

# 促成イチゴ栽培における遠赤外線放射体を利用した

## 培地およびクラウン部の加温効果

本間貴司・金子賢一

Effect of Culture-Medium and Crown Portion Heating on  
Strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) Production Using Far-Infrared Panel Heater

Takashi HOMMA and Ken-ichi KANEKO

### Summary

In this study, we applied a new heating technique in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) production using a far-infrared panel heater (PTC heater) and evaluated its effectiveness in plant growth, flowering, and yield traits in the growing seasons of 2012/2013 and 2013/2014. PTC heater could warm the culture medium and the crown portion of the strawberry plants in an elevated bed culture or soil culture. In both growing seasons, the crown portion heating in an elevated bed culture showed to promote growth and flowering of the 1st and 2nd axillary flower cluster. However, no significant effects on yield traits were identified upon PTC heating, but only an increasing trend was observed upon medium heating in soil culture.

キーワード：イチゴ，遠赤外線パネルヒーター，局所加温

### I. 諸言

促成イチゴ栽培は、栽培期間中に厳寒期を経過することから、草勢維持や低温障害の回避のため、暖房によるハウス内加温が必要である。しかし、近年原油価格の乱高下に伴い、燃油に依存する暖房では燃油の経費が不安定となり、年次により生産コストの変動が大きく、経営を不安定にしている。また、燃油による暖房は二酸化炭素等の温室効果ガスを排出することから、環境に負荷を与えることも問題視されている。このような背景を受け、近年施設栽培では施設内全体を加温する一般的な方法に対し、省エネ・省コストを目的として全体暖房温度を低く設定し、低温障害を受けやすい、細胞分裂が盛んな茎頂生長点、根、花器などを局所的に加温する局所加温方法が注目されている。この局所加温において、イチゴでは温湯チューブや電熱線（佐藤・北島，2010）、アルミ箔ヒーター（鶴山ら，2013）をイチゴの茎頂生長点を内包するクラウン部に接触させて加温する方法や、電熱線を地中に埋設して土壌を加温する方法（重野ら，2001）が報告されている。また、他品目ではトマトにおいて、温風ダクトを植物体の上部に吊り下げ、茎頂付近を局所的に加温する方法（河崎ら，2010；河崎ら 2011）が報告されている。しかし、局所加温に関する報告事例はいまだ限られたものであり、実用化に向けてさらなる技術開発が求められている。

遠赤外線放射体は効率的な加温資材として工業分野での利用が進んでおり、特に PTC（Positive Temperature Coefficient）ヒーターは、電流が流れて温度が上がると次第に電気が流れにくくなる特性を持ち、安全性が高く無駄な電力を消費しない省力的な加温資材といわれている。現在 PTC ヒーターは床暖房用加温資材としての利用が進んでいるが、農業関係では茶葉の乾燥等での利用があるものの、施設栽培の分

野での利用事例は見当たらない。そこで本研究では、遠赤外線放射体（PTC ヒーター）を利用した、促成イチゴ栽培の局所加温技術開発を目的とし、その設置方法、加温能力および加温効果を検討したので報告する。

## II. 材料および方法

### 1. 2012-13年の試験

#### 1) 遠赤外線放射体の設置方法

遠赤外線放射体（以下、「放射体」と記述する）はC社製のフィルム状PTCヒーター（出力174W/m<sup>2</sup>、200V、幅20cm）を用いた（図1）。加温部位は培地およびクラウン部とし、高設栽培（茨城園研式）および地床栽培の2栽培方式で試験した。高設栽培では放射体を栽培槽の中心に縦に埋め込む縦入区、放射体を栽培槽上面の条間に敷設する表面区、放射体の端を折り曲げて、放射体からクラウン部までの距離が約5cmになるように栽培槽上部に敷設し、クラウン部を直接加温するクラウン加温区を設置した。地床栽培ではベッド上面の条間に敷設する表面区のみ設置した（図2）。高設栽培、地床栽培それぞれにおいて放射体による局所加温を行った区の暖房温度は6℃に設定し、局所加温を行わない区では暖房温度を6℃に設定した対照区と慣行の8℃に設定した標準区を設置した。放射体による加温制御はU社製の温度コントローラーを用い、温度センサーを培地およびベッド中央部の深さ10cmに設置し、設定温度を18℃とした。



図1 遠赤外線放射体の外観。パネル両サイドの銀色の部分に通電させると、黒い部分から遠赤外線が放出される。

#### 2) 耕種概要

‘とちおとめ’を供試品種とし、ポット育苗により養成した株を、2012年9月18日に株間25cm、条間120cm、2条千鳥植えて定植した。施肥は、高設栽培では茨城園研いちご高設栽培システムの栽培マニュアルに従い、緩効性肥料を用いて全量基肥として10a当たり成分窒素24kg、リン酸20kg、カリウム20kg施与した。地床栽培では基肥として窒素16kg、リン酸25kg、カリウム16kg、追肥として窒素8.5kg、リン酸4.5kg、カリウム9.6kg施与した。ハウス内暖房は2012年11月10日から開始し、局所加温は2012年11月20日から2013年3月31日まで行った。

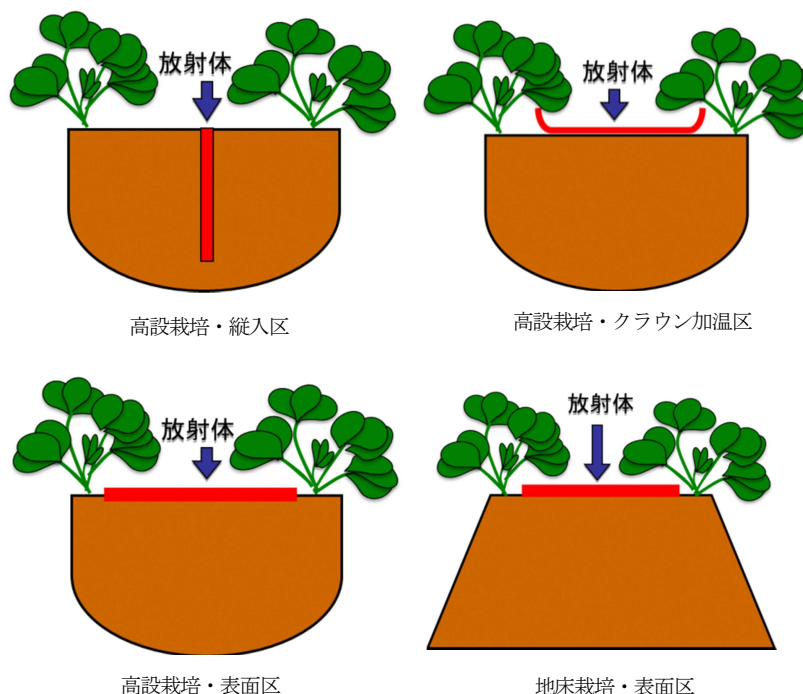


図2 遠赤外線放射体の設置方法の模式図

### 3) 調査方法

温度の測定にはT社製温度データロガーを用いた。高設栽培の培地温度は株間の深さ10cmにセンサーを設置して測定し、クラウン部温度はセンサーをクラウン部に5mm程度挿入して測定した。地床栽培の土壤温度はベッド中央10cmの深さにセンサーを設置して測定した。生育調査として、葉柄長および草高を測定した。各花房の開花日を調査し、3割開花した日を開花始期とした。収穫は週2-3回の頻度で、4月末まで行った。調査株数は各区7株の2区制とした。収量データは分散分析を行い、Tukeyの多重比較により有意性を検定した。

## 2. 2013-14年の試験

加温資材・方法・栽培方式・施肥量は前年試験と同様とした。局所加温を行った区の暖房温度は前年試験より1℃低い5℃に変更した。供試品種は高設栽培では前年試験と同様‘とちおとめ’とし、地床栽培では‘とちおとめ’と‘いばらキッス’の2品種とした。供試株は前年試験と同様ポット育苗により養成し、高設栽培は2013年9月24日に、地床栽培は2013年9月25日に定植した。ハウス内暖房は2013年11月10日から、局所加温は2013年11月21日から2014年3月31日まで行った。調査項目、調査方法は2012-13試験と同様としたが、地床栽培の‘いばらキッス’は収量調査のみ行った。収穫は週2-3回の頻度で、5月末まで行った。

## Ⅲ. 結果

### 1. 2012-13年の試験

各処理区における培地、クラウン部、土壤温度の1日における推移（1月平均）を図3に示した。高設栽培では、縦入区が最も安定的に加温されており、夜間においてもほぼ設定温度の18℃付近で維持されていた。表面区においても一定の温度上昇効果が見られ、対照区に対して2-3℃高く維持されたが、縦入区に比較すると夜間の温度低下が大きく、標準区と同程度まで低下していた。クラウン部の温度は、夜間にクラウン加温区で明確な温度上昇効果が見られ、対照区に対して最大4℃程度の差であったが、気温の上昇する日中では対照区と同程度であった。また、夜間、日中ともに対照区のクラウン部温度は、ハウス内気温とほぼ同様に推移した（データ省略）。地床栽培では、放射体による加温により設定温度である18℃には達しないものの、16℃付近で安定的に維持され、対照区に対して約3℃、標準区に対して1-2℃程度高い温度で推移した。

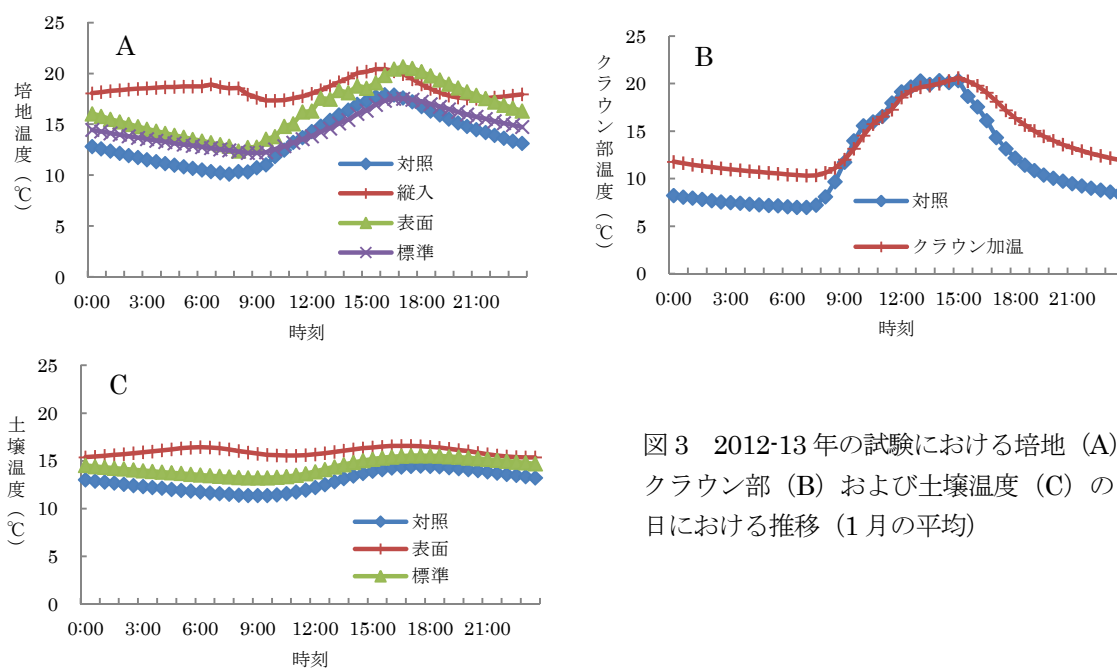


図3 2012-13年の試験における培地(A)、クラウン部(B)および土壤温度(C)の1日における推移(1月の平均)

栽培期間中における葉柄長の推移を図4に示した。高設栽培において縦入区では、対照区に対して明確な差は認められなかった。表面区では12月上旬から下旬にかけて葉柄長が長く推移したが、1月上旬には処理区間差は見られなくなった。クラウン加温区では1月上旬から3月中旬まで、他の処理区に対し葉柄長が長く推移した。地床栽培では表面区は対照区と比較して2月下旬まで葉柄長がやや長く推移し、その後処理区間差異は見られなくなった。草高においても葉柄長とほぼ同様の傾向が見られた（データ省略）。

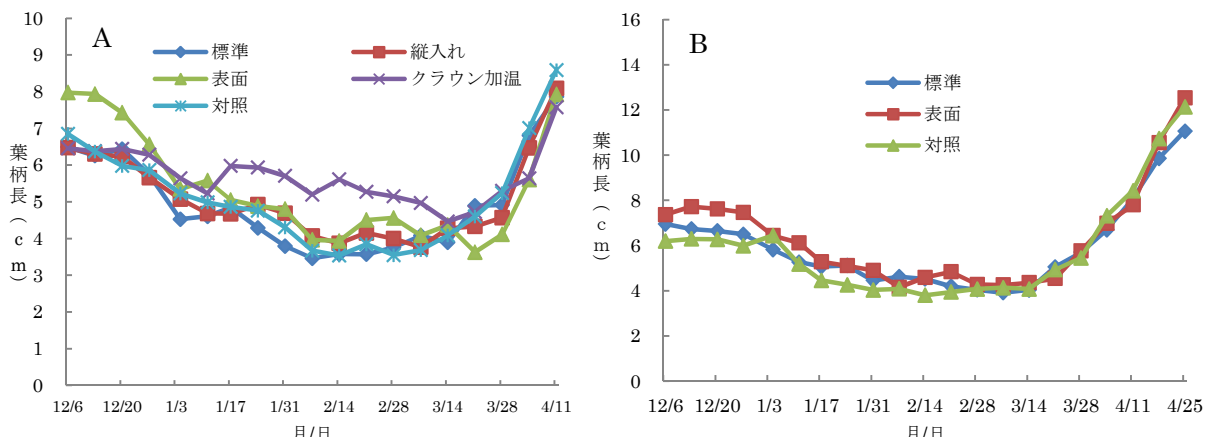


図4 2012-13年の試験における栽培期間中の葉柄長の推移 (A, 高設栽培; B, 地床栽培)

各処理区における第1次腋花房および第2次腋花房の開花始期を表1に示した。高設栽培における第1次腋花房の開花は、縦入区、表面区、クラウン加温区ともに対照区に対して1週間程度前進効果が見られ、標準区に対しても開花の前進が認められた。第2次腋花房は表面区では対照区に対して開花が遅延したが、縦入区およびクラウン加温区では対照よりも開花が前進した。地床栽培では第1次腋花房、第2次腋花房ともに放射体による

表1 2012-13年の試験における第1次腋花房および第2次腋花房の開花始期

栽培方式	処理区	第1次腋花房	第2次腋花房
高設	標準	1月14日 (-4)	3月14日 (-6)
	縦入	1月10日 (-8)	3月15日 (-5)
	表面	1月11日 (-7)	3月25日 (+5)
	クラウン加温	1月10日 (-8)	3月16日 (-4)
	対照	1月18日	3月20日
地床	標準	1月11日 (-7)	3月21日 (-2)
	表面	1月18日 (0)	3月24日 (+1)
	対照	1月18日	3月23日

括弧内はそれぞれの栽培方式における対照との差を示す

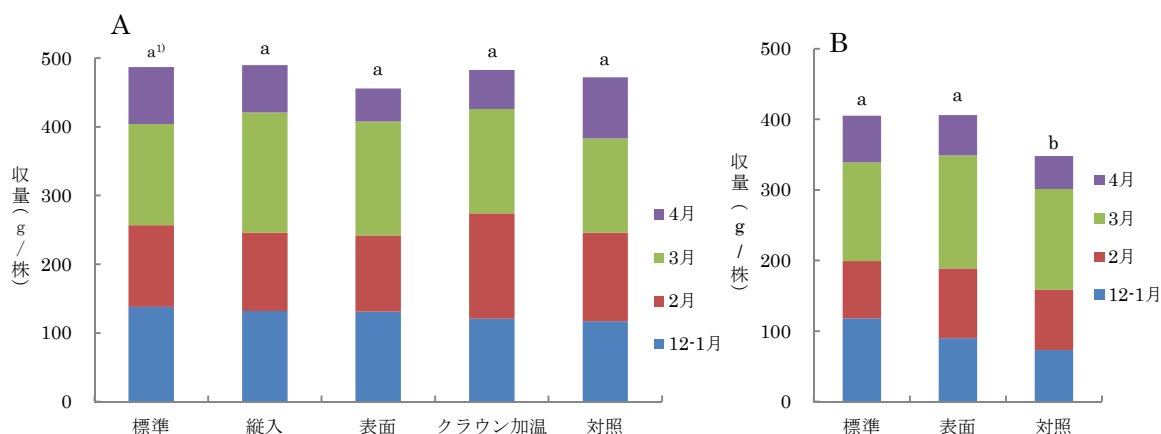


図5 2012-13年の試験における収量 (A, 高設栽培; B, 地床栽培)

<sup>1)</sup>同一アルファベットを含む処理区間に5%水準におけるTukeyの多重比較検定による有意差が認められないことを示す

加温の影響は認められず、標準区のみ対照区よりも開花が早かった。

各処理区の収量を図5に示した。高設栽培における収量を月別で対照区と比較すると、2月はクラウン加温区が多く、3月は標準区およびすべての局所加温区が多かった。しかし、総収量に有意差は認められなかった。地床栽培での収量を月別で比較すると、表面区は標準区に対して2-3月の収量が多く、標準区では表面区に対して12-1月の収量が高かった。総収量は対照区に対し、標準区と表面区が有意に多かった。

## 2. 2013-14年の試験

高設栽培の培地温度、クラウン部温度および地床栽培における土壌温度の1日における推移は、2012-13年の試験とほぼ同様であった（データ省略）。

栽培期間中における葉柄長の推移を図6に示した。高設栽培ではクラウン加温区は前年試験と同様対照区に対して長く推移し、その傾向は4月上旬まで続いた。縦入区は、前年試験と異なり対照区に対して葉柄長が長く推移し、その傾向は3月下旬まで見られた。同様に表面区においても対照区に対して葉柄長が長い傾向が見られ、その傾向は1月下旬から2月中旬まで認められた。一方で標準区は対照区に対して短く推移し、その差はとくに2月中旬まで大きかった。地床栽培では、表面区は対照区に対して1月上旬から2月下旬にかけて長く推移した。

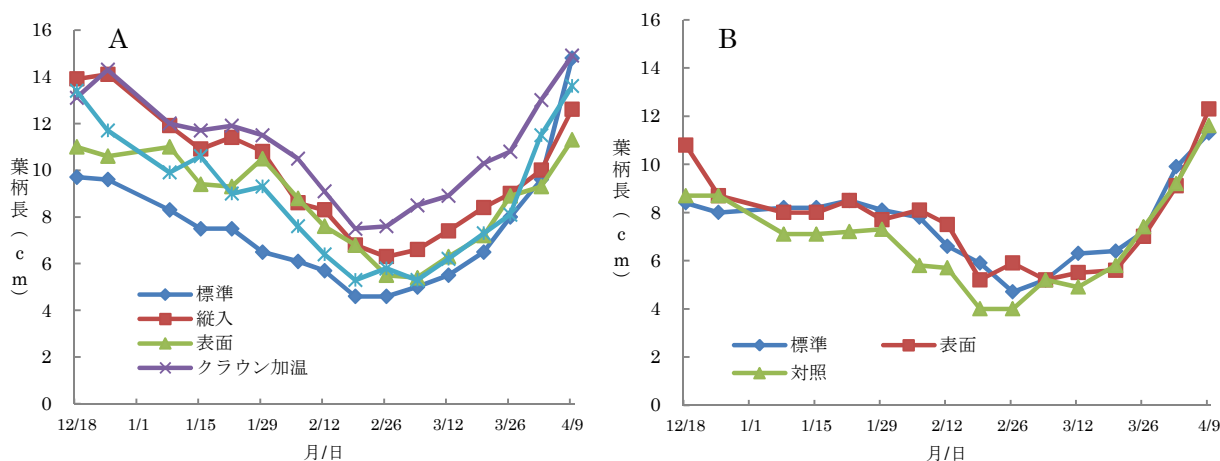


図6 2013-14年の試験における栽培期間中の葉柄長の推移 (A, 高設栽培; B, 地床栽培)

各処理区における第1次腋花房および第2次腋花房の開花始期を表2に示した。高設栽培における第1次腋花房の開花始期は、対照区と比較してクラウン加温区が5日早く、標準区と比較しても1日早かった。表面区も対照区より開花が早かったが、クラウン加温区と比較すると2日遅かった。縦入区は対照区とほぼ変わらなかった。第2次腋花房の開花始期は第1次腋花房と同様に対照区と比較してクラウン加温区が早かったが、その差は第1次腋果房よりさらに顕著となり17日早かった。縦入区と表面区も対照区と比較して開花始期が1週間ほど早くなり、第1次腋花房よりも処理による差が大きくなった。標準区は第1次腋花房と異なり、対照区との差がほぼ見られなかった。地床栽培における第1次腋花房の開花始期は、‘とちおとめ’では表面区、標準区ともに対照区と差が見られなかったが、‘いばらキッス’では標準区

表2 2013-14年の試験における第1次腋花房および第2次腋花房の開花始期

栽培方式	品種	処理区	第1次腋花房	第2次腋花房
高設	とちおとめ	標準	12/24 (-4)	3/7 (+1)
		縦入	12/29 (+1)	2/27 (-7)
		表面	12/25 (-3)	2/26 (-8)
		クラウン加温	12/23 (-5)	2/17 (-17)
		対照	12/28	3/6
地床	とちおとめ	標準	1/2 (-1)	3/13 (-10)
		表面	1/4 (+1)	3/19 (-4)
		対照	1/3	3/23
	いばらキッス	標準	1/1 (-5)	2/23 (-9)
		表面	1/5 (-1)	2/23 (-9)
		対照	1/6	3/4

括弧内はそれぞれの栽培方式における対照との差を示す



の開花が表面区、対照区と比較して早かった。第2次腋花房は‘とちおとめ’では対照区と比較して標準区で10日、表面区で4日早かった。同様に‘いばらキッス’では標準区、表面区ともに9日早かった。

各処理区の収量を図7に示した。高設栽培における収量は標準区を除く4区で月別、総収量ともにほぼ差が見られず、標準区のみ収量が低かったが、培地・クラウン加温区間に有意な差は認められなかった。地床栽培の‘とちおとめ’では、表面区の総収量がやや高い傾向が見られたが、前年試験と異なり有意差は認められなかった。‘いばらキッス’では‘とちおとめ’と同様表面区で総収量が高い傾向が見られ、その程度は‘とちおとめ’よりも大きかったが、有意差は認められなかった。

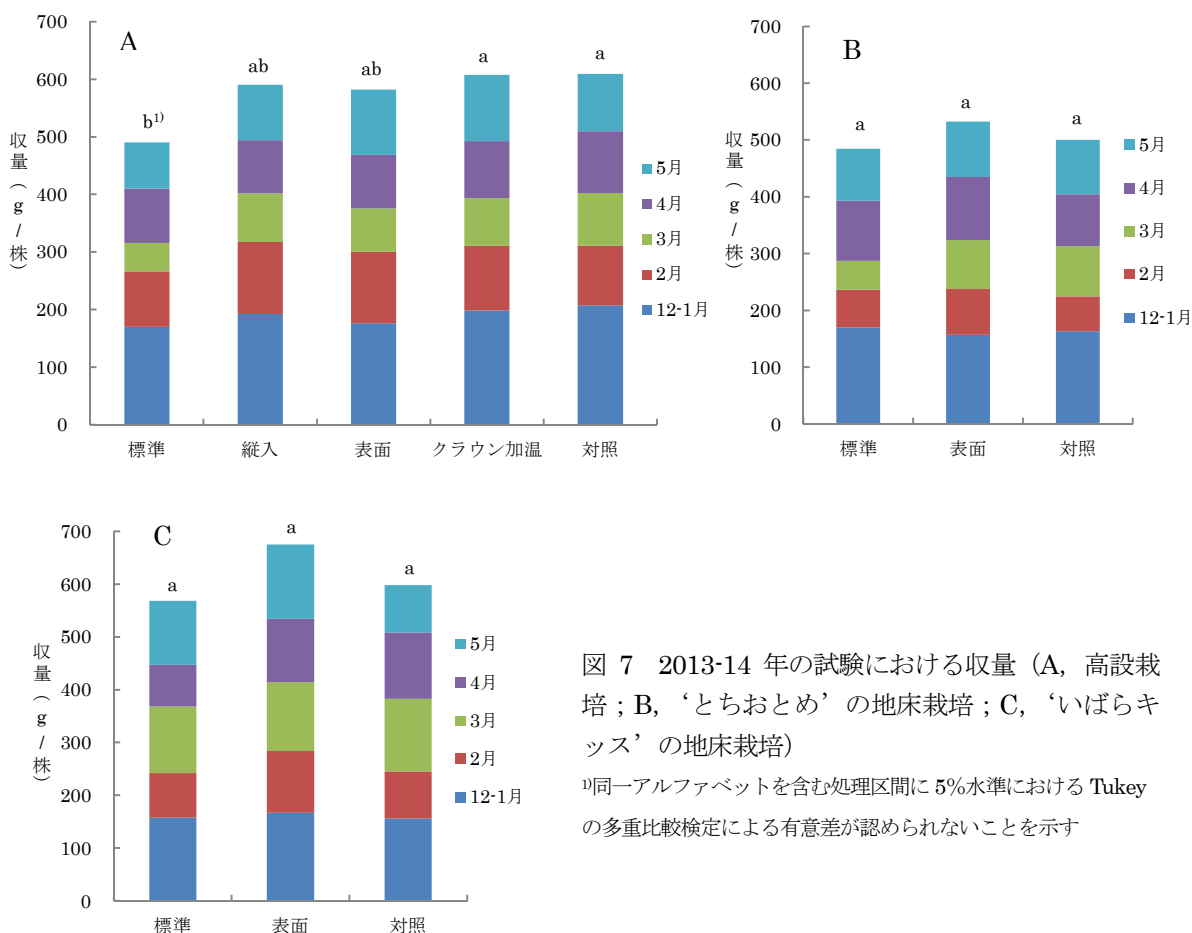


図7 2013-14年の試験における収量 (A, 高設栽培; B, ‘とちおとめ’の地床栽培; C, ‘いばらキッス’の地床栽培)

<sup>1)</sup>同一アルファベットを含む処理区間に5%水準におけるTukeyの多重比較検定による有意差が認められないことを示す

#### IV. 考察

本研究では、農業用加温資材として活用事例の少ない遠赤外線放射体を利用し、促成イチゴの加温方法を検討したところ、本資材により高設栽培の培地、地床栽培の土壌、植物体のクラウン部を加温することが可能であることを明らかにした。また、本研究では2か年連続で同一資材を使用したがる、資材の劣化は認められず、農業資材としての耐久性を一定程度有していると思われた。

高設栽培の培地加温では、放射体を培地に縦に埋設する方法と培地上面に設置する方法の2種を試したが、縦に埋設する方法で昼夜の温度差が小さく、より安定的に培地を加温することができた。これは、シート状の放射体から両方向に遠赤外線が放出されるため、放射体を培地に縦に埋め込んだ方が、表面に敷設する方法に比べ、培地に対して放出される遠赤外線の量が増加したためと考えられた。地床栽培では、高設栽培と比較して加温の有無に関わらず土壌温度の昼夜の差が小さく、放射体による加温制御は高設栽培と比較して安定していた。一方で、放射体を折り曲げることにより、培地と同時にクラウン部の直接加温も可能であり、

放射体とクラウン部との距離が5cm程度では夜間に4℃程度クラウン部温度を上昇させることができた。

これら加温の影響を評価したところ、生育に対してはクラウン部の直接加温がもっとも明確な影響が認められ、葉柄長と草高が無加温に対して長く推移した。この結果は、佐藤・北島（2010）が行った、電熱線をクラウン部に接触させて設定温度21℃および25℃で加温した結果とほぼ同様であったことから、伝導熱による加温と同様の効果が得られるものと推察された。佐藤・北島（2010）は、‘とよのか’と‘あまおう’の2品種供試し、暖房温度8℃の高設栽培において、クラウン部加温により影響が現れる下限設定温度は‘とよのか’では18℃、‘あまおう’では21℃と、品種間差異が認められることを報告している。本研究で行った放射体による加温では、佐藤・北島（2010）の電熱線による加温と比較すると、クラウン部温度が低かったが、葉柄長と草高には加温による影響が認められた。本研究の結果は佐藤・北島（2010）とは栽培方法や栽培地域、暖房温度が異なるため単純に比較することはできないが、‘とちおとめ’では‘とよのか’や‘あまおう’よりも、より低い温度で草勢維持効果が得られる可能性が示唆された。一方で、培地や土壌の加温による生育促進効果は年次によって異なり、2012-13年における高設栽培では葉柄長の推移に明確な傾向は認められず、地床栽培では土壌加温により2月下旬まで葉柄長が長くなる傾向が見られた。一方で2013-14年では、高設栽培、地床栽培ともに培地・土壌の加温により生育促進効果が見られた。これまで根域温度の上昇により、地上部の生育が促進されることを宇田川ら（1989, 1990）や金ら（2009）によって報告されているが、金ら（2009）はその影響は低温期に顕著であり、気温が高い時期にはほとんど影響がないことを認めている。これは本研究の結果とも概ね一致していたが、年次による効果の差異を生じる要因は明らかではなく、加温効果を評価するには更なる研究の蓄積が必要であると考えられる。

腋花房の開花に対する影響は、クラウン加温、培地・土壌加温ともに認められたが、この結果は気温が一定条件であっても培地加温により開花が早まるとした金ら（2009）の報告と一致した。しかし、加温の影響は栽培年次によって一部異なる傾向が見て取れた。この原因は、年次により開花時期が異なったため、結果として加温の影響に年次による差異が生じた可能性が高いと考えられた。すなわち、2012-13年と2013-14年では第1次腋花房と第2次腋花房の開花時期がともに2週間程度異なっており、年次により、腋花房の分化・発達が異なっている可能性が高い。すなわち生育ステージを基準に見たときの加温開始時期が年次によって異なったことにより、局所加温の影響に違いが現れたものと推察された。

金ら（2009）は‘章姫’の養液栽培において培地加温により2-5月の収量が有意に増加することを認めており、その要因は開花の促進による結実果房数の増加としている。また、重野ら（2001）は‘とちおとめ’の地中加温により第2次腋花房以降の果数と果重が増加し収量が増加している。本研究では、収量に対するクラウン部および培地・土壌加温の影響に明瞭な傾向は認められなかったが、2012-13年の地床栽培では、土壌加温により総収量に有意な差が認められ、その要因は3月における収量の増加にあった。2013-14年では収量に有意差は認められなかったものの、地床栽培における‘とちおとめ’と‘いばらキッス’の土壌加温で増収傾向が見られた。また、この傾向は‘いばらキッス’で強く、土壌加温が収量へ及ぼす影響には品種間差異が存在ものと推察された。本研究では慣行の暖房温度に対して2012-13年の試験では2℃、2013-14年の試験では3℃低く設定して、収量へ及ぼす影響を調査したが、両シーズンともに地床栽培において暖房温度を下げても遠赤外線による土壌局所加温で収量を増加または維持される傾向が認められた。このことから、地床栽培における土壌局所加温により、ハウス全体の暖房温度をこれまでの慣行温度よりも低温で行うことが可能となり、燃油使用量を削減できる可能性が高いものと考えられた。

以上の結果から、遠赤外線放射体を利用した促成イチゴの局所加温は可能であり、その効果については更なる研究の蓄積が必要であるものの、地床栽培において土壌局所加温を行うことにより、慣行よりも暖房温度を低温にすることが可能となり、燃油コストの削減が可能であると考えられた。

## V. 摘要

新規加温資材として、遠赤外線放射体を利用した促成イチゴの局所加温方法を検討した。加温の方法とし

て高設栽培の培地とクラウン部，地床栽培の土壌加温を行ったところ，いずれも遠赤外線による加温が可能であった。加温の効果を評価したところ，クラウン部の加温による生育の促進効果がもっとも明確であった。収量へ及ぼす影響は判然としない点があるものの，地床栽培の土壌加温で増収効果を有する可能性が示唆された。このことから，遠赤外線放射体を利用した土壌局所加温により，促成イチゴにおける燃油コストの削減が可能であると考えられた。

## 引用文献

- 河崎 靖・鈴木克己・安場健一郎・川嶋浩樹・佐々木英和・高市益行. 2010. トマトの生長点－開花花房付近の局所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(3) : 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－開花花房付近の局所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(3) : 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(2) : 193-199
- 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. 福岡農総試験報. 29 : 27-32
- 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
- 鶴山浄真・日高輝雄・木宮康雄・御旗 寛・山田健仁. 2013. クラウン部局所加温用テープヒータを活用したイチゴ栽培の省エネルギー性. 園学雑. 12別2 : 163
- 宇田川雄二・伊藤 正・五味 清. 1989. 養液栽培におけるイチゴ‘麗紅’の生理生態特性に及ぼす根圏温度の影響. 園学雑. 58(3) : 627-633
- 宇田川雄二・青木宏史・伊藤 正. 1990. 養液栽培イチゴの生育・収量に及ぼす根温の影響. 千葉農試験報. 31 : 27-37