

宮城県でのクラウン温度制御を用いたイチゴの促成栽培

壇 和弘・菅野 亘^{1)*}・中原俊二²⁾・後藤直子¹⁾・本間由紀子¹⁾・遊佐真奈美¹⁾・
岩崎泰永³⁾・高野岩雄⁴⁾・高山詩織⁴⁾・日高功太・高山智光・今村 仁

(2018年10月17日 受理)

要 旨

壇 和弘・菅野 亘・中原俊二・後藤直子・本間由紀子・遊佐真奈美・岩崎泰永・高野岩雄・高山詩織・日高功太・高山智光・今村 仁 (2019) 宮城県でのクラウン温度制御を用いたイチゴの促成栽培。農研機構報告 九沖農研 68:10-21.

宮城県亘理郡山元町での促成作型のイチゴ‘もういっこ’の高設栽培に、クラウン部の温度を20℃前後に維持するクラウン温度制御技術を導入し、生育および収量に及ぼす影響を3年間にわたり調査した。クラウン温度制御による高温期の冷却では、定植時期の早い栽培において第1次腋果房の分化促進効果が大きかった。一方、低温期に加温すると、草勢が維持されるとともに生育は促進され、第2次腋果房の出蕾も早まった。いずれの栽培試験年においても、クラウン温度制御による増収効果が認められ、総商品果収量は7～30%増加した。以上の結果から、クラウン温度制御により、宮城県での促成栽培イチゴでは効果的に生育が促進され、増収することが実証された。

キーワード：イチゴ、クラウン温度制御、宮城県、‘もういっこ’、促成栽培。

I. 緒 言

わが国のイチゴ生産では、宮城県以南の温暖地・暖地における促成栽培が主体であり、全生産量の90%以上を占めている(YAMASAKI, 2013)。しかし、促成栽培では、近年の気候温暖化の影響もあり、秋季や春季の高温により花芽分化が遅延したり、果実品質が低下することがある。特に、高単価の年内収量を向上させるため、短日夜冷や暗黒低温などの花芽分化促進処理を行い、早期に定植すると、頂果房の収穫終了から第1次腋果房の収穫開始までの期間が長くなり、収穫の中休みとして問題となっている。また、原油価格も高騰しているため、施設園芸分野でも暖房費と農業資材価格の上昇によって生

産コストが大幅に増加し、経営は逼迫している。このような状況を踏まえ、九州沖縄農業研究センターでは、栽培期間を通してイチゴのクラウン部の温度を20℃前後に制御する、クラウン温度制御技術を開発し、主に北部九州地域で実証試験を行ってきた(壇, 2008, 2010; 沖村, 2009)。その中で、高温期における花芽分化遅延の防止や果実品質の向上、低温期における生育促進や暖房コストの削減および増収効果が確認された。

宮城県亘理郡亘理町および山元町は、宮城県の促成栽培イチゴの主要な産地であったが、2011年に発生した東日本大震災により壊滅的な被害を受けた。震災後、営農再開のために復興交付金等を活用し、大規模な「いちご団地」として栽培施設が再建

九州沖縄農業研究センター園芸研究領域：839-8503 福岡県久留米市御井町 1823-1

1) 農林水産省先端プロ専任研究員

2) 九州沖縄農業研究センター技術支援センター

3) 野菜花き研究部門

4) 宮城県農業・園芸総合研究所

* Corresponding author

された（農林水産省，2016）。これらの新しい施設において，被災地の農業生産者が利用できる高度で先進的な生産システムを現地で実証して体系的な技術確立を進めるために，農林水産省による「食料生産地域再生のための先端技術展開事業（先端プロ）大規模施設園芸研究」が実施された。前報（壇ら，2015）では，このプロジェクト研究において，イチゴの生産性を向上させる技術の一つとして，2013年にクラウン温度制御技術を宮城県亶理郡山元町のイチゴ栽培施設に導入し，生育促進および増収効果を明らかにした。本研究では，前報と同じ栽培区画で2014～2016年の3年間にわたり栽培試験を行い，促成栽培のイチゴ‘もういっこ’のクラウン温度制御の有効性を実証した。

本研究は，農林水産省「食料生産地域再生のための先端技術展開事業（先端プロ）大規模施設園芸研究」により実施した。栽培管理を行っていただいた菊田公子氏，ならびに（株）GRAの皆様へ感謝の意を表します。

II. 材料および方法

2014，2015 および 2016 年に，宮城県亶理郡山元町に建設されたフッ素樹脂フィルムを展張した鉄骨ハウス（間口 90 m，奥行き 80 m，軒高 4.5 m，面積 72 a；先端プロ大規模施設園芸実証研究施設）で育苗および栽培試験を行った。宮城県育成の一季成り性イチゴ品種‘もういっこ’（鹿野ら，2006）を供試し，第1表に示したように採苗，短日夜冷，定植およびクラウン温度制御を行った。

採苗したランナー子株を市販の育苗用培地（パームバインド鹿沼土タイプ，丸三産業（株））を詰めたイチゴ育苗トレイ（縦 50 cm，横 35.8 cm，高さ 10

cm，根域容量 175 ml／穴；すくすくトレイ 24 穴，丸三産業（株））に挿し苗した。育苗は，イチゴ育苗区画（間口 18 m，奥行き 44 m，面積 7.9 a）で行った。挿し苗後 10 日間，活着を促すため，遮光率 50%の寒冷紗を展張した遮光下で日中 1 時間毎にスプリンクラーによる散水を行った。活着を確認した 10 日後から，市販の液肥（N 41.6，P 28.8 および K 58.4 mg/l；TF いちごミックス A，TF ミックス B，トヨハシ種苗（株））を 1 回／日灌水をかねてトレイ底部の穴から排水されるまで株元に十分量施用した。

毎日 17：00 から翌 9：00 まで 12℃，暗黒条件の冷蔵庫に一部の苗を搬入し，頂果房の花芽分化を促進するための短日夜冷処理を行った（以下，短日夜冷株）。栽培試験は，イチゴ栽培区画（間口 54 m，奥行き 44 m，面積 23.8 a）で行った。ヤシガラ培地（約 3 l／株；ココブロック，カネコ種苗（株））を詰めた発泡スチロール製栽培槽（幅 20 cm，深さ 15 cm，長さ 40.5 m；ココベリーファーム，カネコ種苗（株））を用いて，高設栽培を行った。短日夜冷株，ならびに短日夜冷処理を行わない苗（以下，普通ポット株）を，頂果房の分化を確認した後にそれぞれ株間 18 cm の 2 条千鳥植えで定植した（約 8,000 株／10 a）。市販の液肥（ファームエース 1 号，2 号，5 号，カネコ種苗（株））を用いた灌水同時施肥により養水分管理を行い，生育に応じて施用濃度および施用量を調整した（活着後から EC 0.6 dS/m（NO₃-N 43.8，NH₄-N 6.3，P 24.0 および K 79.8 mg/l）で 200 ml／株／日，頂果房開花期から EC 0.7 dS/m で 200 ml／株／日，収穫開始期から EC 0.8 dS/m で 160 ml／株／日，3 月以降は EC 0.6 dS/m で 350 ml／株／日）。

2014 年の栽培試験では，午前中の最高気温 25℃，

第1表 イチゴ‘もういっこ’の採苗時期，短日夜冷期間，定植日およびクラウン温度制御期間

栽培試験年	採苗	短日夜冷	定植	クラウン温度制御			
				秋季冷却	冬季加温	春季冷却	
2014	短日夜冷株	6/30～7/23	8/16～9/7	9/10	9/10～10/23	11/4～2/23	4/16～
	普通ポット株				9/20		
2015	短日夜冷株	6/26～7/16	8/11～9/7	9/10	9/10～10/7	11/1～2/12	2/15～
	普通ポット株				9/20		
2016	短日夜冷株	6/27～7/12	7/25～8/28	8/31	8/31～11/1	11/15～2/22	4/10～
	短日夜冷株		8/2～9/4	9/9	9/9～10/13		
	普通ポット株		-	9/20	9/20～10/13		

午後の最高気温 20℃を目安として、2015 および 2016 年では、終日の最高気温 30℃を目安として、天窗および側窓を開閉することで施設内気温を調節した。温風暖房機の稼働開始温度を、2014 年の栽培試験では 8℃、2015 および 2016 年では 5℃に設定した。また、11 月上旬から 2 月末まで、生育に応じて日没後 1～3 時間/日の電照 (23 W (白熱電球 60 W 相当), 5.5 灯/a; スーパーアグリ蛍光灯, 日本オペレーター (株)) を行った。

クラウン部の温度制御を行うために、前報 (壇ら, 2015) と同じ装置を使用した。装置は、冷温水の熱源として空冷式のヒートポンプチラー (10 馬力; UWYP250A, (株) ダイキンアプライドシステムズ) と冷温水を貯える貯水タンク (1,000 l; スーパーローリータンク, スイコー (株)) を循環ポンプ (0.25 kW; ラインポンプ 32LPD 5.25A, (株) 荏原製作所) で接続し、貯水タンクの冷温水を送水ポンプ (0.4 kW; ラインポンプ PE2-405-0.4T, (株) 川本製作所) によりポリエチレン (PE) チューブ (外径 16 mm; ネタフィルムジャパン (株)) に循環供給した。PE チューブを、高設栽培槽に 2 条植えた片側の列の株のクラウン部に接触させ、高設栽培槽の末端で折り返して反対側の列の株のクラウン部に接触させた。通水入り口部分から出口部分までの PE チューブの長さは、高設栽培槽 (40.5 m) のおよそ 2 倍の約 81 m であった。ヒートポンプチラーの冷却と加温を手動で切り替え、冷却および加温時ともに、PE チューブの表面温度をクラウン温度制御の最適温度とされる 20℃前後 (沖村, 2009) に維持することを目標とした。冷却時には、貯水タンクの水温を 18℃に設定し、施設内気温が 20℃以上になると、送水ポンプを作動させた。加温時には、貯水タンクの水温を 23℃に設定し、施設内気温が 18℃以下になると、送水ポンプを作動させた。このように、PE チューブに貯水タンクの冷温水を循環供給することで、クラウン部の温度を制御した。

短日夜冷株および普通ポット株ともに、クラウン温度制御を行う実証区とクラウン温度制御を行わない対照区を設けた。栽培試験中に、草高、葉柄長、葉身長、葉幅、果房の出蕾および花数、ならびに果房間葉数を調査した。また、各葉の出葉日を記録し、出葉に要した日数 (以下、葉間期) を求めた。2014 および 2015 年の栽培試験では、各区 10 株 4 反復で、

2016 年では、各区 10 株 3 反復で以上の調査を行った。

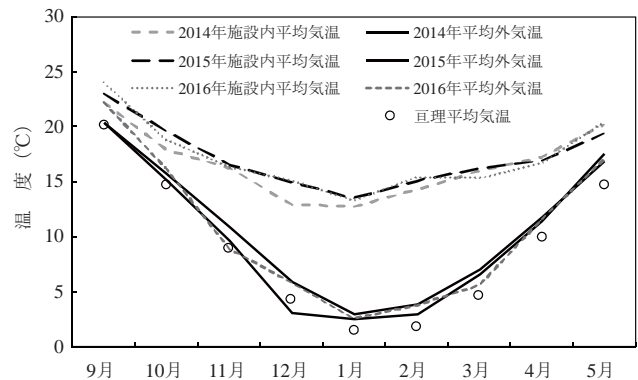
完全に着色した果実を適宜収穫し、重量を測定して 7 g 以上の正常果を商品果とした。各区 30 株まとめて収穫調査を行い、株当たりの月別商品果収量に換算した。

PE チューブの表面温度、ならびに施設内および外気温を温度データロガー (RTR-502, (株) ティアンドデイ) で、ヒートポンプチラー、ヒートポンプチラー用循環ポンプおよび送水ポンプの使用電力量を電力量データロガー (RVR-52, (株) ティアンドデイ) で 10 分おきに測定・記録した。

Ⅲ. 結果

1. 試験期間中の気温の推移

栽培試験期間中の施設内の月別平均気温は、2014 年の栽培試験では 22.3℃から 12.7℃で、2015 年では 23.0℃から 13.5℃で、2016 年では 24.1℃から 13.3℃で推移した (第 1 図)。施設外の月別平均気温は、2014 年では 20.4℃から 2.6℃で、2015 年では 20.4℃から 3.4℃で、2016 年では 22.2℃から 2.6℃で推移した。亶理郡亶理町での過去 30 年間の月別平均気温と外気温を比較すると、平均で 2014 年は 0.9℃、2015 年は 1.6℃、2016 年は 1.4℃高かった。

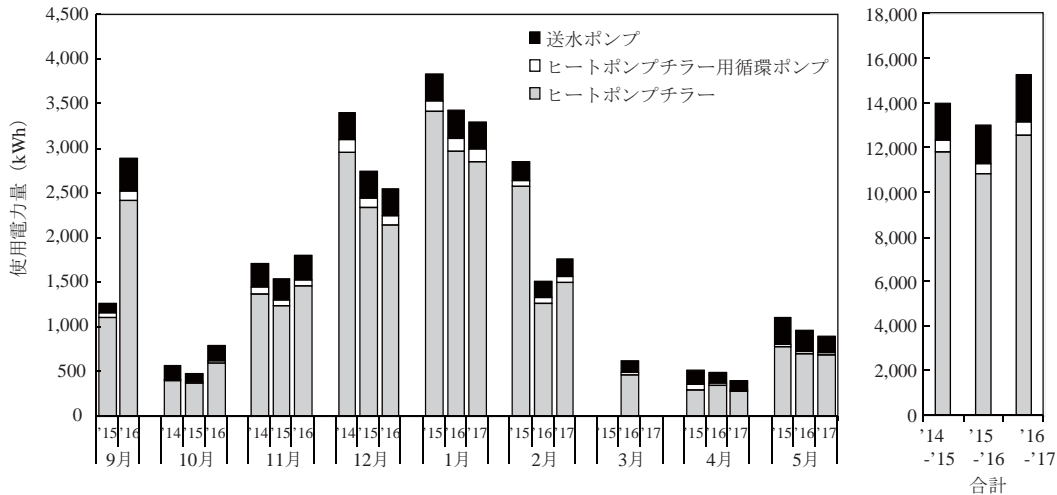


第 1 図 各年の栽培期間中の月別平均気温

注) 亶理平均気温: 亶理郡亶理町での過去 30 年間 (1981 ~ 2010 年) の月別平均気温 (気象庁観測値)

2. クラウン温度制御装置による温度制御と使用電力量

2014, 2015 および 2016 年の冷却設定時の日中の PE チューブの表面温度は平均でそれぞれ 19.4, 19.8 および 19.5℃であった。加温設定時の夜間



第 2 図 クラウン温度制御に使用したヒートポンプチラー，ヒートポンプチラー用循環ポンプおよび送水ポンプの使用電力量

注) 2014 年の栽培試験では 10 月 1 日から 5 月 31 日まで，2015 年では 9 月 10 日から 5 月 31 日まで，2016 年では 9 月 1 日から 5 月 31 日まで測定した。

第 2 表 2014 年の栽培試験におけるイチゴ‘もういっこ’の草高，葉柄長，葉身長および葉幅の推移

処理区	短日夜冷株										普通ポット株										
	調査日										調査日										
	9/30	10/15	10/29	11/19	12/3	1/7	1/29	2/19	3/19	4/21	9/30	10/15	10/29	11/19	12/3	1/7	1/29	2/19	3/19	4/21	
草高 (cm)	対 照	16.1	20.0	21.4	24.4	26.3	23.7	22.3	21.2	26.2	31.5	18.7	14.4	19.4	23.6	24.8	23.8	21.6	21.0	24.9	31.2
	実 証	15.7	18.7	21.5	25.0	27.3	26.6	26.9	26.5	29.0	29.2	17.9	13.6	18.6	24.3	27.1	26.4	26.7	25.6	28.3	29.7
	有意差	ns	**	ns	ns	*	***	***	***	***	***	ns	*	*	ns	***	***	***	***	***	***
葉柄長 (cm)	対 照	8.7	12.9	14.3	16.2	16.6	14.4	13.9	13.3	16.8	21.8	15.1	10.3	12.3	14.5	15.1	14.8	13.2	13.3	15.3	21.2
	実 証	8.7	12.1	14.3	15.8	17.6	17.5	17.8	17.3	18.3	19.0	14.9	9.6	11.6	15.1	16.6	16.8	16.9	16.7	17.8	19.5
	有意差	ns	*	ns	ns	*	***	***	***	**	***	ns	*	**	ns	***	***	***	***	***	***
葉身長 (cm)	対 照	6.7	11.1	11.3	10.7	9.5	7.5	7.2	6.8	7.3	9.5	6.8	9.1	11.0	11.6	9.6	8.0	6.8	6.7	7.4	9.4
	実 証	6.9	11.0	11.5	11.5	10.3	8.4	8.1	7.9	8.3	8.4	6.6	8.5	10.7	11.8	10.5	8.9	8.3	7.7	8.1	9.2
	有意差	ns	ns	ns	**	**	***	***	***	***	***	ns	**	*	ns	***	***	***	***	***	***
葉幅 (cm)	対 照	5.3	9.3	9.7	8.4	7.9	6.2	5.9	5.7	6.5	8.2	5.3	7.0	9.2	9.3	7.9	6.7	5.7	5.6	6.5	8.1
	実 証	5.5	9.0	9.7	9.1	8.6	7.0	6.7	6.6	7.1	7.4	5.2	6.7	8.8	9.4	8.5	7.3	6.8	6.4	7.0	7.9
	有意差	ns	*	ns	**	***	***	***	***	***	***	ns	ns	**	ns	***	***	***	***	**	ns

注 1) 各区 10 株 4 反復で調査を行った。

注 2) ***, ** および * は t 検定によりそれぞれ 0.1, 1 および 5% 水準で有意な差があり，ns は有意な差がないことを示す。

の PE チューブの表面温度は平均でそれぞれ 18.3, 17.9 および 19.0℃であった。

栽培区画 23.8 a に定植したイチゴのクラウン温度制御に用いたヒートポンプチラー，ヒートポンプチラー用循環ポンプおよび送水ポンプの使用電力量を第 2 図に示した。2014 年の栽培試験では，使用電力量の合計が最も多かったのは 1 月で 3,836 kWh，最も少なかったのは 3 月で 0 kWh であった。2014 年 10 月 1 日から 2015 年 5 月 31 日までの 8 か月間の使用電力量の合計は 13,966 kWh であり，そのうちヒートポンプチラーが 84%，ヒートポンプチラー用循環ポンプが 4%，送水ポンプが 12% を占めた。2015 年では，使用電力量の合計が最も多かったのは 1 月で 3,430 kWh，最も少なかったのは 10 月で

468 kWh であった。2015 年 9 月 10 日から 2016 年 5 月 31 日までの約 9 か月間の使用電力量の合計は 13,009 kWh であり，そのうちヒートポンプチラーが 83%，ヒートポンプチラー用循環ポンプが 4%，送水ポンプが 13% を占めた。2016 年では，使用電力量の合計が最も多かったのは 1 月で 3,295 kWh，最も少なかったのは 3 月で 0 kWh であった。2016 年 9 月 1 日から 2017 年 5 月 31 日までの 9 か月間の使用電力量の合計は 15,240 kWh であり，そのうちヒートポンプチラーが 82%，ヒートポンプチラー用循環ポンプが 4%，送水ポンプが 14% を占めた。

3. イチゴの生育および収量

2014 年の栽培試験における短日夜冷株および普通ポット株の対照区と実証区のイチゴ‘もういっこ’

の草高，葉柄長，葉身長および葉幅の推移を第2表に示した。短日夜冷株の実証区では，10月15日の草高，葉柄長および葉幅は，対照区と比べて有意に小さかった。11月19日から3月19日の葉身長および葉幅は，実証区で大きかった。12月3日から3月19日の草高および葉柄長は，実証区で大きかった。4月21日になると，草高，葉柄長，葉身長および葉幅は，実証区で小さくなった。普通ポット株の実証区では，10月15日および29日の草高，葉柄長および葉身長は，対照区と比べて有意に小さかった。10月29日の葉幅も実証区で小さかった。一方，12月3日から3月19日の草高，葉柄長，葉身長および葉幅は，実証区で大きかった。4月21日になると，草高および葉柄長は，実証区で小さくなった。

2015年の栽培試験における短日夜冷株および普通ポット株の対照区と実証区のイチゴ‘もういっこ’の草高，葉柄長，葉身長および葉幅の推移を第3表に示した。短日夜冷株の実証区では，10月6日から3月3日の草高および葉柄長は，対照区と比べて有意に大きかった。12月3日から3月3日の葉身長および葉幅は，実証区で大きかった。4月6日になると，草高，葉柄長および葉幅は，実証区で小さくなった。普通ポット株の実証区では，11月5日から3月3日の草高および葉柄長は，対照区と比べて有意に大きかった。10月6日と1月7日から3月3日までの葉幅も実証区で大きかった。4月6日になると，草高および葉柄長は，実証区で小さくなった。

2016年の栽培試験における短日夜冷株および普

第3表 2015年の栽培試験におけるイチゴ‘もういっこ’の草高，葉柄長，葉身長および葉幅の推移

処理区	短日夜冷株								普通ポット株						
	調査日								調査日						
	10/6	11/5	12/3	1/7	2/4	3/3	4/6	10/6	11/5	12/3	1/7	2/4	3/3	4/6	
草高 (cm)	対 照	15.7	21.6	23.3	21.5	19.5	22.6	29.2	13.5	19.6	22.0	20.0	17.4	22.3	28.8
	実 証	17.4	23.5	28.1	27.6	26.8	28.2	26.7	14.2	22.6	26.1	25.2	25.2	27.5	27.3
	有意差	***	**	***	***	***	***	***	ns	***	***	***	***	***	**
葉柄長 (cm)	対 照	9.4	14.2	16.5	14.0	13.1	14.7	18.7	8.0	13.0	14.7	13.1	12.3	13.9	18.2
	実 証	10.2	15.6	19.2	18.9	17.9	18.4	16.7	8.4	14.6	16.9	16.3	16.4	17.4	17.2
	有意差	*	**	***	***	***	***	**	ns	***	***	***	***	***	*
葉身長 (cm)	対 照	8.6	9.9	8.7	7.4	7.3	7.4	8.5	6.5	9.9	9.3	7.5	6.9	7.6	8.6
	実 証	8.9	10.1	9.9	9.0	8.6	8.6	8.3	6.8	10.2	9.8	8.2	7.7	8.6	8.5
	有意差	ns	ns	***	***	***	***	ns	ns	*	*	***	***	***	ns
葉幅 (cm)	対 照	7.1	8.4	7.2	6.2	6.1	6.6	7.3	5.3	7.9	7.7	6.4	5.9	6.4	7.5
	実 証	7.4	8.7	8.4	7.5	7.1	7.5	6.9	5.6	8.1	7.8	6.8	6.6	6.9	7.2
	有意差	ns	ns	***	***	***	***	*	*	ns	ns	***	***	**	ns

注1) 各区10株4反復で調査を行った。

注2) ***, ** および * はt検定によりそれぞれ0.1, 1 および5%水準で有意な差があり，nsは有意な差がないことを示す。

第4表 2016年の栽培試験におけるイチゴ‘もういっこ’の草高，葉柄長，葉身長および葉幅の推移

処理区	短日夜冷株 (8月31日定植)								短日夜冷株 (9月9日定植)								普通ポット株							
	調査日								調査日								調査日							
	10/5	11/1	12/5	1/11	2/1	2/28	4/5	10/5	11/1	12/5	1/11	2/1	2/28	4/5	10/5	11/1	12/5	1/11	2/1	2/28	4/5			
草高 (cm)	対 照	19.5	19.1	22.9	23.7	23.3	22.9	27.5	16.2	19.4	21.9	23.3	20.9	23.8	27.0	18.4	17.1	20.6	25.3	25.2	24.2	29.7		
	実 証	21.0	21.6	28.5	31.3	30.1	28.7	29.6	15.0	19.4	26.1	27.0	26.7	28.1	28.1	16.9	18.2	25.5	30.0	29.5	28.6	29.2		
	有意差	**	***	***	***	***	***	**	**	ns	***	***	***	***	*	ns	ns	***	***	***	***	ns		
葉柄長 (cm)	対 照	12.1	11.8	15.8	16.0	15.2	13.3	16.5	10.3	11.4	14.4	14.4	13.0	13.5	16.6	11.6	10.4	13.0	16.7	16.7	14.1	19.4		
	実 証	12.6	13.3	18.9	23.3	21.2	19.7	18.4	8.8	10.8	15.1	16.7	16.0	16.3	16.2	9.8	10.6	14.4	21.0	20.1	17.2	17.9		
	有意差	ns	***	***	***	***	***	*	***	ns	ns	***	***	***	ns	*	ns	***	***	***	***	ns		
葉身長 (cm)	対 照	9.0	9.3	8.2	7.3	7.3	7.1	8.7	8.5	10.2	8.5	7.3	7.1	7.2	8.4	7.5	9.7	9.0	8.0	7.9	7.7	8.7		
	実 証	9.6	10.1	9.5	10.0	9.5	8.9	9.4	8.1	9.7	8.8	8.4	8.1	8.4	9.1	7.2	9.4	9.5	9.5	9.2	8.4	9.0		
	有意差	**	***	***	***	***	***	**	ns	*	ns	***	***	***	*	ns	ns	ns	***	***	**	ns		
葉幅 (cm)	対 照	7.1	7.7	6.7	6.6	6.2	6.0	7.2	6.9	8.7	7.3	6.5	6.3	6.3	7.0	5.6	7.7	7.6	6.8	6.8	6.3	7.3		
	実 証	7.8	8.3	8.0	8.2	7.7	7.1	7.7	6.7	8.3	7.6	7.3	6.9	6.9	7.5	5.5	7.6	8.0	7.9	7.7	7.0	7.6		
	有意差	***	**	***	***	***	***	ns	ns	*	ns	***	**	**	*	ns	ns	*	***	***	**	ns		

注1) 各区10株3反復で調査を行った。

注2) ***, ** および * はt検定によりそれぞれ0.1, 1 および5%水準で有意な差があり，nsは有意な差がないことを示す。

通ポット株の対照区と実証区のイチゴ‘もういっこ’の草高、葉柄長、葉身長および葉幅の推移を第4表に示した。8月31日定植の短日夜冷株の実証区では、10月5日から4月5日の草高および葉身長は、対照区と比べて有意に大きかった。10月5日から2月28日の葉幅は実証区で大きく、11月1日から4月5日の葉柄長も実証区で大きかった。9月9日定植の短日夜冷株の実証区では、10月5日の草高および葉柄長は対照区より有意に小さかった。11月1日の葉身長および葉幅は、実証区で小さかった。12月5日から4月5日の草高は、実証区で大きかった。1月11日から4月5日の葉身長および葉幅は、実証区で大きかった。1月11日から2月28日の葉柄長も実証区で大きかった。普通ポット株の実証区では、10月5日の葉柄長は対照区より有意に小さかった。12月5日から2月28日の草高、葉柄長および葉幅は、実証区で大きかった。1月11日から2月28日の葉身長も実証区で大きかった。

短日夜冷株および普通ポット株の対照区と実証区でのイチゴ‘もういっこ’の葉間期の推移を第5表に示した。2014年の栽培試験では、短日夜冷株および普通ポット株ともに、10月の葉間期は実証区

で長かったが、12月から3月の葉間期は実証区で短かった。2015年では、短日夜冷株の実証区では、3月の葉間期は対照区より長かったものの、12月および1月の葉間期は対照区より短かった。普通ポット株の実証区では、11月から1月の葉間期は対照区より短かった。2016年では、8月31日および9月9日定植の短日夜冷株と普通ポット株ともに、12月および1月の実証区の葉間期は対照区より短かった。

短日夜冷株および普通ポット株の対照区と実証区でのイチゴ‘もういっこ’の果房の花数、頂果房から第1次腋果房と第1次腋果房から第2次腋果房の果房間葉数、ならびに第1次および第2次腋果房の出蕾率を第6表に示した。2014年の栽培試験では、短日夜冷株および普通ポット株ともに、頂果房、第1次および第2次腋果房の花数に処理区間の差はみられなかった。短日夜冷株の頂果房から第1次腋果房の果房間葉数は、対照区と比べて実証区で少なく、第1次腋果房の出蕾率は実証区で高かった。短日夜冷株および普通ポット株ともに、第1次腋果房から第2次腋果房の果房間葉数に処理区間の差はみられなかったが、第2次腋果房の出蕾率は実証区で

第5表 イチゴ‘もういっこ’の葉間期の推移

栽培試験年	処理区	葉間期 (日/葉)							
		10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	
2014	短日夜冷株	対照	8.1	10.3	13.6	15.4	12.4	12.1	8.7
		実証	9.3	9.7	11.6	12.7	10.4	10.8	9.5
		有意差	**	ns	**	**	*	*	ns
	普通ポット株	対照	7.7	8.6	12.9	14.6	12.1	11.7	8.7
		実証	8.4	8.2	11.5	12.2	9.5	10.2	8.7
		有意差	*	ns	*	*	**	*	ns
2015	短日夜冷株	対照	8.8	11.9	13.8	14.5	12.9	10.3	-
		実証	8.9	10.8	12.5	13.1	12.8	12.4	-
		有意差	ns	ns	*	**	ns	**	
	普通ポット株	対照	7.8	10.8	14.3	14.4	11.4	11.2	-
		実証	7.6	9.4	12.4	13.1	12.1	12.2	-
		有意差	ns	*	*	*	ns	ns	
2016	短日夜冷株 (8月31日定植)	対照	9.3	11.4	14.9	16.8	12.3	11.1	-
		実証	9.9	11.0	12.4	12.9	11.9	11.7	-
		有意差	ns	ns	*	*	ns	ns	
	短日夜冷株 (9月9日定植)	対照	10.0	10.7	12.9	14.7	12.5	11.8	-
		実証	10.2	10.8	11.4	12.3	11.3	11.8	-
		有意差	ns	ns	*	*	ns	ns	
普通ポット株	対照	7.4	9.8	12.9	15.6	12.1	11.7	-	
	実証	7.3	9.0	10.6	11.7	10.6	12.0	-	
	有意差	ns	ns	**	*	ns	ns		

注1) 2014および2015年の栽培試験では、各区10株4反復で調査を行い、2016年では、各区10株3反復で調査を行った。

注2) **および*はt検定によりそれぞれ1および5%水準で有意な差があり、nsは有意な差がないことを示す。

第6表 イチゴ‘もういっこ’の果房の花数、頂果房から第1次腋果房と第1次腋果房から第2次腋果房の果房間葉数、ならびに第1次および第2次腋果房の出蕾率

栽培 試験年	処理区	花数			出蕾率		第1次 腋果房	第2次 腋果房	
		頂果房	第1次 腋果房	第2次 腋果房	頂果房 ～第1次腋果房	第1次腋果房 ～第2次腋果房			
2014	短日夜冷株	対 照	9.5	9.7	7.3	5.1	3.7	47.5	70.0
		実 証	9.8	10.0	7.7	4.2	3.5	95.0	95.0
		有意差	ns	ns	ns	***	ns	**	*
	普通ポット株	対 照	9.6	10.0	7.2	4.7	3.8	12.5	47.5
		実 証	9.9	9.7	7.7	4.4	3.8	32.5	70.0
		有意差	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
2015	短日夜冷株	対 照	8.7	8.2	7.0	3.8	3.8	80.0	47.5
		実 証	9.2	8.7	7.4	3.8	3.3	92.2	84.2
		有意差	ns	ns	ns	ns	**	ns	*
	普通ポット株	対 照	8.8	8.3	6.8	3.7	4.4	12.5	15.0
		実 証	9.3	8.4	7.3	3.7	3.3	35.0	56.4
		有意差	ns	ns	ns	ns	***	ns	**
2016	短日夜冷株 (8月31日定植)	対 照	6.7	9.7	7.1	5.1	3.2	0	3.3
		実 証	6.6	9.3	8.3	3.2	3.0	43.3	46.7
		有意差	ns	ns	**	***	ns	**	**
	短日夜冷株 (9月9日定植)	対 照	7.7	9.0	6.6	4.6	3.9	83.3	0
		実 証	7.7	9.2	7.7	3.3	3.4	96.7	70.0
		有意差	ns	ns	***	***	*	ns	*
普通ポット株	対 照	9.3	8.7	6.9	3.6	4.7	33.3	6.7	
	実 証	10.2	9.4	7.9	3.5	3.7	66.7	33.3	
	有意差	**	**	*	ns	**	ns	*	

注1) 2014 および 2015 年の栽培試験では、各区 10 株 4 反復で調査を行い、2016 年では、各区 10 株 3 反復で調査を行った。

注2) 2014 年の栽培試験では、短日夜冷株と普通ポット株の第1次および第2次腋果房の出蕾率はそれぞれ12月3日および1月29日に調査した。

2015 年では、短日夜冷株の第1次および第2次腋果房の出蕾率はそれぞれ12月3日および1月7日に調査した。普通ポット株の第1次および第2次腋果房の出蕾率はそれぞれ12月3日および1月20日に調査した。

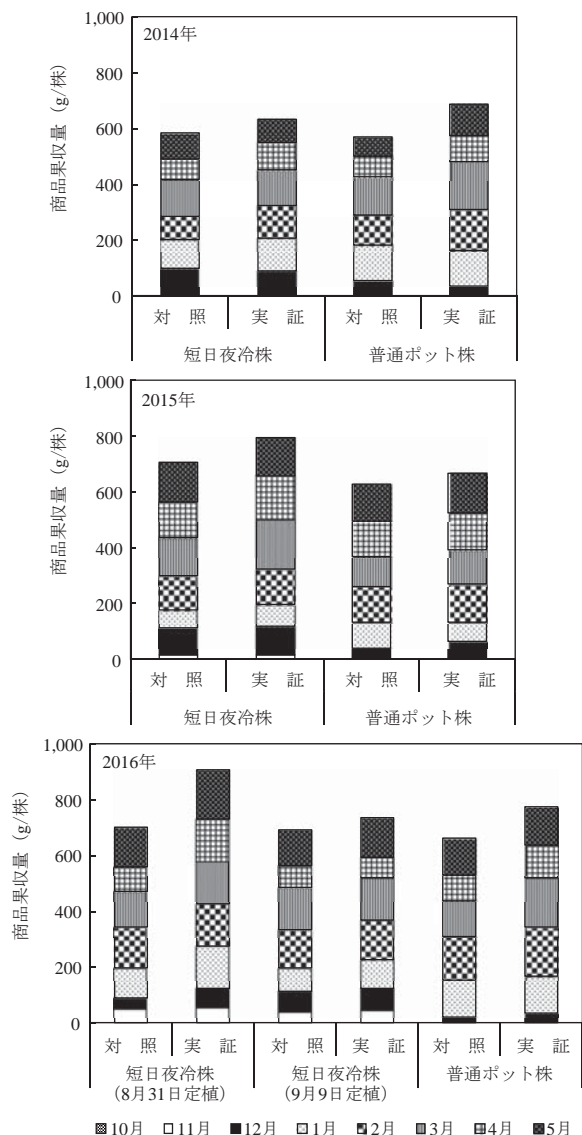
2016 年では、短日夜冷株(8月31日定植)の第1次および第2次腋果房の出蕾率は、それぞれ11月1日および12月5日に調査した。短日夜冷株(9月9日定植)の第1次および第2次腋果房の出蕾率は、それぞれ12月5日および12月18日に調査した。普通ポット株の第1次および第2次腋果房の出蕾率は、それぞれ12月5日および1月11日に調査した。

注3) 花数および果房間葉数の***, ** および*はt検定によりそれぞれ0.1, 1 および5%水準で有意な差があり、nsは有意な差がないことを示す。

注4) 出蕾率の** および*はアークサイン変換後のt検定により1 および5%水準で有意な差があり、nsは有意な差がないことを示す。

高かった。2015 年では、短日夜冷株および普通ポット株ともに、頂果房、第1次および第2次腋果房の花数に処理区間の差はみられなかった。頂果房から第1次腋果房の果房間葉数は、短日夜冷株および普通ポット株ともに、処理区間の差はみられず、第1次腋果房の出蕾率も処理区間の差はみられなかった。第1次腋果房から第2次腋果房の果房間葉数は、短日夜冷株および普通ポット株ともに、対照区より実証区で有意に少なく、第2次腋果房の出蕾率は実証区で高かった。2016 年では、8月31日および9月9日定植の短日夜冷株の第2次腋果房の花数は、対照区より実証区で有意に多かった。普通ポット株の頂果房、第1次および第2次腋果房の花数も、対

照区より実証区で有意に多かった。8月31日および9月9日定植の短日夜冷株の頂果房から第1次腋果房の果房間葉数は、対照区と比べて実証区で有意に少なかった。第1次腋果房の出蕾率は、9月9日定植の短日夜冷株では処理区間の差はみられなかったが、8月31日定植の短日夜冷株では実証区で有意に高かった。第1次腋果房から第2次腋果房の果房間葉数は、8月31日定植の短日夜冷株では処理区間の差はみられなかったが、9月9日定植の短日夜冷株、ならびに普通ポット株では実証区で有意に少なかった。第2次腋果房の出蕾率は、8月31日および9月9日定植の短日夜冷株と普通ポット株において実証区で高かった。



第3図 イチゴ‘もういっこ’の月別商品果収量

注1) 完全に着色した果実を適宜収穫し、重量を測定して7g以上の正常果を商品果とした。

注2) 収穫開始時から5月31日まで各区30株まとめて収穫調査を行い、株当たりの月別商品果収量に換算した。

収穫開始時から5月31日までのイチゴ‘もういっこ’の月別商品果収量を第3図に示した。2014年の栽培試験の短日夜冷株では、対照区および実証区の年内商品果収量はそれぞれ98および91g/株(対照区比93%)、2月末までの早期商品果収量はそれぞれ287および323g/株(同113%)であった。普通ポット株では、対照区および実証区の年内商品果収量はそれぞれ56および34g/株(同61%)、2月末までの早期商品果収量はそれぞれ292および310g/株(同106%)であった。収穫開始時から5月31日までの総商品果収量は、短日夜冷株で

は対照区で584g/株(4.7t/10a相当)、実証区で636g/株(5.1t/10a相当、同109%)、普通ポット株では対照区で571g/株(4.6t/10a相当)、実証区で688g/株(5.5t/10a相当、同120%)であった。2015年の短日夜冷株では、対照区および実証区の年内商品果収量はそれぞれ112および116g/株(同104%)、2月末までの早期商品果収量はそれぞれ298および324g/株(同109%)であった。普通ポット株では、対照区および実証区の年内商品果収量はそれぞれ41および65g/株(同159%)、2月末までの早期商品果収量はそれぞれ260および271g/株(同104%)であった。収穫開始時から5月31日までの総商品果収量は、短日夜冷株では対照区で706g/株(5.6t/10a相当)、実証区で794g/株(6.4t/10a相当、同112%)、普通ポット株では対照区で627g/株(5.0t/10a相当)、実証区で670g/株(5.4t/10a相当、同107%)であった。2016年の8月31日定植の短日夜冷株では、対照区および実証区の年内商品果収量はそれぞれ91および121g/株(同133%)、2月末までの早期商品果収量はそれぞれ344および428g/株(同124%)であった。9月9日定植の短日夜冷株では、対照区および実証区の年内商品果収量はそれぞれ114および124g/株(同109%)、2月末までの早期商品果収量はそれぞれ333および370g/株(同111%)であった。普通ポット株の年内商品果収量は、対照区および実証区でそれぞれ21および33g/株(同157%)、2月末までの早期商品果収量はそれぞれ312および344g/株(同110%)であった。収穫開始時から5月31日までの総商品果収量は、8月31日定植の短日夜冷株では対照区で700g/株(5.6t/10a相当)、実証区で907g/株(7.3t/10a相当、同130%)、9月9日定植の短日夜冷株では対照区で693g/株(5.5t/10a相当)、実証区で739g/株(5.9t/10a相当、同107%)、普通ポット株では対照区で663g/株(5.3t/10a相当)、実証区で776g/株(6.2t/10a相当、同117%)であった。いずれの栽培試験年においても、商品果の平均1果重に大きな差は認められなかったが、商品果数は実証区で多い傾向にあった(データ略)。

Ⅳ. 考 察

前報(壇ら, 2015)では, 宮城県亘理郡山元町の実証研究施設内の23.8 aの栽培区画で2013年に栽培試験を行い, 促成栽培のイチゴ‘もういっこ’で, 冷温水の熱源としてヒートポンプチラーを用いたクラウン温度制御の生育促進および増収効果を明らかにした。本研究では, 同栽培区画で2014~2016年の3年間の栽培試験で, 促成栽培のイチゴ‘もういっこ’のクラウン温度制御の実証試験を行った。

本研究では, クラウン温度制御を行っている期間中のクラウン部の温度は測定しなかった。高温期の夏秋どり栽培でクラウン部に接触させたチューブに冷水を流し, チューブの表面温度を20℃前後に制御したところ, クラウン部の温度は22℃前後で推移したのに対し, 無処理ではハウス内気温とほぼ同様に推移したと報告されている(沖村ら, 2009)。このことから, 本研究でもクラウン部の温度はチューブの表面温度とほぼ同程度の温度に制御されていたと推察される。

2014年の栽培試験では, 短日夜冷株および普通ポット株において, それぞれ定植日の9月10日および9月20日から10月23日までのクラウン部冷却により生育は抑制される傾向であった(第2表)。しかし, 2015年では, 短日夜冷株および普通ポット株において, それぞれ定植日の9月10日および9月20日から10月7日までのクラウン部冷却により生育は促進される傾向であった(第3表)。2016年では, 8月31日定植の短日夜冷株において, 8月31日から11月1日までのクラウン部冷却により生育は促進される傾向であったのに対し, 9月9日定植の短日夜冷株および普通ポット株において, それぞれ定植日の9月9日および9月20日から10月13日までのクラウン部冷却により生育は抑制される傾向であった(第4表)。一方, いずれの栽培年においても低温期にクラウン部加温を行うと生育の促進効果が認められた。高温時期である8月下旬頃に定植してクラウン部冷却を行うと生育は促進されると考えられたが, 気温が低下する時期である9月10日頃以後の定植においてはクラウン部冷却による生育の促進効果が判然としないと思われる。低温期では, イチゴの生育適温よりも気温は明らかに低下しているため, クラウン部加温により生育が促進

されると考えられた。

イチゴの高設栽培では, 頂果房の分化を確認した後に定植するが, 定植後に高温に遭遇すると, 第1次腋果房の分化が遅延し, 頂果房の収穫終了から第1次腋果房の収穫開始までの期間が長くなる, いわゆる収穫の中休みが産地で大きな問題となっている。これは, 気候温暖化に伴う気温上昇により, さらに顕在化することが予想される。本研究の栽培期間中の月別平均気温は過去30年のものより0.9~1.6℃高く(第1図), 宮城県でのイチゴ栽培においても, 収穫の中休みは今後より大きな問題になることが懸念される。

2015年の栽培試験での9月10日定植の短日夜冷株では, 果房間葉数, ならびに第1次腋果房の出蕾率に処理区間の差はみられなかった(第6表)。しかし, 2016年の9月9日定植の短日夜冷株では, 第1次腋果房の出蕾率に処理区間の差はみられなかったものの, 頂果房から第1次腋果房の果房間葉数はクラウン温度制御により少なくなった。2014年の9月10日定植, ならびに2016年の8月31日定植の短日夜冷株では, クラウン温度制御により頂果房から第1次腋果房の果房間葉数が少なくなり, 第1次腋果房の出蕾が早まったことにより, その出蕾率は高かった。9月10日前後定植の短日夜冷株でのクラウン温度制御による第1次腋果房の出蕾早進化効果には年次間差がみられ, 気温等の環境条件が影響すると考えられるが, この詳細な原因については不明である。一方, 9月20日定植の普通ポット株では, いずれの栽培試験年においても, 頂果房から第1次腋果房の果房間葉数, ならびに第1次腋果房の出蕾率に処理区間の差はみられなかった。栽培施設内の気温は10月に20℃前後に低下している(第1図)ことから, 宮城県での9月20日頃の定植となる普通ポット株の栽培での第1次腋果房分化期の気温は十分に低下していると推察され, クラウン部冷却による第1次腋果房の分化促進効果が認められなかったと考えられた。逆に, 宮城県でのイチゴ促成栽培における定植後のクラウン部冷却による第1次腋果房分化の促進効果は, 定植時期の遅い普通ポット株の栽培で小さく, 8月下旬から9月上旬に定植する栽培で大きくなると考えられた。

一方, イチゴの高設栽培の栽培槽は地面から隔離されており, 培地量が少ないことから, 低温期に培

地温が低下しやすいため、生育が抑制され、収量が低下することがある(伏原, 2004)。一般的なその対策としては、夜温を高く管理し、イチゴの生育や葉の展開を促進する(鮫島ら, 1999)。本研究で低温期にクラウン部加温を行った結果、イチゴ‘もういっこ’の葉は大きくなった(第2, 3および4表)ことから、草勢は維持されたと考えられた。また、12月および1月の出葉が早められたため、第2次腋果房の出蕾が早く、その出蕾率は高かった(第6表)。

さらに、3年にわたる栽培試験における実証区の5月までの商品果の総収量は、対照区の107～130%であった(第3図)。福岡県八女郡広川町の現地実証試験では、クラウン温度制御により3月までの収量は15～20%向上することが認められており、宮城県でもクラウン温度制御により収量はほぼ同様に7～30%程度増加すると考えられた。クラウン温度制御により収穫果数は増加する傾向であったが、これは腋果房の出蕾が早まったことによると考えられた。このことから、総収量の増加は収穫果数の増加によるものと推察された。

佐藤・北島(2010)は、低温期に電熱線を用いてクラウン部を18℃以上になるように加温したところ、‘とよのか’の出葉は有意に早くなったのに対し、‘あまおう’の出葉は促進されなかったことから、クラウン部加温の生育促進効果には品種間差がみられるとしている。本研究で供試した‘もういっこ’は、もともと低温期の草勢が強い品種(鹿野ら, 2006)とされているが、低温期のクラウン部加温により出葉が促進され、草勢が強くなったことから、‘もういっこ’はクラウン部加温による生育促進効果が顕著に認められる品種であると考えられた。

これまでに、「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」(佐賀県上場営農センター, 2013)でクラウン温度制御装置の導入費について検討されている。汎用型の冷却チラーに電熱ヒーターを組み込んだ冷温水器にクラウン部の温度制御用の循環チューブ(2連チューブ)を接続したタイプの導入費は、2,500,000円/10a程度(施工費は含まず)であった。一方、本研究で使用したような空気熱源タイプのヒートポンプチラー(5馬力/a)、冷温水を貯える貯水タンク、冷温水を循環するポンプ、クラウン部の温度制御用の循環チューブ、ならびにポ

ンプ制御用のサーモスタットで構成されるタイプの導入費は、1,800,000～1,900,000円/10a(施工費は含まず)と前者より安価であった。

また、運転経費については、2006年の福岡県八女郡広川町の実証試験で使用した、汎用型の冷却チラーに電熱ヒーターを組み込んだ冷温水器を使用したタイプでは、9月から5月の電力量料金は約300,000円/10aであった(壇, 2008)。一方、本研究で使用したヒートポンプチラー、ヒートポンプチラー用循環ポンプおよび送水ポンプの9月から5月の合計電力量料金について、1kWh当たりの電力量料金を15.66円(2017年の東北電力(株)における電力量料金)として計算すると、2014, 2015および2016年の栽培試験でそれぞれ約92,000, 約86,000および約100,000円/10aとなり、福岡県八女郡広川町の現地実証試験で使用した冷温水器を使用したタイプの1/3以下であった。福岡県八女郡広川町の現地実証試験では、冷温水を24時間チューブに循環供給したため、低温期に用いた電熱ヒーターの消費電力量が大きかった。それに対して、本研究では、冷却または加温時に施設内気温がそれぞれ20℃以上または18℃以下で送水ポンプを動作させる設定としたため、送水ポンプが作動していない時間帯があったこと、ならびに電熱ヒーターを用いずにヒートポンプチラーにより加温したことで、気温の低い東北地方であっても電力量料金が低く抑えられたと考えられた。

本研究で使用したクラウン温度制御装置の導入費および電力量料金は、汎用型の冷却チラーに電熱ヒーターを組み込んだ冷温水器を用いたものよりもともに安価であった。しかしながら、本研究では、クラウン温度制御により高温期の第1次腋果房の出蕾が促進されるとともに、低温期の草勢が維持され、生育が促進されたことから、第2次腋果房の出蕾も早められた。その結果、5月末までの総収量が7～30%増加し、クラウン温度制御による生産性向上効果が認められた。

本研究では、2014～2016年の3年間にわたり、宮城県亘理郡山元町の実証研究施設内で促成栽培のイチゴ‘もういっこ’に冷温水の熱源としてヒートポンプチラーを用いたクラウン温度制御の実証試験を行った。実証試験の結果から、定植後のクラウン部冷却については、促成栽培においても外気温の高

い8月下旬の早期の定植では、第1次腋果房の分化促進効果が顕著であることを明らかにした。また、低温期のクラウン部加温については、腋果房の出蕾や生育の促進効果を明らかにした。以上のことから、クラウン温度制御技術は、宮城県におけるイチゴの促成栽培において、効果的に生産性を向上させる栽培技術であることが実証された。

引用文献

- 1) 壇 和弘 (2008) イチゴ=クラウン部の温度管理による花芽分化促進と生育制御. 最新農業技術 野菜 vol.1. p.313-319. 農山漁村文化協会, 東京.
- 2) 壇 和弘 (2010) 周年生産をめざすイチゴの最先端技術. イチゴのクラウン温度制御技術. 農耕と園芸 65 (12) : 40-43.
- 3) 壇 和弘・菅野 亘・中原俊二・後藤直子・岩崎泰永・高野岩雄・沖村 誠・日高功太・高山智光・今村 仁 (2015) 宮城県での促成栽培イチゴにおけるクラウン温度制御技術の現地実証. 九州沖縄農業研究センター報告 64 : 1-11.
- 4) 伏原 肇 (2004) 第3章高設栽培の栽培環境と施設・資材の検討 3 暖房の効果と暖房機の要否. イチゴの高設栽培 栽培のポイントと安定化の課題. p.49-55. 農山漁村文化協会, 東京.
- 5) 鹿野 弘・高野岩雄・関根崇行・大沼 康・庄子孝一・本多信寛 (2006) イチゴ‘もういっこ’の育成経過と特性. 宮城県農業・園芸総合研究所 研究報告 76 : 41-51.
- 6) 農林水産省 (2016) 東北一のいちご産地復興への取組. < http://www.maff.go.jp/tohoku/osirase/higai_taisaku/hukkou/pdf/jamiyagiwatari_2803.pdf >.
- 7) 沖村 誠 (2009) イチゴ安定生産のためのクラウン温度制御技術. 農業技術 64 : 425-430.
- 8) 沖村 誠・壇 和弘・曾根一純・北谷恵美・木村貴志・日高功太・高山智光 (2009) クラウン部冷却および長日処理が夏秋どり四季成り性イチゴの開花・収量・果実品質に及ぼす影響. 園芸学研究 8 (別2) : 467.
- 9) 佐賀県上場営農センター (2013) 低コスト局所環境制御技術を駆使した所得1,500万円のイチゴ経営マニュアル. < http://www.pref.saga.lg.jp/web/shigoto/_1075/_32933/ns-nousisetu/uwabaenou/manual/ichigo.html >.
- 10) 鮫島國親・加藤善啓・志茂正人 (1999) 促成イチゴの生育・収量・品質に及ぼす夜気温並びに電照の影響. 鹿児島県農業試験場研究報告 27 : 1-5.
- 11) 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. 福岡県農業総合試験場研究報告 29 : 27-32.
- 12) YAMASAKI, A. (2013) Recent progress of strawberry year-round production technology in Japan. JARQ 47: 37-42.

Forcing Culture of Strawberries in Miyagi Using a Crown-temperature Control Technique

Kazuhiro Dan, Wataru Sugeno^{1)*}, Shunji Nakahara²⁾, Naoko Goto¹⁾, Yukiko Honma¹⁾,
Manami Yusa¹⁾, Yasunaga Iwasaki³⁾, Iwao Takano⁴⁾, Shiori Takayama⁴⁾,
Kota Hidaka, Tomohiko Takayama and Hitoshi Imamura

Summary

We investigated the effect of maintaining the temperature of the crown at around 20°C on growth and yield of strawberry cultivar Mouikko under a forcing culture on an elevated bench in Yamamoto-cho, Watari-gun, Miyagi, northern Japan, for three years. During the hot season, the promotion effect of flower bud differentiation on the first axillary branches in plants treated with crown cooling was higher than that in untreated ones. Growth of strawberry plants was unambiguously promoted, and plant vigor was maintained by crown heating in winter. In addition, the rate of flower budding on second axillary branches in plants treated with crown heating exceeded that in untreated plants. The marketable yield of plants under crown-temperature control treatment exceeded that of untreated plants. It was confirmed that crown-temperature control effectively improved growth and yield of strawberries in Miyagi, using forcing culture, based on the results of three years.

Keywords: crown-temperature control, forcing culture, Miyagi, Mouikko, strawberry.

Horticulture Research Division, NARO Kyushu Okinawa Agricultural Research Center, 1823-1 Miimachi, Kurume, Fukuoka 839-8503, Japan.

1) Project Researcher of Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries

2) Technical Support Center, NARO Kyushu Okinawa Agricultural Research Center

3) NARO Institute of Vegetable and Floriculture Science

4) Miyagi Prefectural Institute of Agriculture and Horticulture

* Corresponding author