

促成イチゴの高設栽培における生育促進 および増収効果がある低コスト地表面加温法

水上宏二*・佐藤公洋・奥 幸一郎・井上恵子¹⁾

促成イチゴの高設栽培において、2 条植えの条間中央に電熱線を 1 本敷設し、その上から保温性が高いアルミ蒸着フィルムで条間を覆い、クラウン表面温度を指標として 21℃で加温する地表面加温を考案し、生育促進および増収効果ならびに資材の設置にかかる作業時間、年間コストをクラウン加温と比較した。地表面加温は、クラウン加温と比べてクラウン表面温度が約 4℃低くなったが、培地温度が 1～2℃高くなり、イチゴの生育促進および増収効果は同等で、合計収量が地表面加温なしより 15%増加した。また、地表面加温では、クラウン加温と比べて資材の設置時間が 26%に短縮されるとともに、資材の減価償却費が 39%、電気代が 30%削減され、年間コストを 64%に低減できた。

[キーワード：コスト削減，高設イチゴ，地表面加温，生育促進，増収]

Low Cost Soil Surface Heating System with Growth-Stimulating and Yield-Increasing Effects in Forcing Culture of Strawberries in Elevated Beds. MIZUKAMI Koji, Kimihiro SATO, Koichiro OKU and Keiko INOUE (Fukuoka Agriculture and Forestry Research Center, Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan) *Bull. Fukuoka Agric. For. Res. Cent.* 6:41-47 (2020)

We developed the soil surface heating system for forcing culture of strawberries in elevated beds. This system consists of an electric heating wire installed in the row spacing covered by an aluminum deposition film with high heat conductance that produces a controlled crown surface temperature of 21℃. The soil surface heating system was compared with the direct crown heating system in terms of the growth and yield of strawberry, installation time of the material, and annual cost. When the soil surface heating system was controlled at 21℃, the crown surface temperature was about 4℃ lower and the medium temperature was 1-2℃ higher than that with the direct crown heating system. The growth-stimulating and yield-increasing effects of the soil surface heating system on the strawberries were similar to those of the direct crown heating system, and the total yield with both systems increased by 15% as compared to that with the system without soil surface heating. The soil surface heating system can reduce installation time by 74% and depreciate installation, electric, and annual costs by 39%, 30%, and 36%, respectively, compared to the direct crown heating system.

[Key words : cost reduction, growth stimulation, soil surface heating system, strawberry in elevated bed, yield increase]

緒 言

促成イチゴの高設栽培は、栽培管理や収穫の作業負荷軽減を目的として普及が進んでいる。一方で高設栽培は、栽培槽を空中に配置するため土耕栽培と比べて培地温度が低下しやすく、冬期の生育遅延や収量低下を招きやすい（吉田 2012）。そのため、福岡県では一般的に暖房温度を土耕栽培より 3～7℃高い 8～12℃に設定してハウス内全体の温度を確保し、草勢の維持や収量確保に努めている。しかし、ハウス内全体を加温すると植物体がない空間まで暖めるため、燃料の利用効率が低下して多量のエネルギーが必要となる（林 2007）。さらに、近年の原油価格高騰に伴い、イチゴ生産者においても生産経費増大が大きな問題となっており、暖房経費を削減できる省エネ栽培技術が強く求められている。

イチゴにおける効率的な加温方法としては、培地加温やクラウン加温といった局所加温が研究されてきた。培地加温は、イチゴで生育促進や増収効果が報告されている（岩崎ら 1997, 重野ら 2001, 金ら 2009a, 2009b）が、本県ではその効果が判然としない場合があり（三井ら 2002）、熱源の埋設や除去作業の労力が大きいため

導入が進んでいない（岩崎 2012）。他方でクラウン加温は、電熱線等の熱源をイチゴの茎頂を含むクラウン部に接触させて植物体を局部的に直接温める加温法で、生育促進および増収効果が報告されている（壇ら 2005, 佐藤・北島 2010）。さらに佐藤ら（2008）は、促成イチゴの高設栽培で電熱線を用いたクラウン加温を行い、最低気温を 10℃から 4℃に下げても同等以上の生育および収量が得られ、暖房経費を約 6 割削減できると試算している。このように安定した加温効果と高い省エネ効果が期待できるクラウン加温であるが、10 a 当たりの設備にかかる減価償却費と電気代などのランニングコストの合計は、導入するシステムにより年間 28～47 万円程度かかるため（佐賀県上場営農センター 2013）、必ずしも普及が拡大しているとはいえない。また、クラウン加温は、熱源をクラウン部に接触させて直接加温するため熱効率が良い反面、条数と同じ数の熱源が必要となり、資材設置にかかる作業時間やコストの低減の妨げになっている。そのため、熱源を減らしてもクラウン部近傍の温度を確保できる局所加温方法があれば、イチゴの高設栽培における増収および省エネ技術として活用が期待できる。

*連絡責任者（野菜部：mizukami-k8720@pref.fukuoka.lg.jp）

受付2019年 7月19日；受理2019年10月23日

1) 前 野菜部

そこで本研究では、クラウン加温の作業性やコストの削減を図るため、熱源を埋設せずに地表に敷設し、保温資材を活用して培地ならびに地表付近の植物体近傍を直接または間接的に温める地表面加温を考案し、その有効性についてクラウン加温と比較検討したので報告する。

材料および方法

供試品種は「福岡S 6号」を用いた。試験は2009年および2010年に当試験場内の間口6m、奥行き10mの単棟ハウスにおいて強化プラスチック製栽培槽（PSK-3000 A タイプ、幅30cm、深さ15cm、半円状、培土量2.5L/株、矢崎化工（株））を高さ110cmに設置して行った。培養土には高設専用培土唐津型（清新産業（株））を使用し、6月に採苗した9cmポリポット苗を夜冷短日処理（福岡県2006）し、2009年は9月17日、2010年は9月21日に株間20cm、条間20cmの2条外成りで定植した。

試験区は、地表面加温区とクラウン加温区（第1図）の2区を設け、対照として局所加温をしない無加温区を設置した。局所加温の熱源には、いずれも電熱線（100V/250W/31m、日本ノーデン（株））を用いた。

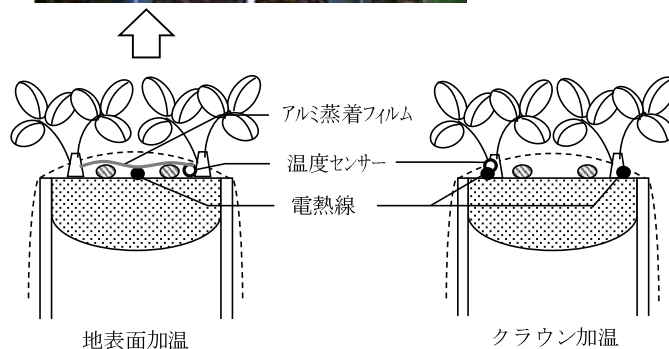
地表面加温区は、条間に当たる培地中央の地表に電熱線1本を敷設し、25cm幅のアルミ蒸着フィルム（本州太陽シート、王子製紙（株））のアルミ面を下向きにして電熱線とクラウン部の両方に密着するように条間を覆って実施した（第1図）。供試したアルミ蒸着フィルムは、保温率が約40%と高く（國武ら2009）、一般的にアルミは熱伝導率が高いことから、熱損失を抑えつつ電熱線の熱をクラウン部まで伝達する資材として採用した。アルミ蒸着フィルムによる被覆は、2009年および2010年度ともに黒マルチ被覆前日の10月26日に行った。また、アルミ蒸着フィルムの保温効果を確認するため、2010年度に条間をアルミ蒸着フィルムで被覆しない無保温加温区を追加で設けた。

クラウン加温区は、佐藤・北島（2010）の方法に準じ、電熱線をそれぞれの条に1本ずつ敷設し、すべての株のクラウン部に引掛け付き輪ゴム（YSバンド、（株）サカタのタネ）で固定して加温した。

温度制御は、いずれの区も農電電子サーモ（ND-610、日本ノーデン（株））を用いた。電子サーモの温度センサーは、クラウン加温区ではクラウン部と電熱線の両方に、地表面加温および無保温加温区では間接的なクラウン加温を想定して電熱線配置側のクラウン部に接触させて（第1図）、11月1日～翌年4月14日に終日21℃で制御した。施肥は基肥を施用せず、10cmピッチの点滴チューブ（T-Tape、パイオニアエコサイエンス（株））を条間に2本敷設し、OK-F-1（OATアグリオ（株））の2,000～3,000倍液でかん水同時施肥した。両年ともビニル被覆は10月20日、黒マルチ被覆は10月27日に全区で行った。電照は2009年が11月15日、2010年が11月8日に開始し、草勢に応じて2～4時間の暗期中断で管理した。両年ともいずれの果房も摘果は行わなかった。

ハウス内の温度管理は、外張りフィルムを24℃設定で自動換気し、二重被覆と温風暖房機で最低5℃を確保した。試験規模は1区12株の3反復とした。

温度調査は、サーモレコーダ（本体RTR-502、センサーTR5220、（株）ティアンドディ）を用いて、クラウン表面を2010年1月13日～26日および2010年12月6日～7日、培地を2009年12月19日～28日および2010年12月12日～19日に測定し、1日における各時刻の平均値を求めた。クラウン表面温度は、サーモレコーダのセンサーを温度制御用電子サーモの温度センサーと同様に設置して測定した。また培地温度は、2009年度が株間の中央の位置の深さ5cmを、2010年度が条間中央から外側に7.5cmの位置の深さ4cmを測定した。電熱線の電力消費量は、2010年度に電力計算タップ（エコワット、T-ECO、エレコム（株））を用いて測定し、週2回記載して累計した。生育調査は、2009年度が1月22日に、2010年度が12月13日および2月7日に、新生第3葉の葉柄長および先端小葉の葉幅を計測した。また、各果房頂花の開花日を記録し、頂果房～第三次腋果房の各果房間葉数を計数した。さらに、冬期の出葉速度を比較するため、2009年度は11月1日～1月30日、2010年度は11月4日～2月5日の約90日間に出土した葉数を調査した。収穫は週に2～3回行い、奇形果（6g以上）および屑果（2g以上、6g未満）を除く6g以上の商品果の重量を収量として10a当たり（7,400株）に換算した。また、2010年10月に地表面加温区、クラウン加温区それぞれについて資材設置にかかる作業時間を架台の長さ7.2m/人で計測し、10a当りに換算した。併せて、使用した資材の電力量などから年間コストを試算した。



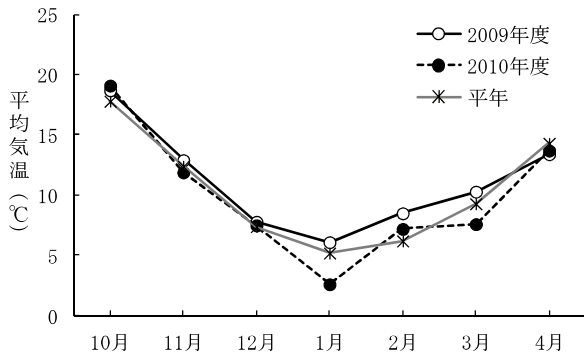
第1図 地表面加温およびクラウン加温の概略図

1) 破線は黒マルチ、●はかん水用点滴チューブ

結 果

1 気象概況

2009 年および 2010 年度における 10～4 月の月別平均気温を第 2 図に示した。2009 年度は、10～12 月は平年並みであったが、1 月が平年より 0.9℃、2 月が 2.3℃、3 月が 1.0℃それぞれ高く、暖冬の年であった。2010 年度も 10～12 月は平年並みであったが、1 月が平年より 2.6℃、3 月が 1.7℃それぞれ低く、1 月の低温が特徴的な年であった。



第 2 図 10～4月の平均気温

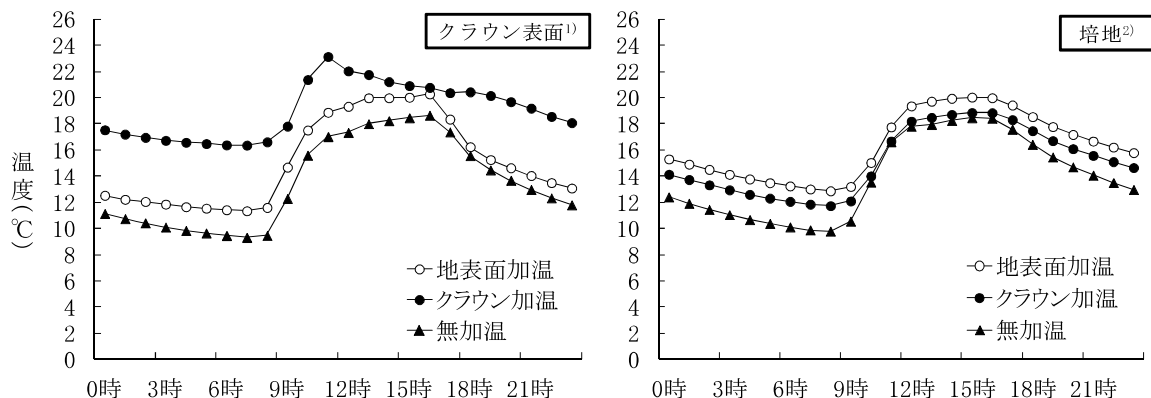
1) 気象データはアメダス太宰府観測値を使用し、平年は1981～2010年の30年平均

2 クラウン表面および培地の温度

クラウン表面および培地の温度の推移について、2009 年度を第 3 図、2010 年度を第 4 図に示した。

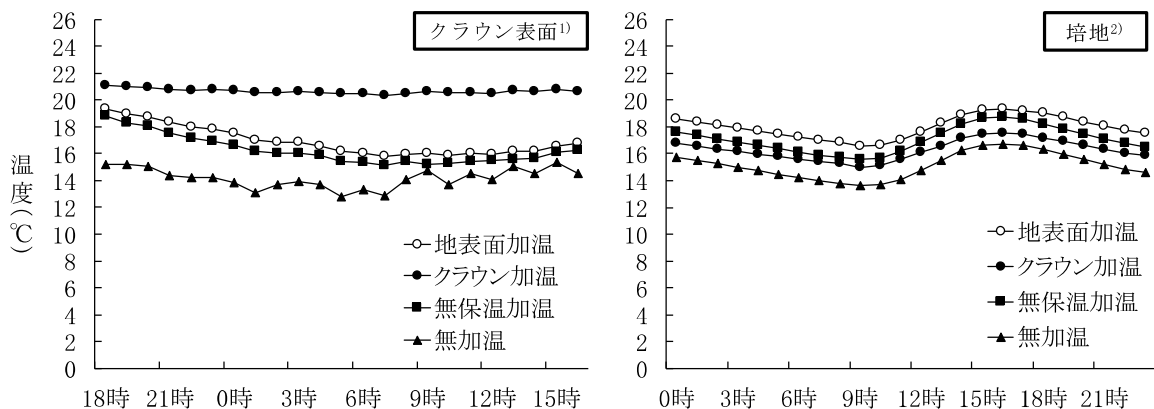
クラウン表面温度は、2009 年度、2010 年度ともに地表面加温区がクラウン加温区より終日低く推移した。2009 年度のクラウン表面温度の日平均は、地表面加温区が 15.1℃でクラウン加温区の 19.0℃より 3.9℃低かったが、無加温区の 13.5℃と比べて 1.6℃高かった。2010 年度のクラウン表面温度の日平均は、地表面加温区が 17.1℃でクラウン加温区の 20.7℃より 3.6℃低かったが、無加温区の 14.3℃と比べて 2.8℃高かった。また、無保温加温区のクラウン表面温度の日平均は 16.4℃で地表面加温区より常に 0.4～0.9℃低かった。

培地温度は、2009 年度、2010 年度ともに地表面加温区がクラウン加温区より終日高く推移した。2009 年度の培地温度の日平均は、地表面加温区が 16.3℃で最も高く、クラウン加温区の 15.2℃、無加温区の 13.9℃よりそれぞれ 1.1℃および 2.4℃高かった。2010 年度の培地温度の日平均は、地表面加温区が 18.0℃で最も高く、クラウン加温区の 16.3℃、無加温区の 15.1℃よりそれぞれ 1.7℃および 2.9℃高かった。一方、無保温加温区の培地温度の日平均は 17.1℃で、クラウン加温区および無加温区より高かったが、地表面加温区より常に 0.6～1.1℃低かった。



第 3 図 局所加温方法別クラウン表面および培地温度の推移 (2009年度)

1) 2010年1月13日～26日に測定 2) 2009年12月19日～28日に測定

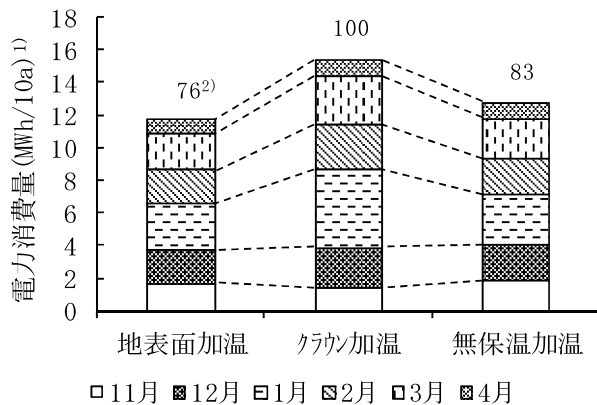


第 4 図 局所加温方法別クラウン表面および培地温度の推移 (2010年度)

1) 2010年12月6日～7日に測定 2) 2010年12月12日～19日に測定

3 電熱線の電力消費量

第5図に各試験区の局所加温にかかる10a当たりの年間電力消費量を示した。10a当たりの電力消費量は、地表面加温区が11.7MWh、無保温加温区が12.8MWhでそれぞれクラウン加温区の15.5MWhより24%および17%少なかった。



第5図 局所加温にかかる10a当たり年間電力消費量

- 1) 2010年度試験、電熱線は200V/500W/120mで算出
- 2) グラフ上の数値は、クラウン加温対比

4 局所加温方法の違いがイチゴの生育および収量に及ぼす影響

第1表に局所加温方法の違いと冬期のイチゴの生育を示した。2009年度の1月、2010年度の12月ならびに2月における葉柄長および葉幅は、地表面加温区とクラウン加温区間で有意な差が認められず、両区とも無加温区と比べて葉柄長が2.2~7.0cm、葉幅が0.7~2.1cm大きかった。なお、2010年度の12月、2月において無保温加温区の葉柄長および葉幅は、ともに無加温区と有意な差が認められなかった。

次に第2表に局所加温方法の違いとイチゴの各果房の開花日、果房間葉数および展葉数を示した。頂果房、第一次および第二次腋果房の各開花日は、すべての区で2009年度が2010年度より早い傾向にあり、第二次腋果房では地表面加温およびクラウン加温の両区で無加温区より開花日が5~8日早まった。頂果房から第三次腋果房までの各果房間葉数は、第一次と第二次腋果房間で2010年度が2009年度より0.8~1.4枚少ない傾向にあったが局所加温方法による差はなかった。第二次と第三次腋果房間の葉数は、地表面加温およびクラウン加温の両区で無加温区より0.5~1.6枚少なくなった。11月上旬から約90日間の展葉数（以下、厳寒期の展葉数）は、地表面加温およびクラウン加温の両区で無加温区より0.9~2.1枚多かった。

第1表 局所加温方法の違いと冬期のイチゴの生育

試験区 (加温方法)	2009年度 1月22日		2010年度			
			12月13日		2月7日	
	葉柄長 ¹⁾ (cm)	葉幅 ¹⁾ (cm)	葉柄長 (cm)	葉幅 (cm)	葉柄長 (cm)	葉幅 (cm)
地表面加温	15.3a ³⁾	6.7a	14.6a	8.2a	18.9a	8.0a
クラウン加温	15.4a	6.7a	14.6a	8.3a	20.4a	8.6a
無保温加温	—	—	12.3b	7.5b	15.0b	6.9b
無加温	12.5b	5.6b	12.4b	7.5b	13.4b	6.5b
分散分析 ²⁾	**	**	**	**	**	**

1) 葉柄長および葉幅は、新生第3葉を調査

2) **は、1%水準で有意差あり

3) 異文字間には5%水準で有意差あり (Tukeyの多重比較検定)

第2表 局所加温方法の違いとイチゴの各果房の開花日、果房間葉数および展葉数

試験年度	試験区 (加温方法)	果房開花日 ¹⁾			果房間葉数(枚)			展葉数 ²⁾ (枚)
		頂	第一次腋	第二次腋	頂~第一次腋	第一~二次腋	第二~三次腋	
2009	地表面加温	10月29日 a ⁴⁾	12月20日 a	2月6日 a	4.8a	4.7a	3.0a	7.7a
	クラウン加温	10月29日 a	12月23日 a	2月5日 a	5.0a	4.4a	3.3ab	7.9a
	無加温	10月29日 a	12月17日 a	2月11日 b	4.4a	4.7a	3.8b	6.8b
2010	地表面加温	11月6日 a	12月28日 a	2月17日 a	4.3a	3.3a	2.9a	8.2a
	クラウン加温	11月5日 a	12月31日 a	2月16日 a	4.5a	3.3a	2.7a	8.5a
	無加温	11月5日 a	1月18日 b	2月24日 b	4.8a	3.9b	4.3b	6.4b
(参考)	無保温加温	11月7日	1月16日	2月22日	4.6	3.4	3.0	7.0
分散分析 ³⁾ 年度 (A)		**	**	**	n. s.	**	n. s.	n. s.
処理 (B)		n. s.	n. s.	**	n. s.	n. s.	**	**
A×B		n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.

1) 各果房の頂花が開花した日の平均日

2) 2009年度は11月1日~1月30日、2010年度は11月4日~2月5日に出葉した葉数

3) 二元配置分散分析で **、*は、それぞれ1、5%水準で有意差あり、n. s. は有意差なし

4) 各年度内で異文字間には5%水準で有意差あり (Tukeyの多重比較検定)

一方で無保温加温区は、地表面加温およびクラウン加温区と同様に第二次と第三次腋果房間の葉数が無加温区と比べて 1.3 枚少なかったが、各果房の開花日や厳寒期の展葉数には差がなかった。

第 3 表に局所加温方法の違いとイチゴの収量性を示した。12～1 月、4～5 月および合計収量ならびに株当たり収穫果数には年次間差が認められ、2009 年度が 2010 年度と比べて 12～1 月の収量が少なく、4～5 月

および合計収量ならびに株当たり収穫果数が多い傾向にあった。地表面加温およびクラウン加温の両区は、無加温区と比べて商品果率および平均果重には差がなく、株当たり収穫果数ならびに 2～3 月の収量が有意に多く、合計収量が 12～15%高かった。一方で無保温加温区は、無加温区と比べて時期別および合計収量、株当たり収穫果数、商品果率、平均果重いずれも差がなかった。

第 3 表 局所加温方法の違いとイチゴの収量性

試験年度	試験区 (加温方法)	収量 (kg/10a)				収穫果数 (個/株)	商品果率 ¹⁾ (%)	平均果重 (g)
		12～1月	2～3月	4～5月	合計			
2009	地表面加温	950a ⁴⁾	1,680a	2,080a	4,710a (115) ²⁾	34.8a	89.8	18.1a
	クラウン加温	940a	1,510ab	2,180a	4,630a (113)	36.1a	88.3	17.2a
	無加温	1,010a	1,310b	1,770a	4,090b	28.9b	88.9	19.0a
2010	地表面加温	1,090a	1,450a	1,770a	4,310a (114)	31.9a	90.9	18.2a
	クラウン加温	1,070a	1,560a	1,620a	4,250a (112)	31.4a	91.5	17.8a
	無加温	1,140a	860b	1,790a	3,780b	28.3b	91.4	18.0a
(参考)	無保温加温	1,180	980	1,660	3,820 (101)	28.7	91.1	17.9
分散分析 ³⁾	年度 (A)	**	n. s.	*	*	*	n. s.	n. s.
	処理 (B)	n. s.	**	n. s.	*	*	n. s.	n. s.
	A×B	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.

1) (商品果数)/(総収穫果数)×100

2) () 内の数値は、合計収量の無加温対比

3) 二元配置分散分析で **, *は、それぞれ1, 5%水準で有意差あり, n. s. は有意差なし

4) 各年度内で異文字間には5%水準で有意差あり (Tukeyの多重比較検定)

5 設置時間およびコスト

地表面加温およびクラウン加温区それぞれにかかる 10 a 当たりの設置時間、資材、電力量および年間コストを第 4 表で比較した。電熱線等資材の設置時間は、地表面加温区が 11.3 時間でクラウン加温区の 42.8 時間の 26%であった。これら資材の設置にかかる労賃を福岡県の最低賃金 814 円/h で試算すると、地表面加温区が 0.9 万円、クラウン加温区が 3.5 万円となった。資材の減価償却費は、地表面加温区ではクラウン加温区と比べて新たにアルミ蒸着フィルムが必要となったが、電熱線や温度制御

装置の数が半減したため 3.8 万円と試算され、クラウン加温の 6.3 万円より 39%の削減となった。電気代は、地表面加温区ではクラウン加温区と比べて 10 a 当たりの電熱線の使用本数が半減し、契約電力や消費電力量が少なくなったため 17.6 万円と試算され、クラウン加温区の 25.3 万円と比べて30%の削減となった。資材の設置労賃および減価償却費と電気代を合計した年間コストは、地表面加温区では 22.3 万円と試算され、クラウン加温区の 35.1 万円より36%の削減となった。

第 4 表 局所加温の10 a 当たりの設置時間、資材、電力量および年間コスト

項 目	地表面加温	クラウン加温
局所加温資材設置時間	11.3時間	42.8時間
使用資材および電力量		
電熱線 (三相200V・500W・120m)	7本	14本
温度制御装置 (200V・16A・2口)	3.5台	7台
アルミ蒸着フィルム (2m×50m)	2本	—
低圧季時別電力 契約電力	4kW	8kW
消費電力量	12MWh	16MWh
年間コスト ¹⁾		
資材の減価償却費 ²⁾	3.8万円 (61) ⁵⁾	6.3万円
電気代 ³⁾	17.6万円 (70)	25.3万円
資材設置労賃 ⁴⁾	0.9万円 (26)	3.5万円
合 計	22.3万円 (64)	35.1万円

1) 間口6m, 奥行55mの3連棟ハウス, 2条外なり平段式高設栽培, 架台数14で試算

2) 耐用年数は、電熱線および温度制御装置が5年, アルミ蒸着フィルムが2年とした

3) 2018年6月九州電力(株)の料金単価使用, 電力量料金は昼間時間と夜間時間の平均単価

4) 福岡県最低賃金814円/h (福岡労働局2018年10月1日改定)で試算

5) () の数字は、クラウン加温対比

考 察

冬季に半休眠状態で花芽分化を継続的に行わせるイチゴの促成栽培（岩崎 2012）においてクラウン加温は、花芽の発育および葉や果房の展開を促進し、収穫果房数を確保するために有効な技術である（壇ら 2005, 佐藤・北島 2010）。しかし、クラウン加温は設備費や電気代などのコストが高額になりやすく（佐賀県上場営農センター 2013）、これらを低減することが技術普及のための課題であった。そこで本報では、イチゴの高設栽培でクラウン加温にかかる設置作業の省力化とコストの削減を図るため、熱源を植物体に接触させずに保温資材で被覆することで培地ならびに地表付近の植物体近傍を加温し、温度制御はクラウン表面の温度を指標として行う地表面加温を考案し、イチゴの生育および収量に及ぼす効果をクラウン加温と比較した。

比較に用いたクラウン加温（佐藤・北島 2010）は、クラウン部に電熱線を接触させて加温するため、2 条植えでは 1 架台に 2 本の電熱線を敷設する。一方、地表面加温では電熱線を条間の中央に 1 本のみ敷設し、アルミ蒸着フィルムで条間を覆って加温した。本試験では、佐藤ら（2008）の方法に準じてクラウン部の表面温度を 21℃に制御したが、地表面加温区のクラウン表面温度は、クラウン加温区と比べて約 4℃低くなり、21℃で維持することができなかった。一方、培地温度は地表面加温区がクラウン加温区より終日高く推移し、日平均で 1～2℃高かった。また地表面加温区は、クラウン表面および培地のいずれの温度も無加温区より 2～3℃高かった。このとき地表面加温区におけるイチゴの生育は、いずれの調査項目もクラウン加温区と差が認められず、無加温区より厳寒期の葉柄長、葉幅および展葉数が増大し、第二次腋果房の開花日が 6 日前後早まり、クラウン加温区と同等の生育促進効果が認められた。イチゴの生育適温は 18～25℃とされ（伊達 2001）、佐藤・北島（2010）はクラウン加温において、15～25℃の範囲では温度が高いほど草高や葉柄長が大きく、出葉速度が速いなど生育促進効果が高まることを報告している。本試験の地表面加温およびクラウン加温区における 12 月上旬および 1 月中下旬のクラウン表面温度の日平均は 15～21℃の範囲で、クラウン加温区が地表面加温区より約 4℃高かったことから、クラウンを温めることによる生育促進効果は地表面加温区がクラウン加温区より小さかったと考えられる。また、イチゴの根域適温は 15～20℃とされ（伊達 2001）、金ら（2009a, 2009b）は固形培地耕で日中に培地加温を行い、日平均で 13～22℃の範囲では高温ほど生育促進および増収効果があったことを報告している。本試験の地表面加温およびクラウン加温区における 12 月中下旬の日平均培地温度は 14～18℃の範囲で、地表面加温区がクラウン加温区より約 1～2℃高かったことから、培地が温められることによる生育促進作用は地表面加温区がクラウン加温区より大きかったと推察される。したがって、地表面加温区では、クラウン加温と培地加温の相乗効果によりクラウン加温区と同等の生育促進効果が

得られたと考えられる。また、地表面加温区は、無加温区と比べて第二次と第三次腋果房間の葉数が約 1 枚少なくなりクラウン加温区と同等の花芽の発育促進が認められた。イチゴの花芽分化適温は 15～17℃（森下 2014）とされ、「福岡 S6 号」の第三次腋果房の花芽分化時期は 12～1 月に当たる（奥ら 2018）。この時期に無加温区ではクラウン表面および培地の日平均温度が 14℃前後であったのに対し、地表面加温区ではいずれの温度も 2～3℃高かったため植物体の温度が花芽分化適温に達し、果房間葉数が減少したと考えられる。これらの結果、地表面加温区ではクラウン加温区と比べて時期別収量、合計収量、収穫果数、商品果率および平均果重に差がなく、無加温区と比べて 2～3 月に増収し、合計収量が約 15% 増加した。地表面加温およびクラウン加温の両区では、無加温区と比べて商品果率および平均果重には差がなく収穫果数が増加したことから、増収要因は果実肥大によるものではなく、局所加温の生育促進効果による第二次腋果房以降の開花ならびに収穫時期の前進化によるものと推察される。以上のことから地表面加温区は、クラウン加温区と同等の生育促進および増収効果があることが明らかとなった。

一方で無保温加温区では、地表面加温区と比べてクラウン表面温度が 0.4～0.9℃、培地温度が 0.6～1.1℃常時低かったが、いずれも無加温区の日平均より約 2℃高かった。その結果、無加温区と比べて第二次と第三次腋果房間の葉数は減少したが、厳寒期の生育や展葉数には差がなく、増収効果も認められなかった。無保温加温区では、腋果房の花芽分化時期に植物体の温度が花芽分化適温には達したが、栄養成長を促進する生育適温には至らず、出葉速度の上昇、それに伴う収穫期の前進化が認められなかったため増収しなかったと推察される。したがって、地表面加温で生育促進および増収効果を得るためには、フィルムによる保温等により、クラウン表面および培地の日平均温度を 16～18℃に維持する必要があると考える。

電熱線により単位面積当たりに投入された熱量は、地表面加温区がクラウン加温区の 76%と少なかったにもかかわらず培地温度が約 2℃高くなった。この要因の 1 つは、電熱線をクラウン部に固定したクラウン加温区では、株間で電熱線と培地に隙間ができ、接地面積が小さくなったことで培地が温まりにくかったものと推測される。このことは、無保温加温区の培地温度がクラウン加温区より高かったことから推察される。他方、地表面加温区では電熱線の接地不良が改善されたことに加え、アルミ蒸着フィルムで培地が保温されたことにより少ない熱量で培地温度が確保できたと考えられる。アルミ蒸着フィルムの保温による電力削減効果は、地表面加温区と無保温加温区における電熱線の電力消費量の差から概ね推測できる。電熱線の電力消費量は、地表面加温区が無保温加温区より 5%（1 月）～16%（4 月）少なく、その差は比較的暖かい時期に大きかった。つまり、両区とも厳寒期はクラウン表面温度を 21℃に維持できた時間が短く、電熱線が長時間作動したために電力消費量に差が

つきにくく、気温が高く温度制御が有効であった11月や4月の暖候期にその差がついたと考えられる。したがって、アルミ蒸着フィルムの保温による電力削減効果は16%程度であったと推察される。

ここで、開花日、果房間葉数、収穫果数および収量でみられた年次間差について述べておく。2009年度は2010年度と比べて定植日が4日早かったことで頂花房の開花日が8日早まり、12～1月に成熟日数が短くなったことで平均果重が2.5g軽くなり（データ略）収量が低くなったと考えられる。また、平年値と比べて2009年度が暖冬、2010年度が低温傾向の冬であったため、2009年度は2010年度と比べて第一次腋果房以降各果房の開花日が早くなり、収穫期が前進化して収穫果数および収量が多くなったと推測される。

以上のことから、地表面加温では、クラウン加温と同等のイチゴの生育および収量が得られることが明らかとなった。また、地表面加温では、局所加温なしと比べて厳寒期の茎葉の伸長や展葉数が増大し、2～3月を中心に増収して合計収量が約15%増加することが明らかとなった。この地表面加温による生育促進ならびに増収効果は、クラウン加温より培地温度が高く、かつクラウン部の温度を局所加温なしより高く維持できたことによる培地加温とクラウン保温の相乗効果によるものと考えられる。また、地表面加温でこのような生育促進および増収効果を得るためには、アルミ蒸着フィルム等による保温が必要であることが明らかとなった。

地表面加温にかかる10a当たりのコストは、クラウン加温と比べて新たにアルミ蒸着フィルムが必要になるが電熱線や温度制御装置が半減するため、資材の減価償却費は39%削減される。また地表面加温の電気代は、クラウン加温より電熱線の電力消費量が約1.5倍多くなるが、電熱線の使用本数が半分になるため契約電力や消費電力量が少なくなることで30%削減できる。さらに、資材の設置にかかる労賃は、設置時間が大幅に削減されて、クラウン加温の26%に低減できる。そのため、資材の減価償却費、電気代および資材設置労賃を合計した年間コストは、地表面加温では約22万円と試算され、クラウン加温の64%に低減できると考えられる。

今回考案した地表面加温の実証試験により、クラウン加温のように必ずしも厳密に植物体温度を高めなくても、植物体近傍の地表面温度を高めることで茎葉の生育や出葉速度が促進されること、アルミ蒸着フィルムによる保温で熱損失が軽減できることが明らかとなった。地表面加温は、クラウン加温より資材の減価償却費や電気代といった年間コストが削減でき、設置も簡易であることから現場での普及が期待される。

引用文献

壇 和弘・大和陽一・曽根一純・沖村 誠・松尾征徳
(2005)イチゴのクラウン部局所温度制御が連続出苗

- 性に及ぼす影響. 園学雑 74 別 2 : 170.
- 伊達修一(2001)培養液の温度管理. 農業技術体系野菜編 3(イチゴ). 農山漁村文化協会, 東京, p. 96 の 34-41.
- 福岡県園芸振興推進会議(2006)花芽分化操作. 平成 18 年度版「あまおう」栽培の手引き. 福岡県, p. 28-34.
- 林 真樹雄(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.
- 岩崎泰永・蘇武 真・相澤 長・佐々木丈夫(1997)ロックウール栽培における促成イチゴの生育と収量に及ぼす栽植株数, 培養液濃度及び根圏加温の影響. 宮城園試研報 11 : 1-8.
- 岩崎泰永(2012)環境調節. 農業技術体系野菜編 3(イチゴ). 農山漁村文化協会, 東京, p. 119-138.
- 金 泳錫・遠藤昌伸・切岩祥和・陳 玲・糠谷 明(2009a)固形培地耕における異なる生育段階での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 : 315-320.
- 金 泳錫・遠藤昌伸・切岩祥和・陳 玲・糠谷 明(2009b)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.
- 國武みどり・井手 治・龍 勝利・小熊光輝・奥 幸一郎(2009)保温性の高い被覆資材の特性. 福岡農総試成果情報 : 19-20.
- 三井寿一・藤田幸一・末吉孝行(2002)イチゴ「とよのか」の高設栽培における培地加温と液肥濃度. 福岡農総試成果情報 : 21-22.
- 森下昌三(2014)農業の知識. イチゴの基礎知識. 生態と栽培技術. 誠文堂新光社, 東京, p. 38-53.
- 奥 幸一郎・佐藤公洋・北島伸之・水上宏二・井上恵子(2018)イチゴ品種「福岡 S6 号」および「とよのか」における腋花房の花芽分化特性. 福岡農林試研報 4 : 55-60.
- 佐賀県上場営農センター(2013)低コスト局所温度制御を駆使した所得 1,500 万円のイチゴ経営マニュアル. 山口印刷株式会社, 佐賀県, p. 3-6.
- 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所加温が生育, 収量に及ぼす影響と燃料節減効果. 園学研 7 別 2 : 269.
- 重野 貴・栃木博美・大橋幸雄・稲葉幸雄(2001)促成栽培におけるイチゴ「とちおとめ」の生育及び収量に及ぼす電照, 炭酸ガス施用及び地中加温の効果. 栃木農試研報 50 : 39-49.
- 吉田裕一(2012)高設栽培. 農業技術体系野菜編 3(イチゴ). 農山漁村文化協会, 東京, p. 143-168.