this technique may be extremely suitable for yields improvement in eggplant.

Effects of BA treatment on the growth and yields were investigated in forcing culture of eggplant to examine the involvement of cytokinins in growth of the lateral buds. Number of flowers and lateral branches with flowers increased with benzyl adenine (BA) treatment. Shorting of flowering intervals on the lateral branches and increase of marketable yields were also recognized by the BA treatment. The treatment, however, did not promote the fruit enlargement and raise of fruit quality. These results indicate the possibility that basal stem heating promoted the lateral branches growth under the control of cytokinin. Further investigation is necessary to clarify the relationship between basal stem heating and endogenous cytokinin.

I devised a practical basal stem heating system suitable for forcing culture of eggplant in greenhouses. Effects of this system on yield and fruit quality were investigated with reducing the cost. The end of the duct were closed and holes were made on the ducts for the uniformity of the temperature. The basal stem heating system using a heat duct at the ground parts of the plants in a plastic tunnel was useful for reducing the cost.

The basal stem temperature under the heating system at night was remarkably higher(6.3°C) than that of the control, and the air temperature in the plastic tunnel

was 3°C higher than that of the control without heating. The basal stem heating system accelerated the growth of the lateral branches and fruit, and the number of harvested fruits and marketable fruit yields under the heating system were higher than those under the control. The heating costs per 10a decreased by 320,000 yen (oil price 80 yen/L) when the minimum temperature was decreased by 2°C from 12°C to 10°C. Setting up the basal stem heating system was not costly (20,000 yen·10a⁻¹) since the heating system can be prepared using existing heating machines. The working time required to install the system was 14h/10a⁻¹ person⁻¹.

It was expected that the basal stem heating system will improve the profit of forcing culture production of fruit vegetables. Since the system can reduce a consumption of the fossil fuel it can largely reduce carbon dioxide emission quantity.

This investigation is the innovative study that clarified an energy saving effect and a physiological response of basal stem heating, which is superior method than root heating and shoot apex heating as worked on before. On the basis of this study, it is expected in the future that the basal stem heating system develops as an energy saving and yield improvement technology for flower and fruit production.

謝辞

本論文の取り纏めにあたって、校閲に多大な労を執られ終始御教鞭を賜った九州大学大学院農学研究院教授大久保敬博士、御助言をいただいた九州大学大学院農学研究院准教授若菜章博士および御助言とともに御校閲を賜った尾崎行生博士に謹んで感謝の意を表します。

本論文の作成にあたり、親切な御指導と御助言を与えてくださった福岡県農業総合試験場副場長濱地勇次博士、筑後分場長山下純隆博士および野菜部長三井寿一氏には心より感謝申し上げます。

本論文の実験を行うにあたっては多くの方々のご協力を頂きました。本研究を遂行するにあたり、元福岡県農業総合試験場筑後分場長大隈光善博士ならびに元八女分場長林三徳氏には懇篤なる御助言をいただきました。共同で研究に取り組んでいただいた株式会社ナチュラルステップの伏原肇氏ならびに株式会社Zenの黒岩善治氏には数々の御助言と御協力を、また元福岡県農業総合試験場野菜栽培部(現、野菜部)の奥幸一郎氏ならびに(現、八女分場)小熊光輝氏には多大な御協力を頂きました。謹んで深く感謝の意を表します。

実験を実施するにあたり、元福岡県農業総合試験場野菜栽培部野菜栽培チーム(現、野菜部施設野菜チーム)ならびに福岡県農業総合試験場筑後分場野菜チームの研究員、農業技術員および臨時職員の皆様には試験場内圃場および現地農家圃場における装置・資材設営、調査等の業務に御尽力いただきました。深く感謝いたします。

生産現地における実験を遂行するにあたり、福岡県筑後農林事務所南筑後普及指導センター野菜第一係ならびに八女普及指導センター野菜係、加えて福岡八女農業協同組合、南筑後農業協同組合ならびに柳川農業協同組合のナス担当営農指導員の皆様には多くの便宜と多大な御協力をいただきました。心より感謝の意を表します。

本研究を進める過程で御指導・御尽力を頂きました上記ならびに全ての福岡県農業総合試験場の職員および臨時職員の皆様に、心より感謝いたします。

引用文献

- 青木宏史. 1997. 温度管理. pp. 409-413. 農業技術大系 野菜編 5. 農文協. 東京.
- 番 喜宏・林 悟朗・青柳光昭・柳原 等. 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. 愛知農総試研報. 24: 123-129.
- Englbrecht, L. 1972. Cytokinins in leaf cuttings of *Phaseolus vulgaris* L. during their development. Biochem. Physiol. Pflanz. 163: 335-343.
- 藤村 良・伊藤純吉・藤本治夫. 1964. トマトの奇形果に関する研究（第3報）育苗期間中の低温処理時期と苗勢が乱形果の発生に及ぼす影響. 兵庫農試報. 12: 66-69.
- 藤重宣昭・杉山直儀・尾形亮輔. 1991. トマトの花芽分化と結実に及ぼす根温の影響. 園学雑. 60: 97-103.
- 福田 晟・山谷 聡・小葉田 亨・今木 正. 1993. 山陰地域の冬期強風による茶樹の葉身被害の発生（第2報）葉身水ポテンシャル低下の原因としての低温下における葉身と根の水通導抵抗の増大. 日作紀. 62: 193-198.
- 福岡県園芸農業協同組合連合会. 1997. 福岡の野菜 戦後50年のあゆみ. 野菜づくりの技術的進歩用. pp. 43-47. 福岡.
- 福岡県園芸振興推進会議. 2009. 原油高騰に対する技術対策実施状況. p. 3. 冬春なす生産販売振興対策会議. 福岡県農林水産部経営技術支援課. 福岡.
- 福岡県農業会議. 1999. 農業臨時雇賃金の現金支払額. p. 5. 平成11年度農作業料金・農業労賃に関する調査. 福岡県農業会議. 福岡.
- 福岡県農林水産部経営技術支援課. 2008. 原油高騰に対する技術対策実施状況(ナス). 福岡県農林水産部経営技術支援課. 福岡.
- 福岡県農林水産部経営技術支援課. 2009a. キュウリ（促成栽培）. pp. 94-101. 主要野菜の栽培技術指針（第9版）. 福岡県農林水産部経営技術支援課. 福岡.
- 福岡県農林水産部経営技術支援課. 2009b. ナス（促成栽培）. pp. 34-41. 主要野菜の栽培技術指針（第9版）. 福岡県農林水産部経営技術支援課. 福岡.
- 福岡県農林水産部経営技術支援課. 2009c. トマト（促成栽培）. pp. 50-57. 主要野菜の栽培技術指針（第9版）. 福岡県農林水産部経営技術支援課. 福岡.
- 林 真樹夫. 2007. 温度制御. pp. 116-157. 五訂施設園芸ハンドブック. 日本施設園芸協会. 東京.
- 平沢 正. 1994a. 水ストレスと作物の光合成・生長. pp. 109-117. 植物生産生理学. 朝倉書店. 東京.
- 平沢 正. 1994b. 根の受動的吸水と能動的吸水. pp. 157-158. 根ハンドブック. 根研究会. 東京.
- 堀 裕・新井和夫・土岐和久. 1968. 培地温と気温の組合せがそ菜の生育ならびに養分吸収に及ぼす影響. I キュウリ, トマト, カブ, インゲンに関する実験. 園試報. A7: 187-214.
- 稲山光男・村上 高. 1973. キュウリの光合成産物の動態に及ぼす温度の影響（第1報）種々の気温で育苗した苗の¹⁴C0₂とりこみと光合成産物の配分. 園学雑. 42: 27-34.

- 石橋泰之. 2000. 温度管理. pp. 297-298. 農業技術大系野菜編 5. 農文協. 東京.
- 板木利隆. 1993. 施設装置の利用性能と改良. pp. 33-132. 施設園芸・装置と栽培技術. 誠文堂新光社. 東京.
- 伊東明子. 2001. ニホンナシの花芽形成における植物ホルモンの役割とその利用による制御技術. 農及園. 76: 39-48.
- 伊藤亮一. 1994. 水ストレスと作物の光合成・生長. pp. 102-103. 植物生産生理学. 朝倉書店. 東京.
- 岩手県農林水産部農業普及技術課. 2006. トマト周年養液栽培における培地加温の収量性と暖房コスト低減の可能性. 研究 No, 10. 岩手県農林水産部農業普及技術課. 岩手.
- 加納恭卓・青木佑介・真館辰弥・池上洋一. 2010. 着果枝の加温はスイカ果実の糖集積を促進する. 園学研. 9 (別 2) : 167.
- 加藤 徹・楼 恵寧. 1989. ナスの収量並びに木部溢泌液中の無機成分及びホルモンレベルに及ぼす台木の影響. 園学雑. 58: 345-352.
- 河崎 靖・鈴木克己・安場健一郎・川嶋浩樹・高市益行. 2008. 冬季のトマト栽培における花房—生長点局所加温の効果. 園学研. 7(別 2): 245.
- 河崎 靖・鈴木克己・安場健一郎・川嶋浩樹・高市益行. 2010. トマトの生長点—開花花房付近の局部加温が植物体表面温度および収量関連形質に与える影響. 園学研. 9: 345-350.
- 河崎 靖・鈴木克己・安場健一郎・高市益行. 2011. 温風ダクト吊り下げによるトマトの生長点—開花花房付近の局部加温が垂直温度分布, 収量および燃料消費量に及ぼす影響. 園学研. 10: 395-400.
- 金 泳錫・遠藤昌伸・切岩祥和・陳 玲・糠谷 明. 2009. 固形培地耕における日中の培地加温がイチゴ‘章姫’の開花, 生育, 収量に及ぼす影響. 園学研. 8: 193-199.
- 北村治滋・大隅喜代司・吉澤克彦. 1987. カーネーションのベンジルアデニンによる分枝発生位置の調節. 滋賀研報. 28: 31-39.
- 小柴共一・神谷勇治. 2010. サイトカイニン. 新しい植物ホルモンの科学. 講談社. 東京. pp. 35-52.
- 町田治幸・阿部泰典・隔山普宣. 1981. 昼夜温の組合せが促成栽培ナスの生育, 収量, 品質におよぼす影響. 徳島農試研報. 19: 1-7.
- 豆塚茂実. 1997. 生理障害の原因と対策, 主な障害果の原因と対策. pp. 529-531. 農業技術大系 野菜編 2. 農文協. 東京.
- 宮城県農林水産部農業支援課. 2004. イチゴ促成栽培における深層地中加温装置の導入効果. pp. 39-40. 普及に移す技術 第 79 号. 宮城県農林水産部農業支援課. 宮城.
- 宮本重信. 2000. 仕立て方と生育・収量, 作業性. pp. 277-281. 農業技術大系 野菜編 5. 農文協. 東京.
- 森山友幸・奥幸一郎. 2012b. 促成ナス栽培におけるトンネルと枝ダクトを組み合わせた株元加温システムの開発. 園学研. 11: 531-536.
- 森山友幸・姫野修一・井手 治. 1999. トマトの花房への局部加温が着果率に及ぼす影響. 園学雑. 68(別 2): 311.

- 森山友幸・伏原 肇・奥 幸一郎. 2011. 株元加温が促成ナスの着果, 収量, 品質に及ぼす影響. 園学研. 10: 545-550.
- 森山友幸・伏原 肇・奥 幸一郎. 2012a. 局所加温の部位および時間帯がナスの形態および生理に及ぼす影響. 園学研. 11: 337-341.
- Morris, D. A. 1981. Distribution and metabolism of root cytokinins in *Pisum sativum* cultivar Meteor. *Physiol. Plant.* 52: 251-256.
- 村松安男・新谷円一. 1967. トマトの奇形果に関する研究 (第1報) 乱形果の発生条件について. 静岡農試研報. 12: 70-79.
- 中村英司. 1966. エンドウの分枝性に関する研究 (第6報) 分枝の発生に関連する生理学的, 解剖学的変化について. 園学雑. 36: 77-88.
- 中村英司・浅平 端. 1963. エンドウの分枝性に関する研究 (第3報) 生育温度が分枝性におよぼす影響. 園学雑. 32: 57-62.
- 農林水産省. 2000. 農業経営統計調査. 平成12年産野菜・果樹品目別統計. 6. 野菜. なす.
- 農林水産省. 2007. 農業経営統計調査. 平成19年産品目別経営統計. 施設野菜作経営. 2-3. なす.
- 農林水産省. 2012. 農作物価統計. 農業生産資材品目別価格指数と当月価格. 重油.
- 農林水産省農林水産技術会議事務局研究推進課. 2012. トンネルと枝ダクトを組み合わせた促成なすの低コスト株元加温栽培技術. 農業新技術 2012. p. 5.
- 大川 清. 1976. ベンジルアデニン (BA) の温室バラのシュート発生効果 (第2報). ベーサルシュートの発生率を左右する二, 三の要因及び冬期の休眠芽打破効果について. 園学要旨. 昭51春: 306-307.
- 大島一則・鈴木雅子・羽石重忠・小玉弘恵・石原良行. 2003. 促成ナスのロックウール栽培における栽培及び給液管理法. 栃木農試研報. 52: 31-45.
- 斎藤 隆. 1982. 果実発育の生理, 生態. pp. 101-135. 農業技術大系 野菜編 1. 農文協. 東京.
- 斎藤 隆. 1992. ナス=植物としての特性. pp. 3-22. 農業技術大系 野菜編5. 農文協. 東京.
- 斎藤 隆・伊藤秀夫. 1962. トマトの生育ならびに開花・結実に関する研究 (第1報) 育苗期の温度が生育ならびに開花・結実に及ぼす影響. 園学雑. 30: 207-212.
- 斎藤毅雄. 2008. ナス. pp. 8-10. 主要な野菜品目および茶業における低コスト安定生産技術の開発に向けた研究戦略. 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構農研機構野菜茶業研究所. 三重.
- 坂田好輝・鈴木克己. 2008. キュウリ. pp. 16-18. 主要な野菜品目および茶業における低コスト安定生産技術の開発に向けた研究戦略. 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構農研機構野菜茶業研究所. 三重.
- 佐々木皓二. 1995. 養液栽培での生育と技術, キュウリ. pp. 99-103. 農業技術大系 野菜編 12. 農文協. 東京.
- 佐藤公洋・北島伸之. 2010. 高設栽培におけるクラウン部局所加温の温度がイチゴの生育および収量に及ぼす影響. 福岡農総試研報. 29: 27-32.

- 佐藤公洋・北島伸之・沖村 誠. 2008. イチゴ促成栽培におけるクラウン部局部加温が生育・収量に及ぼす影響と燃料節減の効果. 園学研. 7(別2): 269.
- 清水かほり・渋谷俊夫・徳田綾也子・瓦 朋子・杉脇秀美. 2008. 低気温貯蔵中における短期間ボトムヒート処理によるナス接ぎ木挿し穂の発根処理. 園学研. 7: 23-26.
- Shimizu-Sato, S. and H. Mori. 2001. Control of outgrowth and dormancy in axillary buds. *Plant Physiol.* 127: 1405-1413.
- 宍戸良洋・堀 裕・鹿野昭一. 1990. キュウリ果実の着果・肥大期における光合成産物の転流・分配に及ぼすベンジル・アデニンの影響. 園学雑. 59: 129-136.
- 末長善久. 1997. 促成タイプの作型—九州タイプ, 作型・栽培システムと栽培の要点. pp. 571-574. 農業技術大系 野菜編 2. 農文協. 東京.
- 鈴木克己・浜本 浩. 2008. トマト. pp. 4-7. 主要な野菜品目および茶業における低コスト安定生産技術の開発に向けた研究戦略. 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構農研機構野菜茶業研究所. 三重.
- 高橋英生. 1998. 果実の発育と収量・品質, 収量構成要素とその変動. pp. 459-461. 農業技術大系 野菜編 1. 農文協. 東京.
- 高市益行. 2007. 全国の半旬別気象データを利用した温室暖房コスト試算ツールの構築. 農業環境工学関連学会 2007 合同大会講演要旨集: G35.
- 田中章雄. 1987. 合成サイトカイニン (KT-30) の幼果処理によるキウイフルーツの果実肥大に及ぼす影響. 鳥取果試研報. 10: 21-31.
- 田中和夫・安井秀夫. 1986. 施設内における果菜類の省エネルギー栽培に関する研究 II トマトの生育に及ぼす低温の影響. 野菜試報. A14: 159-168.
- 田中哲司・山下文秋・酒井広蔵・山本勝之. 2000. 深層地中加温システムの利用がナスの促成栽培における厳寒期の草勢維持に及ぼす影響. 園学研. 69(別2): 368.
- 寺倉涼子・渋谷俊夫・北宅善昭・清田 信. 2004. キュウリ挿し穂の低温貯蔵中における短期間の供給培養液の加温処理が貯蔵中の品質および貯蔵後の発根に及ぼす影響. 生物環境調節 42: 331-337.
- 土岐知久. 1970. 施設栽培における適環境条件の生理的研究, 第1報 キュウリの栽培温度の解析. 千葉農試研報. 10: 62-72.
- 豊富康弘・今泉 寛・吉川重彦. 1973. 温度条件とトマトの生育に関する研究 第1報 定植後の気(夜)温, 地温について. 三重農研研報. 1: 41-53.
- 内島立郎. 1997. 被覆気象と施設気象. pp. 196-221. 農業気象. 養賢堂. 東京.
- 宇田川雄二. 1991. 根温を異にした養液栽培イチゴの生理生態学的研究. 千葉農試特報. 19: 1-60.
- Wertheim, S. J. and E. N. Estabrooks. 1994. Effect of repeated sprays of 6-benzyladenine on the formation of sylleptic shoots in apple in the fruit-tree nursery. *Scientia Hort.* 60: 31-39.
- 吉田建実. 2000. ナスの品種生態と特性. 海外のナス生産. pp. 159-161. 農業技術大系野菜編5. 農文協. 東京.
- 財務省. 2012. 貿易統計. 原油及び粗油.