

ナスの促成栽培における電熱線を用いた株元加温システムの開発と加温温度の違いが生育や収量に及ぼす影響

奥 幸一郎*・森山友幸・伏原 肇¹⁾・小熊光輝・井手 治・龍 勝利

ナスの促成栽培において設置が簡易で、低コストな電熱線を用いた株元加温システムを開発し、開発したシステムにおける加温温度の違いがナスの生育や収量に及ぼす影響について検討した。

開発したシステムは消費電力が低い面状電熱線と熱伝導が良く、保温性の高い保温シートを使用する。システムの設置に要する時間は約12時間・10a⁻¹・人⁻¹と省力的である。開発したシステムを用いて、20℃または25℃で株元加温すると、側枝の生長および果実の肥大が促進され、12～6月の商品果収量が多くなった。株元加温に要する電力消費量は、20℃では25℃で加温した場合に比べ、約50%となった。以上のことから、開発したシステムの加温温度は20℃が適すると考えられた。

[キーワード：ナス、株元加温、電熱線、加温システム、加温温度]

Development of a Basal Stem Heating System Using an Electric Heating Wire and Effects of Temperature on Growth and Yield of Eggplants in Forcing Culture. OKU Koichiro, Tomoyuki MORIYAMA, Hajime FUSHIHARA, Mitsuteru KOGUMA, Osamu IDE and Katsutoshi RYU (Fukuoka Agricultural Research Center, Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan) *Bull. Fukuoka Agric. Res. Cent.* 31: 40-44 (2012)

To reduce the labor and running costs of cultivating eggplant in forcing culture, we developed a basal stem heating system. The system consisted of a low-consumption electric heating wire coupled with a more expensive thermal seat with high heat conductance. The working time required to install the system was 12 h·10a⁻¹·person⁻¹. When this basal stem heating system was operated at 20℃ or 25℃, we observed an acceleration of lateral shoot and fruit growth and an increase in marketable yields from December to June. The amount of power required to run the system at 20℃ was 50% less than that required to run the system at 25℃. These results show that 20℃ may be a suitable temperature for this system for use in forcing culture of eggplants.

[Key words : eggplant, basal stem heating, electric heating wire, heating system, heating temperature]

緒 言

ナスの促成栽培では、厳寒期でも安定した生育と高収量を得るため、暖房機と換気装置を用いて施設内の最低気温が12℃以下にならないような温度管理が行われている。現在行われている暖房は、空気を直接加温して施設内全体の空間を暖める方式であるため、多量のエネルギーが必要である(林, 2007)。近年の原油価格高騰により暖房用燃料コストが著しく増加しており、生産現場からは暖房用燃料消費量を大幅に削減できる新しい栽培管理技術が求められている。

このような中、森山ら(2011)は、ナスの促成栽培において主枝の株元部分のみを電熱線を用いて25℃に終日加温する技術(以下、株元加温)は無処理に比べ、1～6月におけるナスの収穫果数ならびに商品果収量を増加させること、施設内の最低気温が10℃の条件下でも慣行の最低気温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を明らかにした。株元加温はナスの促成栽培において有効な管理技術になりうると考えられ、実用化のための技術開発が必要である。森山ら(2011)は、主茎の地際から高さ約25cmまでの部位に長さ60cmの電熱線を巻き付けて株元加温の検討を行ったが、この方法は多大な設置労力を要し、また電熱線の消費電力も大きいため、実用的

でない。

そこで、ナスの促成栽培において設置が簡易で、低コストな株元加温システムの開発を試みた。なお、技術開発に当たっては、生産者に導入可能な技術とするため、開発の目標を①装置の設置作業が1人でも行え、短時間で設置可能、②低価格で導入できるシステム、③加温に要するランニングコストを低くすることとした。更に、開発したシステムにおける加温温度の違いがナスの生育や収量に及ぼす影響について検討した。

材料および方法

1 開発したシステムの概要

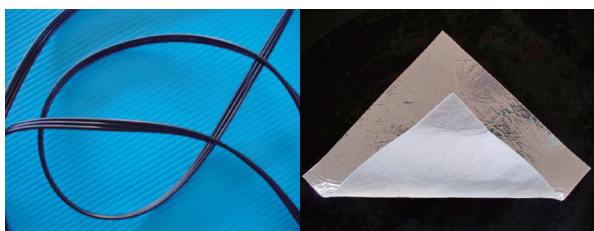
システムの試作・開発は、イチゴのクラウン部局局加温システムの技術を持つ(株)Zenと共同で行った。開発したシステムの構成資材、規格、数量を第1表および第1図に示した。本システムの制御装置は、専用電熱線(三相200V・500W⁻¹)を2本接続でき、加温温度や加温時間の制御を可能とした。加温に用いる電熱線は導入コストやランニングコストを削減するため、1本が120mと長く、消費電力が低い幅10mmの面状電熱線(E2050120:三相200V・500W⁻¹・120m⁻¹, 荏原電線)とした。ナス主枝の株元部分に熱を効率的に伝えるため、保温性の高い不織布の内側に熱伝導に優れるアルミ蒸着フィルムを組み合わせた保温シート

* 連絡責任者(野菜部: koi-oku@farc.pref.fukuoka.jp)

1) 現(株)Zen

(縦横25cm, 厚さ 4mm)を開発し, これを用いた。

本システムの設置方法を第2図に示した。主茎の地際から高さ約25cmまでの部位に電熱線を逆U字型に沿わせ, 結束用機材(テープナー HT-B(N), マックス)で固定し, 保温シートでナス主枝と電熱線を包み込み, 更に結束用機材で固定した。温度センサは地際と分枝部の中間地点に結束バンドで電熱線と固定し, 電熱線と主茎の表面に接するように設置して, 制御装置で加



第1図 開発した専用電熱線と保温シート

温温度を制御した。

2 開発したシステムの加温温度の違いがナスの生育や収量に及ぼす影響

試作した株元加温システムを用い, 加温温度の違いがナスの生育や収量に及ぼす影響について検討した。試験は福岡県農業総合試験場内の間口 6m, 長さ 20m, 軒高3.2m, 容積約 400m³, 南北方向単棟パイプハウスで行った。ハウスの被覆資材は, 外張りに厚さ 0.10mmの農ビ, 内張りに厚さ0.075mmの農ビを用いた。供試品種は, 穂木に本県の主要品種である「筑陽」, 台木に「トナシム」を用いた。試験区は, 試作したシステムによる株元加温区と無処理区を設けた。2006年度の株元加温区では, 加温温度を15℃, 20℃, 25℃, 30℃に設定し, 加温は2006年12月 1日~2007年 4月30日に行った。2007年度の株元加温区では, 加温温度を15℃, 20℃, 25℃に設定し, 加温は2007年12月 1日~2008年 4月30日に行った。両年度の加温温度は, 電熱線と茎表面の間に固定したサーモセンサで各設定温度に制御した。

定植は2006年度が 9月20日, 2007年度が 9月 7日に第 1花開花期の苗を畦幅200cm, 株間60cm, 1条植えで行い, 主枝V字 4本立立てにした。主枝の摘芯は, 第 1主枝が第 9花房開花時, 第 2主枝が第 8花房開花時および第 3, 4主枝が第 7花房開花時に, 開花花房の直上葉を 1葉残して実施した。側枝は 1芽 1果どり

切り戻し整枝とした。着果促進処理は, 開花した花房にトマトーン50倍液を噴霧した。ハウスの内張り被覆資材は気温23℃を目安に開閉し, 外張り被覆資材は施設中央部の地上高 1m地点に設置した温度センサを午前28℃, 午後25℃に設定し, 自動温度制御で開閉した。夜間の施設内加温は, 白灯油を燃料とする温風暖房機で行い, 最低気温が2006年度は12℃以下, 2007年度は10℃以下とならないように暖房した。施肥はN, P₂O₅, K₂Oをそれぞれa当たり5.8kg, 3.6kg, 5.0kg施用した。試験規模は 1区 3株の 3反復とした。

果実の収穫は, 両年度とも第 1果から翌年 6月30日まで週 3回行い, 果長が18cm以上の果実を順次収穫し, 品質別に果数および果重を測定した。1日当たりの果実肥大量は収穫果の果重を開花から収穫までの日数で除した値で示した。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。電熱線の温度と畦の地下10cmの地温, 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, システムの消費電力量は電力稼働時間計測器(H7ET-N1, OMRON)で時期別の稼働時間を測定した。システムの設置に要する作業時間の計測は, 被験者 7名で, ナス20株の設置に要する時間を計測し, 平均値を算出した。

結 果

2006年度における電熱線の夜間の表面温度は15℃加温区が15.1±1.3℃, 20℃加温区が20.4±2.3℃, 25℃加温区が26.6±2.5℃, 30℃加温区が33.0±2.6℃で推移した(データ略)。なお, 株元加温の30℃加温区は加温開始から45日の時点で約60%の株が枯れたため, 試験を中止した。2007年度における株元加温の茎内温度の推移を第3図に示した。夜間の茎内温度は無処理区が12.3±1.0℃であったのに対し, 15℃加温区が15.1±0.5℃, 20℃加温区が20.6±0.3℃, 25℃加温区が26.9±0.4℃で推移した。

第2表に2006, 2007年度における株元加温の加温温度の違いが開花側枝数, 着果側枝数および着果率に及ぼす影響について示した。1株当たりの開花側枝数, 着果側枝数は20℃, 25℃加温区が無処理区より7~11本/株多く, 15℃加温区は無処理区と同等であった。また, 着果率には加温温度による有意な差は見られなかった。

第1表 開発したシステムの構成資材, 規格, 数量

資材名	規格	数量 (/10a)
制御装置	株Zen製 1台で 1kW (電熱線 2本) まで加温温度および時間を制御可能	4台
専用電熱線	E2050120 : 荏原電線株式会社製 電圧 : 三相 200V, 消費電力 : 500W, 長さ : 120m	8本
保温シート	株Zen製, アルミ蒸着フィルムと不織布で構成されたシート 縦横 : 25cm, 厚さ : 4mm	800枚



第2図 電熱線方式株元加温システムの設置方法

第2表 株元加温温度の違いが開花、着果側枝数および着果率に及ぼす影響

年次	加温温度	開花側枝数 (本/株)	着果側枝数 (本/株)	着果率 ¹⁾ (%)
2006年	15°C	120.3	113.3	94.2
	20°C	126.0	122.1	96.9
	25°C	124.7	120.4	95.8
	無処理	118.0	111.7	94.6
2007年	15°C	148.3	137.0	92.4
	20°C	157.7	148.3	94.1
	25°C	156.0	147.0	94.2
	無処理	149.0	137.3	92.2
有意性 ²⁾	年次(A)	**	**	**
	加温温度(B)	**	**	n. s.
	(A) × (B)	n. s.	n. s.	n. s.

1) 着果率 = 着果側枝数 ÷ 開花側枝数 × 100

2) 二元配置分散分析により **, * は 1%, 5% 水準で有意差あり, n. s. は有意差なし。

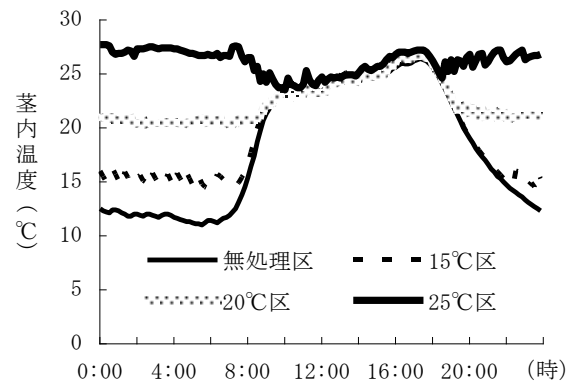
株元加温の加温温度の違いが 1日当たりの果実肥大量に及ぼす影響について第 3表に示した。2006年度は、20°C加温区は無処理区と比べ、1, 2月の果実肥大量がそれぞれ0.5, 0.2g/日多くなり、25°C加温区は無処理区と比べ、1, 3月の果実肥大量がそれぞれ0.3g/日多くなった。2007年度は、20°Cおよび25°C加温区は無処理区と比べ、1月の果実肥大量がそれぞれ0.4, 0.3g/日多くなったが、他の月は同等であった。15°C加温区の果実肥大量は、両年度とも無処理区と同等であった。

第 4, 5表に株元加温の加温温度の違いが商品果収量および総収量に及ぼす影響について示した。両年度とも、10～11月の商品果収量には全ての区で有意な差は見られなかった。また、15°C加温区の12～6月の商品果収量および総収量は、両年度とも無処理区と同等であった。2006年度の12～6月の商品果収量において、20°Cおよび25°C加温区は無処理区と比べ、果数が8～11果/m²多く、重量が0.8～1.4kg/m²重くなった。また、総収量において、20°Cおよび25°C加温区が無処理区と比べ、果数が6～8果/m²多く、重量が0.5～1.0kg/m²重くなった。2007年度の12～6月の商品果収量では、20°C加温区は無処理区と比べ、果数が10果/m²多く、重量が1.3kg/m²重かったが、25°C加温区は無処理区と同等であった。また、総収量において、20°Cおよび25°C加温区は無処理区と比べ、果数が8～10果/m²多く、重量が0.7～1.3kg/m²重くなった。

株元加温の加温温度の違いと電力消費時間について

第 4図に示した。2006年度は、25°C加温区が約1,400時間で、20°C加温区が約850時間、15°C加温区は約150時間だった。また、2007年度は25°C加温区が約2,000時間で、20°C加温区が約1,000時間、15°C加温区は約250時間だった。

システムの設置に要する作業時間は、1株当たり約52秒だった。導入費はナスの促成栽培において、10a当りに制御装置4台、面状電熱線8本、保温シート800枚が必要となり、約76万円と試算された。また、システムのランニングコストは、加温温度20°Cの電力消費時間から試算すると、10a当たり約9万円だった。



第3図 株元加温による茎内温度の推移 (2007年12月22日、晴天日に測定)

第3表 株元加温の加温温度が1日当たりの果実肥大量に及ぼす影響

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

1) 果実肥大量 (g/day⁻¹) = 収穫果実重 (g) ÷ 開花から収穫までの日数 (day)

2) 分散分析により **, * はそれぞれ 1%, 5% 水準で有意差あり

3) 同列の異なる英小文字には, Tukey 法により 5% 水準で有意差あり

第4表 株元加温の加温温度の違いが商品果収量および総収量に及ぼす影響 (2006年度)

試験区	商品果収量 ¹⁾				総収量 ²⁾		商品果率 ³⁾
	10~11月		12~6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)	(%)
15°C	9	1.4	105 b	14.0 b	110 b	14.7 b	95
20°C	9	1.4	113 a	15.2 a	118 a	15.9 a	96
25°C	8	1.3	110 a	14.6 a	116 a	15.4 a	95
無処理	8	1.3	102 b	13.8 b	110 b	14.9 b	93
分散分析 ⁴⁾	n. s.	n. s.	*	*	*	*	n. s.

第5表 株元加温の加温温度の違いが商品果収量および総収量に及ぼす影響 (2007年度)

試験区	商品果収量				総収量		商品果率
	10~11月		12~6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)	(%)
15°C	28	4.2	115 b	15.1 b	123 b	16.1 b	94
20°C	27	4.0	123 a	16.1 a	132 a	17.2 a	94
25°C	27	4.0	118 b	15.1 b	130 a	16.6 a	91
無処理	28	4.1	113 b	14.8 b	122 b	15.9 b	93
	n. s.	n. s.	*	*	*	*	n. s.

1) 商品果収量 = 上物収量 + 中物収量。

2) 総収量 = 商品果収量 + 下物収量。

3) 商品果率 = 商品果収量 ÷ 総収量。

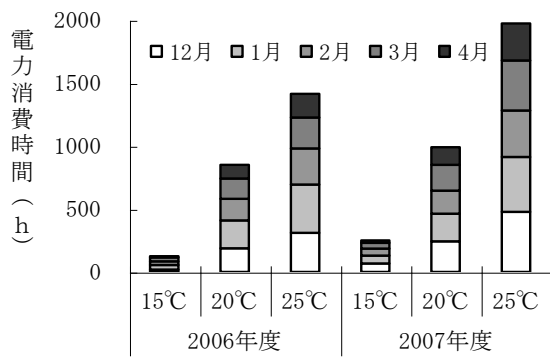
4) 分散分析により * は 5% 水準で有意差あり, n. s. は有意差なし。

5) 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。

考 察

茎内温度は株元加温により、両年度とも設定温度とほぼ同等で推移した。20°C, 25°C で加温すると無処理と比べ、1株当たりの開花側枝数、着果側枝数が多く、厳寒期の1日当たりの果実肥大量が増加した。ナスの促成栽培において高い収量を得るためには、着果側枝数の確保に努めることが必要とされており(宮本2000)、側枝数を増加させるためには側枝の生長と果実肥大を促進させて側枝発生から開花、収穫までの期間を短縮させることが重要である。25°C で株元加温

することにより1株当たりの着果側枝数が多くなること、1日当たりの果実肥大量が増加し、開花から収穫までの日数が短縮されることが報告されている(森山ら2011)。本試験においても、1株当たりの着果側枝数および1日当たりの果実肥大量は加温温度15°C で無処理と同等だったのに対し、20°C および25°C の加温温度で多くなった。森山ら(2011)は、株元加温により着果率も高くなると報告しているが、本研究では着果率に差が見られなかった。この要因として、無処理区でも着果率が92%以上と高い環境条件であったため、株元加温が着果率に及ぼす影響が小さくなったことが



第4図 株元加温の加温温度の違いと電力消費時間

考えられる。本試験において、株元加温開始後の12～6月の総収量は、両年度とも20°Cおよび25°Cで加温すると無処理と比べて増加した。このことから、側枝の発生や果実肥大の促進には20～25°Cの加温温度が有効であると考えられた。また、20°Cに加温すると無処理と比べ2、3月の商品果率が高くなった。12～6月の商品果収量は、2006年度は20°Cおよび25°Cで加温すると無処理と比べて増加したが、2007年度は20°Cで加温した場合のみ増加した。ナスの果実の発育には、昼温25～30°C、夜温18～23°Cの比較的高温が適することが報告されている(斉藤 2010)。株元加温は1日の中で主に夜間に加温を行っており、20°Cでの加温は果実肥大に適する温度と考えられる。一方、2007年度に25°Cの加温温度で商品果収量が増加しなかった要因として、1果重の減少と不良果発生割合の増加に伴う商品果率の低下が要因として考えられる。森山ら(2011)は、25°Cで行った株元加温の茎内温度が24°Cだったことを報告しているが、本試験では加温温度25°Cの茎内温度は26.7°Cで彼らの報告より約3°Cも高かった。これは開発した株元加温システムが茎を保温シートで包み込むため、電熱線の熱がシート内の茎に蓄えられたためと推察された。促成イチゴのクラウン部局部加温において、その生育促進効果は21°C以上の加温温度で認められるが、25°Cの加温温度では1果重または果数が減少する。これは、呼吸による消耗が要因の1つとして推察されている(佐藤・北島 2010)。また、ナスの促成栽培で日射量が少ない冬期は光合成速度が低下し、光合成産物の転流も抑制されやすい。このような条件で、夜温を高くすると呼吸による消耗

がより大きくなる(斉藤 2010)。本試験において、加温温度25°Cの1果重は無処理に比べ約3g軽くなったことから、光合成産物の呼吸による消耗が増加した可能性が推察される。また、2007年度の試験では、加温温度25°Cで無処理と同様に不良果発生が多かったが、その要因として高夜温による花質の低下が考えられる(斉藤 2010)。2007年度の試験で加温温度25°Cの商品果率が無処理に比べて低くなった要因として、呼吸による消耗や環境要因などが考えられるが、これについては更なる検討が必要である。

これらの結果から、株元加温の加温温度は20°Cが最適であると考えられる。また、電力消費量は加温温度を20°Cとすると、加温温度25°Cの約50%となり、光熱費を大幅に削減できることも明らかとなった。経営試算では本システム導入により約10万円の所得増加が見込まれる。今後は導入費、光熱費の更なる低減と増収効果の高い株元加温システム等の検討が必要と考えられる。

以上の結果より、ナスの促成栽培において、電熱線を用いた株元加温システムで加温温度を20°Cとすると、側枝の生長および果実の肥大が促進され、12～6月の商品果収量が増加すること、加温温度20°Cの株元加温に要する電力消費量は加温温度25°Cと比べて約50%となり、株元加温による暖房用燃料消費量の削減と合わせて更なる光熱費の削減が可能であることが明らかになった。

引用文献

- 林 真樹夫 (2007) 温度制御. 五訂施設園芸ハンドブック. 日本施設園芸協会, 東京, p. 116-157.
- 宮本重信 (2000) 農業技術体系野菜編 5. 農文協: 基277-281.
- 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(4): 545-550
- 斉藤 隆 (2010) 農業技術体系野菜編 5追録35号. 農文協: 基43-57.
- 斉藤 隆 (2010) 農業技術体系野菜編 5追録35号. 農文協: 基99-114.
- 佐藤公洋・北島伸之 (2010) 高設栽培におけるクラウン部局部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.