

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

重野貴・栃木博美¹⁾・大橋幸雄²⁾・稲葉幸雄

摘要： 促成栽培におけるイチゴ「とちおとめ」における電照，炭酸ガス施用，地中加温といった各栽培管理技術並びにそれぞれを組み合わせさせた効果について検討を行った。

電照を行うことにより厳寒期の生育が促進され，2次腋花房以降の収量が増えるので総収量も増加する。電照開始時期については，早期夜冷で11月下旬，普通夜冷で12月上旬～中旬から行うと良い。炭酸ガスの施用は草勢の維持という点ではあまり効果は見られないものの，1次腋花房以降の収穫が早まることにより収穫の中休みが軽減し，増収する。地中加温により厳寒期における草勢の低下が抑えられ，葉の展開が促進され，収量も2次腋花房以降の果数及び果重が増加し，増収する。また地中加温は12月上旬までに開始する必要がある。これら3種の栽培管理技術を組み合わせた場合，それぞれを個別に実施するよりも相乗効果が得られる組合せが明らかとなった。特に葉面積の確保が容易な電照と葉の光合成能力を高める炭酸ガス施用の組み合わせが相乗効果が大きかった。

キーワード： とちおとめ，電照，炭酸ガス施用，地中加温，相乗効果

Effect of electric illumination, carbon dioxide supplementation and underground heating on the growth and yield of strawberry "Tochiotome" in forcing culture

Takashi SHIGENO, Hiromi TOCHIGI, Yukio OOHASHI, Yukio INABA

Summary : The effects of culture management technologies, such as electric illumination, carbon dioxide supply, and underground heating, on the growth and yield of strawberry "Tochiotome" in forcing culture were investigated. Growth of plants in severe cold was promoted by electric illumination. The yield after the second axillary flower cluster stage was increased, resulting in an increase in total yield. Electric illumination should be started in early to mid-December in Short-day and low night temperature treatment of late-August planting, or in the latter half of November if the treatment of mid-September planting. Short-day and low night temperature treatment and Carbon dioxide supplementation was less effective at maintaining plant growth. Nevertheless, it resulted in better yield, since earlier harvest after the first axillary flower cluster stage shortened the harvest interval. Underground heating reduced plant growth in severe cold, promoted leaf opening, and increased the number and weight of leaves after the second axillary flower cluster stage, resulting in better yield. Underground heating should be started by the first half of December. Use of a combination of these three culture management technologies provided synergistic effects compared to their use in isolation. The combination of electric illumination, to maintain leaf area, and carbon dioxide supplementation, to promote photosynthetic capacity of leaves, had the best synergistic effect.

Key words : Tochiotome, electric illumination, carbon dioxide supply, underground heating, synergistic effect

1)現 栃木県経営技術課，2)現 栃木県農業大学校

I 緒言

1996年に品種登録された「とちおとめ」¹⁾はそれまでの主力品種であった「女峰」と比べ、同程度の早生性を示し、大果で収量性が高く、食味も良好であるといった優れた特性を持ち合わせているため、普及当初から順調に面積を延ばし、平成13年産では95%程度まで増加した。また県外においてもかつて「女峰」を生産していた産地を中心に普及しつつある。こうして「女峰」に引き続き本県のみならず、日本を代表する品種の1つとなった「とちおとめ」であるが、いくつかの欠点を持ち合わせており、栽培が難しい品種でもあるので、その欠点を栽培技術で克服できれば栽培者には高収量、高収益をもたらす品種と言える。

イチゴの促成栽培では8月下旬～9月下旬に定植を行い、11月頃から翌年の5月頃までの長期にわたって収穫が行われる。この間イチゴは生育に不利な気象条件を経過する。具体的には定植活着後生育を開始し、第1、2図に示したように、保温開始時期以降から12月下旬までは日増しに日長は短く、日射量も弱くなり、気温も低下していく。それに伴いハウス内の環境は保温により昼温は高く保たれるものの日射量の低下により第3、4図に示したようにベッド内の地温は低下し²⁾、さらに昼温を確保するため密封されがちなハウス内では光合成に必要な炭酸ガス濃度は大気中(約350ppm)のそれよりも低く推移することになる(第5図)。保温開始以降いったんは大きくなった葉の生育は12月上旬までは維持するものの³⁾、それ以降は上記した諸環境による光合成産物量の低下とこの時期が果実の肥大及び収穫期にあたるため光合成産物の葉への分配率の低下が進むことにより^{4) 10) 11)}小型化し、葉の展開スピードも低下に向かう。また根部についても定植後は発育を続けるものの葉の生育と同様の要因により、収穫開始とともに減少に転じ、1月下旬には最小となる¹⁴⁾。こうした生育の停滞が程度を越えると「成り疲れ」や「株疲れ」と呼ばれ、次の花房の生育が遅れ、結果として中休みが発生することとなるが、「とちおとめ」では「女峰」に比べその傾向が強い。

現在本県のイチゴ栽培においてイチゴの生育を助長する栽培管理技術としてすでに普及していたり、普及しつつあるものに電照、炭酸ガス施用及び地中加温がある。電照は自然日長が短くなる時期に利用することによりイチゴを長日条件下におくことができ、地上部の生育を大きくすることが可能である。炭酸ガス施用は保温により

低下しがちなハウス内の炭酸ガス濃度を上昇させ光合成能力を高める効果がある⁸⁾。また地中加温は厳寒期に温度が低下しがちな根圏部分を直接加温することにより、根部の伸長及び養水分の吸収を助長すると考えられている^{12) 13)}。

しかし以上3つの栽培管理技術が現在主力品種となっている「とちおとめ」の生育、収量に及ぼす効果や程度の違い、並びにその経済的な効果については未だ検討がなされていない。

そこで本試験では「とちおとめ」を用いて、厳寒期における草勢低下、中休み回避のため、電照、炭酸ガス施用、地中加温といった各栽培管理技術の効果並びにそれぞれを組み合わせた場合の効果及び経済性についてまとめたのでここに報告する。

II 方法

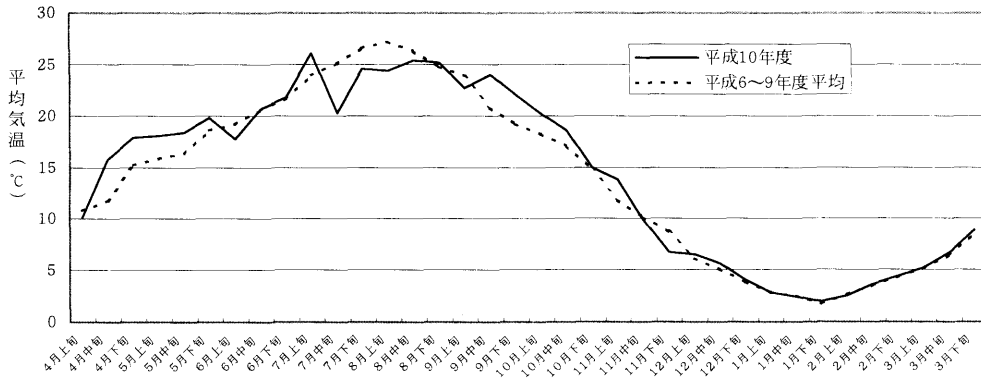
1. 電照が生育と収量に及ぼす影響

早期夜冷及び普通夜冷の2作型と、電照開始時期を1996年の11月25日、12月15日及び無処理の3処理の組み合わせによる6処理を設けた。電照は反射型の白熱灯60wを4坪に1個、高さ120cmに吊し、日の出30分前から日長が15時間となるように点灯して行った。照度は平均50Luxとなるよういずれの区も1997年3月15日まで行った。試験規模は1区10株2区制で行った。

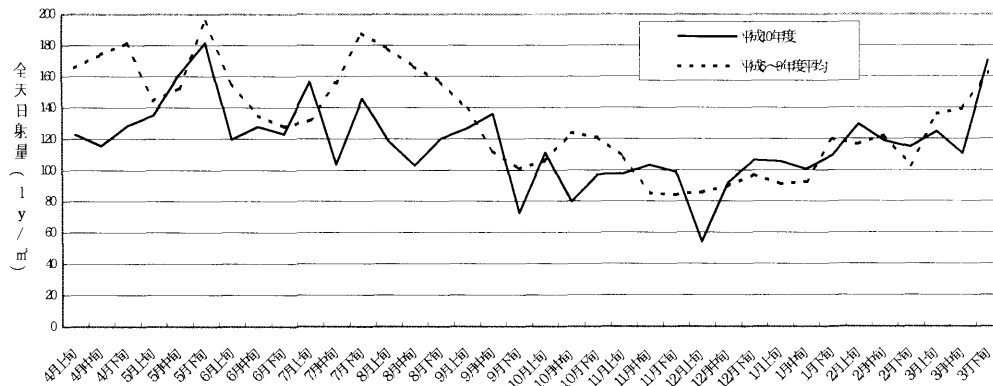
早期夜冷は1996年6月25日に10.5cmポリポットへ採苗仮植し、8月1日から28日まで夜冷処理を行い、8月29日に定植した。普通夜冷は7月15日に10.5cmポリポットへ採苗仮植し、8月20日から9月9日まで夜冷処理を行い、9月10日に定植した。夜冷処理は処理温度を10℃とし、8:30出庫、16:30入庫の8時間日長で行った。定植は畝幅110cm、株間21cmの2条高畝へ行き、施肥はa当たり成分で窒素2.0、りん酸3.0、加里2.0kgを施用した。保温は10月25日から開始し、温度管理は昼温25℃、最低夜温8℃で管理した。

2. 炭酸ガス施用が生育と収量に及ぼす影響

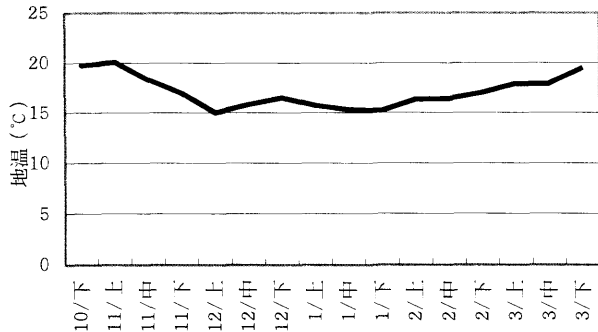
炭酸ガス施用の有無の2処理を設けた。炭酸ガス施用は、1997年11月25日から1998年3月20日までの期間、午前6時から9時までの時間帯に、濃度600～1,200ppmの範囲(濃度コントローラーを用い、ハウス内の炭酸ガスが1,200ppmを越えると自動的に施用を止め、濃度が600ppm以下に低下した場合に再び施用するようにした)で行った。なお本試験ではLPガス専用炭酸ガス発生装置を用いて行った。試験規模は1区10株2区制で行った。



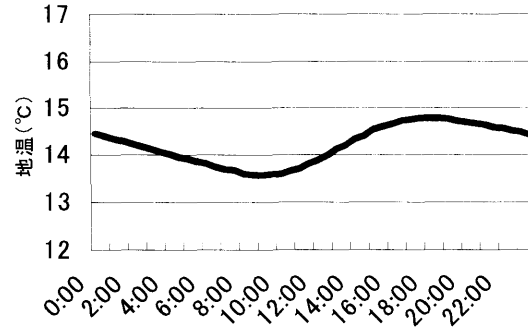
第1図 平成10年度（1998～1999年）平均気温の推移（宇都宮气象台）



第2図 平成10年度（1998～1999年）全日放射量の推移（宇都宮气象台）



第3図 平均地温の推移（1998.10～1999.3）



第4図 地温の推移（1999.1.7～15）

注) 栃木分場内ほ場，地表下15cmで測定，30分毎の測定値の平均

1997年7月15日に10.5cmポリポットに採苗仮植し，8月20日から9月10日まで夜冷処理を行い．9月10日に定植の普通夜冷の作型とした．定植は畝幅110cm，株間24cmの2条高畝で行い，施肥はa当たり成分で窒素2.0，りん酸3.0，加里2.0kgを施用した．保温は10月25日から開始し，ハウス内の温度管理は昼温25℃，最低夜温8℃で管理した．

3. 地中加温が生育と収量に及ぼす影響

地中加温処理開始時期を1995年11月1日，12月9日，12月31日及び無処理とした．処理は深さ20cmに電熱線を埋設し，深さ15cmの地温を18℃に設定して1996年4月10日まで行った．試験規模は1区20株1区制で行った．

1995年6月27日に12cmのポリポットに採苗仮植し，夜冷処理を8月1日から28日まで行い，8月29日に定植の早期夜冷の作型とした．定植は畝幅110cm，株間21cm

の2条高畝へ行い、施肥はa当たり成分で窒素2.0, りん酸3.0, 加里2.0kgを施用した。保温は10月13日から開始し、ハウス内の温度管理は昼温25℃, 最低夜温8℃で管理した。

4. 3つの栽培管理技術を組合せた影響

電照, 炭酸ガス, 地中加温それぞれの有無の組み合わせによる8処理を設けた。電照は反射型の白熱灯60wを4坪に1個, 高さ120cmに吊し, 日の出30分前からの日長が15時間となるように点灯して行った。照度は平均50Luxとなるよう1998年12月8日から1999年2月28日まで行った。炭酸ガス施用はLPガス専用炭酸ガス発生装置を用い, 施用時間は午前6時から換気開始想定時刻30分前まで, 濃度は濃度コントローラーにより1000~1200ppmに設定し, 1998年11月28日から1999年3月23日まで行った。地中加温は深さ20cmに電熱線を埋設し, 深さ15cmの地温を16℃に設定し, 1998年12月1日から1999年3月31日まで行った。試験規模は1区20株1区制で行った。

1998年7月15日に10.5cmのポリポットに採苗採苗仮植し, 夜冷処理を8月20日から9月9日まで行い, 9月9日に定植の普通夜冷の作型とした。定植は畝幅110cm, 株間24cmの2条高畝で行い, 施肥はa当たり成分で窒素2.0, りん酸3.0, 加里2.0kgを施用した。保温は10月26日から開始し, ハウス内の温度管理は昼温25℃, 最低夜温8℃で管理した。

III 結果

1. 電照が生育と収量に及ぼす影響

第1表に電照開始時期が生育に及ぼす影響を示した。処理後の葉柄長は早期夜冷, 普通夜冷とも電照区が無処理区より長くなり, 葉面積も葉柄長と同様の傾向がみられた。1次腋花房の着花数は早期夜冷, 普通夜冷とも電照を行うことで無処理区より増加し, 電照開始時期が早いほど多い傾向であった。

第2表に電照開始時期が開花・収穫始期に及ぼす影響を示した。開花始期は1次腋花房では電照の影響は判然としなかったが, 早期夜冷及び普通夜冷区とも11月25日

処理区が若干早まった。収穫始期も1次腋花房では電照の影響は開花始期に準じたが, 2次腋花房では早期夜冷で11月25日処理が, 普通夜冷ではいずれの処理とも無処理区より早まる傾向がみられた。

第3表に電照開始時期が収量に及ぼす影響を示した。月別収量を見ると, 両作型とも電照を行うことで3月以降無処理区より多くなり, 総収量でも増加した。早期夜冷では11月25日処理が, 普通夜冷では12月15日処理が最も多収となった。花房別収量は1次腋花房までは電照の影響は判然としなかったが, 2次腋花房以降の収量は電照により顕著に増加した。

第4表に電照開始時期が収穫果数と1果重に及ぼす影響を示した。収穫期間中の総収穫果数は, 早期夜冷では11月25日処理が多く, 普通夜冷ではいずれの開始時期も無処理区より多い傾向が認められた。花房別では, 早期夜冷, 普通夜冷とも電照を行うことにより第2次腋花房以降で増加した。収穫期間中の1果重は, 両作型とも処理間に差は認められなかった。花房別の1果重は, 早期夜冷の第2次腋花房で電照区が大きくなる傾向がみられたが, 普通夜冷では大差なかった。

2. 炭酸ガス施用が生育と収量に及ぼす影響

第5図に炭酸ガス濃度の日変化を示した。炭酸ガス施用を行っていないハウスの炭酸ガス濃度は光合成が活発になる時間帯(1月上旬では7時30分頃)から急激に低下し, ハウス換気前には外気中の濃度よりも低い200ppm程度まで低下した。また, 換気が終了する夕方以降上昇し始め, 夜間は600ppm程度で推移した。これに対して炭酸ガス施用を行ったハウスでは, 換気を行う直前においても400ppm程度を維持した。

第5表に炭酸ガス施用が生育と開花・収穫始期に及ぼす影響を示した。厳寒期における葉柄長については差が見られなかったが, 葉面積は炭酸ガス施用によりやや大きくなった。開花始期は炭酸ガス施用により, 1次腋花房では5日, 2次腋花房では8日早まった。収穫始期は1, 2次腋花房とも4日早まった。着花数は頂花房では差はなかったが1次腋花房では多くなった。

第1表 電照開始時期が生育及び着花数に及ぼす影響

作型	電 照 開始時期	葉柄長 (cm)			葉面積 (cm ²)			着花数 (花/株)	
		11/4	1/14	3/4	11/4	1/14	3/4	頂花房	1次腋
早期夜冷	11/25	11.7	11.0	13.2	196	143	175	17.7	14.1
	12/15	13.2	10.5	13.3	240	132	145	14.9	13.0
	無処理	13.4	4.6	9.4	219	49	99	15.9	11.7
普通夜冷	11/25	8.7	11.1	15.2	214	170	182	14.1	18.8
	12/15	9.9	10.7	10.8	242	169	149	13.0	17.4
	無処理	10.3	4.3	9.9	219	60	110	11.7	15.8

注1. 葉柄長は展開第3葉を調査。

2. 葉面積は小葉の葉身長×葉幅で算出し, 展開第1~3葉の合計とした。

第2表 電照開始時期が開花，収穫始期に及ぼす影響

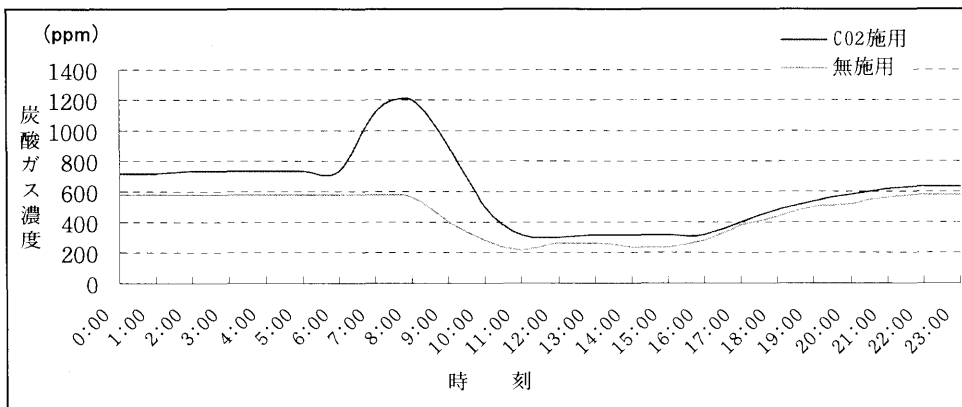
作型	電 照 開始時期	開花始期 (月/日)		収穫始期 (月/日)		
		頂花房	1次腋	頂花房	1次腋	2次腋
早期夜冷	11/25	10/10	11/29	11/11	1/ 8	3/ 1
	12/15	10/10	12/ 6	11/13	1/17	3/ 5
	無処理	10/10	12/ 3	11/13	1/13	3/ 5
普通夜冷	11/25	10/23	12/ 3	12/ 3	1/12	3/ 3
	12/15	10/23	12/ 6	12/ 1	1/15	2/24
	無処理	10/23	12/ 6	12/ 2	1/15	3/12

第3表 電照開始時期が収量に及ぼす影響

作型	電 照 開始時期	月別収量 (g/株)							花房別収量 (g/株)		
		11月	12月	1月	2月	3月	4月	合計	頂花房	1次腋	2次腋以降
早期夜冷	11/25	134	101	147	104	220	134	840	239	269	332
	12/15	141	96	79	135	204	134	789	243	218	328
	無処理	135	100	135	135	177	78	760	238	277	245
普通夜冷	11/25	6	156	111	98	139	123	633	185	207	241
	12/15	7	185	118	118	157	110	695	216	223	256
	無処理	6	167	118	101	104	89	585	204	200	181

第4表 電照開始時期が収穫果数及び1果重に及ぼす影響

作型	電 照 開始時期	花房別収穫果数 (果/株)				花房別1果重 (g)			
		頂花房	1次腋	2次腋以降	総	頂花房	1次腋	2次腋以降	平均
早期夜冷	11/25	16.2	16.3	17.5	50.0	14.7	16.5	19.0	16.8
	12/15	14.3	13.5	18.0	45.8	16.9	16.2	18.3	17.2
	無処理	14.3	16.7	14.3	45.3	16.6	16.7	17.1	16.8
普通夜冷	11/25	10.1	11.7	14.2	36.0	18.5	17.6	17.1	17.6
	12/15	10.4	12.8	14.3	37.5	20.9	17.4	17.8	18.5
	無処理	10.2	11.5	10.8	32.5	19.9	17.4	16.9	18.1



第5図 炭酸ガス濃度の日変化 (調査日:施用区1/3, 無施用区1/11)

注.ハウスの換気開け時刻(10:30), 換気閉め時刻(15:30)

第5表 炭酸ガス施用が生育及び開花，収穫始期に及ぼす影響

CO ₂ 施用	葉柄長 (cm)	葉面積 (cm ²)	開花始期 (月/日)			収穫始期 (月/日)			着花数(花/株)	
			頂花房	1次腋	2次腋	頂花房	1次腋	2次腋	頂花房	1次腋
有	6.4	25	10/22	12/ 3	1/26	11/25	1/19	3/16	16.0	19.8
無	6.3	21	10/22	12/ 8	2/ 3	11/25	1/23	3/20	16.9	16.7

注1. 葉面積は，展開第3葉の中央小葉の葉身長×葉幅

2. 葉柄長，葉面積は2月24日調査

第6表 炭酸ガス施用が収量に及ぼす影響

CO ₂ 施用	月別収量 (g/株)							収量比 (%)	可販果 (個/株)	1果重 (g)
	11月	12月	1月	2月	3月	4月	合計			
有	42	138	122	135	186	174	797	116	44.3	18.0
無	40	143	89	127	143	147	689	100	38.5	17.9

第7表 炭酸ガス施用が階級別発生割合及び果実品質に及ぼす影響

CO ₂ 施用	階級別発生率 (%)				糖度 (%)	酸度 (%)	果実硬度 (g/φ2mm)
	25g以上	25~13g	13~8g	8g未満			
有	30.4	41.2	20.3	8.1	10.4	0.58	90
無	29.7	42.8	18.5	9.0	10.2	0.57	86

第8表 地中加温が生育及び開花、収穫始期に及ぼす影響

加温時期	葉柄長 cm				展開葉数	開花始期 月.日			収穫始期 月.日		
	12月	1月	2月	3月		頂	1次腋	2次腋	頂	1次腋	2次腋
11. 1	9.5	7.3	4.9	5.5	13.0	10. 4	11.29	1.17	11. 1	1.10	2.27
12. 9	9.2	5.9	4.9	5.7	12.7	10. 3	11.27	1.19	11. 2	1. 7	2.27
12.31	7.8	5.0	4.2	4.6	12.4	10. 5	11.27	1.17	10.31	1. 8	3. 1
無加温	9.3	5.0	3.4	4.4	12.5	10. 4	11.28	1.23	10.31	1. 5	3. 1

注1. 葉柄長は展開第2葉を調査。
 2. 展開葉数は10月28日から4月15日までに展開した葉数。

第9表 地中加温が収量に及ぼす影響

加温時期	月別収量 (g/株)								収量比
	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	計	
11. 1	6	135	78	145	159	228	111	862	114
12. 9	4	136	64	122	158	251	106	841	112
12.31	12	125	58	145	131	195	97	763	101
無加温	14	133	60	108	143	207	88	753	100

第6表に炭酸ガス施用が収量に及ぼす影響を示した。月別収量では炭酸ガス施用により1~4月の収量が多くなり、収穫の中休みが軽減された。総収量では炭酸ガス施用により16%増収した。可販果数は炭酸ガス施用により増加したが、1果重については差は見られなかった。

第7表に炭酸ガス施用が果実の等階級別発生割合と品質に及ぼす影響を示した。等階級別発生割合では各発生率に大きな差は見られなかったが、炭酸ガス施用により8g以下の屑果がやや減少した。また炭酸ガス施用による果実糖度、酸度及び硬度への影響は判然としなかった。

3. 地中加温が生育と収量に及ぼす影響

本試験における地中加温処理により、1月から2月の深さ15cmの平均地温は、11月1日処理開始区が20.2℃、12月9日が20.6℃、12月31日が19.8℃、無処理が14.9℃であった。

第8表に地中加温が生育と開花・収穫始期に及ぼす影響を示した。葉柄長は12月には加温の影響はみられなかったが、2~3月にはいずれの処理時期も無処理に比べ

やや大きい傾向が認められた。10月28日から4月25日までの展開葉数は11月1日加温がやや多い傾向がみられ、無加温区に比べ葉の展開は促進された。開花始期は1次腋花房では加温の影響はみられなかったが、2次腋花房では加温区がやや早く、収穫始期についても2次腋花房で11月1日及び12月9日加温がわずかに早い傾向がみられた。

第9表に地中加温が収量に及ぼす影響を示した。月別収量を見ると11月1日及び12月9日加温で、1月以降無処理より多くなり、総収量でもそれぞれ14、12%増加したが、12月31日加温では無処理との差は見られなかった。

第10表に地中加温が花房別収量と不良果の発生に及ぼす影響を示した。11月1日加温では1次腋花房及び2次腋花房以降、12月9日加温でも2次腋花房以降で着花数が多くなり、果重についても増加した。12月31日加温では地中加温の効果は小さかった。なお、1果重は加温区でやや大きい傾向がみられたが、乱形果及び不受精果の発生に及ぼす地温の影響は明らかではなかった。

4. 3つの栽培管理技術を組合せた影響

本試験の処理により1月上旬時の炭酸ガスを施用していないハウスの炭酸ガス濃度は換気開始時刻までに200ppm程度まで低下したのに対し、炭酸ガス施用を行ったハウスでは換気開始時刻まで1150~600ppmの範囲で推移した。また地中加温を行っていない処理の1月上旬時の地温は最低で12.9℃、最高で15.4℃であったのに対し、地中加温を行った処理では最低で14.0℃、最高で17.0℃であった。

第11表に各栽培管理技術の組み合わせが生育と開花・収穫始期に及ぼす影響を示した。1月時の葉柄長及び葉面積は電照の処理により維持され、3月時の草勢回復も早く、特に電照と地中加温との組合せでその傾向は顕著

であった。開花始期は1次腋花房では判然としなかったが、2次腋花房では差が大きく、各栽培管理技術を2つ以上組合せた処理区では無処理に比べ7~12日早くなった。収穫始期についても同様の傾向で、各栽培管理技術を2つ以上組合せた処理区では無処理に比べ2次腋花房において7~10日早くなった。

第6図に各栽培管理技術の組み合わせが展開葉数の推移に及ぼす影響を示した。12月以降の展開葉数はいずれの処理区も無処理より0.6~2.0枚程度多く、厳寒期における生育の停滞が軽減された。また各栽培管理技術を比較すると地中加温により展開葉数が増加する傾向であった。

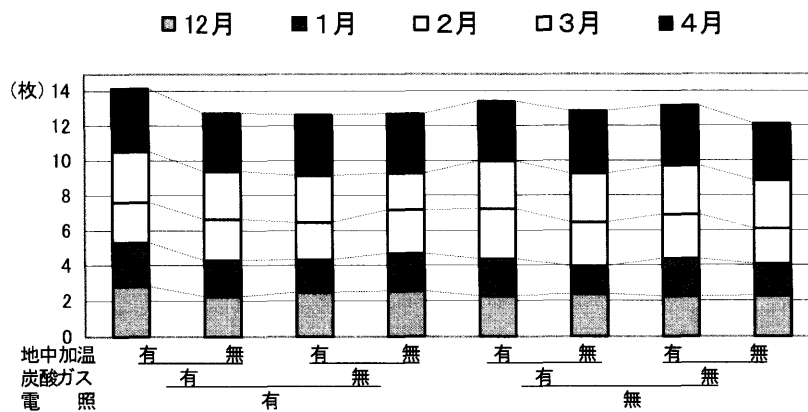
第10表 地中加温が花房別収量及び不良果の発生に及ぼす影響

加温時期	可販果数 果/株			可販果重 g/株			可販果数	1果重 g	乱形果 %	不受精果 %
	頂	1次腋	2次腋以降	頂	1次腋	2次腋以降				
11. 1	18.0	18.7	21.2	220	294	348	58.0	14.9	8.6	10.7
12. 9	15.5	17.6	20.4	208	279	354	53.7	15.7	8.4	9.9
12. 31	15.7	16.2	16.1	200	279	284	48.0	15.9	9.8	8.7
無加温	17.3	16.9	17.5	204	260	287	51.7	14.6	9.1	10.3

第11表 各栽培管理技術が生育及び開花、収穫始期に及ぼす影響

処 理	炭酸ガス	地中加温	葉柄長 (cm)		葉面積 ¹ (cm ²)		開花始期 (月/日)			収穫始期 (月/日)		
			1月	3月	1月	3月	頂花房	1次腋	2次腋	頂花房	1次腋	2次腋
電照 有	有	有	7.2	12.0	80	146	10/22	12/ 9	1/26	11/24	1/22	3/ 5
		無	7.5	9.4	68	101	10/22	12/ 3	1/30	11/24	1/18	3/ 5
	無	有	8.1	14.2	73	161	10/22	12/ 1	1/31	11/24	1/18	3/ 8
		無	8.2	9.8	66	91	10/24	12/ 8	2/ 8	11/27	1/22	3/15
電照 無	有	有	6.4	4.3	66	50	10/24	12/ 4	1/28	11/24	1/14	3/ 8
		無	6.7	4.5	65	51	10/21	12/ 5	2/ 3	11/22	1/22	3/15
	無	有	6.3	5.0	60	60	10/23	12/ 5	2/ 3	11/24	1/18	3/12
		無	5.9	4.0	58	46	10/23	12/ 5	2/ 7	11/24	1/18	3/15

注1. 展開葉1~3枚の中央小葉の葉身長×葉幅の合算



第6図 展開葉の推移 (1998.12~1999.4)

第12表に各栽培管理技術の組み合わせが収量に及ぼす影響を示した。月別収量は各処理区とも無処理に比べ、2月以降増加する傾向を示し、収穫の中休みが軽減された。総収量では電照有・炭酸ガス有・地中加温有（以降、有・有・有と略記する）区が最も多く無処理に比べ24%増収した。花房別では多くの処理区で2、3次腋花房で増収する傾向が見られ、特に有・有・有、有・有・無区でその傾向は顕著であった。

第13表に各栽培管理技術の組み合わせが果実の階級別発生割合と品質等に及ぼす影響を示した。可販果数はいずれの処理区も増加しており、特に有・有・有区では無処理に比べ株当たり9個程度増加した。等階級別発生割合では有・有・有、有・有・無区で15g以上の発生割合が大きく増加した。1果重は有・有・無、無・有・有区で無処理に比べやや大きくなり、硬度は炭酸ガス施用を処理した区で高くなる傾向であった。また糖度、酸度に対する影響については各処理区とも判然としなかった。

第14表に各要因別の生育と収量等を示した。要因別に見ると、厳寒期の葉柄長及び葉面積は電照によって大きく維持され、炭酸ガス施用による効果はあまり見られなかった。収穫始期は特に2次腋花房以降で各要因とも早まる傾向であったが、要因間では差がなかった。総収量は炭酸ガス施用により10%増収し、電照で7%、地中加温で4%であった。可販果数は炭酸ガス施用により増加し、屑果率も炭酸ガス施用により減少する傾向が見られた。果実硬度については、炭酸ガス施用によりやや高くなる傾向が見られ、他の要因では差は見られなかった。

第7図に収量における各要因の交互作用を示した。収量における各要因の交互作用を見ると、電照と炭酸ガス施用の組み合わせでその相乗効果による増収効果が最も高く、電照と地中加温、炭酸ガス施用と地中加温の組み合わせでは相乗効果的なものは見られなかった。

第12表 各栽培管理技術が収量に及ぼす影響

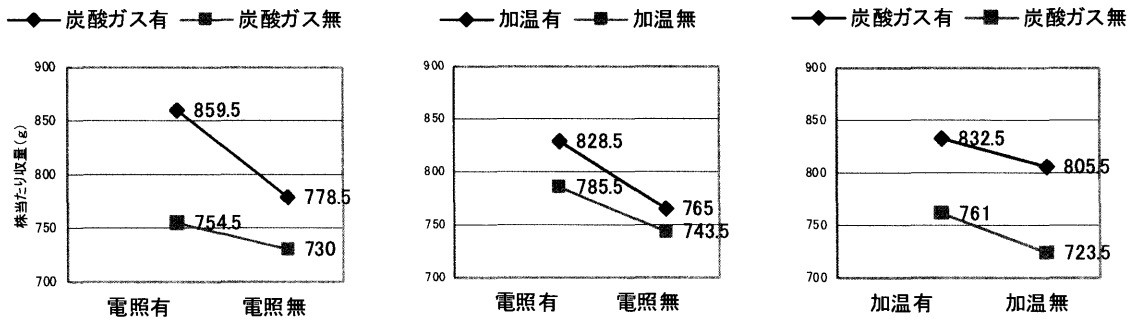
処 理	月別収量 (g/株)								収量比 (%)	花房別 (g/株)					
	電照	炭酸ガス	地中加温	11月	12月	1月	2月	3月		4月	合計	頂花房	1次腋	2次腋	3次腋
有	有	有		48	165	126	233	137	175	884	124	289	308	170	118
	無	無		45	152	135	195	134	174	834	117	253	300	171	111
無	有	有		34	139	135	194	122	149	773	109	252	279	134	108
	無	無		23	134	132	207	95	145	737	104	249	281	149	59
有	有	有		32	145	162	180	134	128	781	110	238	295	176	72
	無	無		40	164	133	203	127	109	776	109	270	309	160	36
無	有	有		43	151	136	178	116	125	749	105	252	296	149	51
	無	無		33	160	131	165	102	120	712	100	249	277	135	50

第13表 各栽培管理技術が階級別発生割合、品質等に及ぼす影響

処 理	可販果数 (個/株)	階級別発生割合 (%)						1果重 (g)	硬度 (g/φ2mm)	糖度 (%)	酸度 (%)	
		電照	炭酸ガス	地中加温	~25g	25~15	15~11					11~8
有	有	有	49.7	13.4	31.3	17.1	16.7	21.5	17.8	91	9.4	0.56
	無	無	45.5	13.9	32.5	15.6	15.4	22.6	18.3	92	9.8	0.56
無	有	有	44.6	10.6	30.8	16.5	14.6	27.5	17.3	86	9.7	0.56
	無	無	42.0	11.0	31.8	18.8	14.1	24.3	17.6	87	9.2	0.53
有	有	有	43.5	11.9	30.8	18.0	14.8	24.5	18.0	92	9.8	0.56
	無	無	45.6	9.9	31.6	18.0	16.9	23.6	17.0	96	9.2	0.52
無	有	有	41.9	12.7	29.3	17.9	14.7	25.4	17.9	84	9.2	0.55
	無	無	40.9	10.9	30.7	17.9	15.7	24.8	17.4	85	9.6	0.55

第14表 要因別の生育、収量等

要 因	葉柄長 (cm)		葉面積 (cm ²)		2次腋 収穫始期 (月/日)	総収量 (g/株)	収量比 (%)	可販果数 (個/株)	屑果率 (%)	硬度 (g/φ2mm)	
	1月	3月	1月	3月							
電照	有	7.8	11.4	72	125	3/8	807	107	45.5	24.0	89
	無	6.3	4.5	62	52	3/13	754	100	43.0	24.6	89
炭酸ガス	有	7.0	7.6	70	87	3/8	819	110	46.1	23.1	93
	無	7.1	8.3	64	90	3/13	742	100	42.3	25.5	86
地中加温	有	7.0	8.9	70	104	3/8	797	104	44.9	24.7	88
	無	7.1	6.9	64	72	3/13	765	100	43.5	23.8	90



第7図 収量における各要因の交互作用

IV 考察

電照について

イチゴ栽培における電照の検討は1960年代から行われており^{5, 15, 16)}、現在もジベレリン処理¹³⁾と並びイチゴの葉の生育をコントロールする技術として広く使われている。その葉の生育促進効果は、電照の照度が通常数十lx程度とイチゴの1,000lx程度とされている補償点よりもかなり低いことから、補光ではなく日長反応によるものであるとされている¹⁴⁾。電照はかつて本県においてもダナーや宝交早生といった品種を栽培しているころには広く行われていたが、厳寒期においても草勢の低下が少なく連続的に収穫が可能な女峰の普及により一時的に行われなくなっていた。しかし女峰と異なり草勢の低下が顕著であるとちおとめは電照を行うことにより厳寒期の生育が促進され、2次腋花房の収量が増えることにより増収することが明らかとなった。2次腋花房の増収要因としては、果数の増加と果実肥大が促進されるためと考えられた。電照開始時期については、早期夜冷で11月下旬、普通夜冷で12月上旬～中旬頃に行うことが良いと考えられた。

一般に普及している電照の方法としては日長延長、間欠、光中断がありそれぞれその使用方法により同等の効果が期待できるが^{2, 5, 6)}、電気代等を考慮するとその照明時間が短い間欠方式が経済的であるとされている⁵⁾。また光源としては電照用の白熱灯を使用するのが一般的であるが蛍光灯、発光ダイオード¹⁷⁾等の利用についても検討されつつある。

炭酸ガス施用について

光合成は光が強くなるほど適温が上昇し、かつ炭酸ガス濃度が高くなるほど促進される。ただし濃度にも当然限度はあり、イチゴでは織田ら^{3, 4)}や長岡ら⁹⁾よると炭酸ガス濃度1,000ppm程度で光合成速度はほとんど増加

しなくなるとしている。イチゴへの炭酸ガス施用の効果は、これまで日本海側を中心とした寡日照地域における終日施用による検討は行われており、その増収効果も品種による差は見られるが概ね40%以上と高い^{8, 18)}、しかし本県のように冬季に日照量が多く、適時換気が必要な地域における早朝施用による効果についてはあまり検討されていなかった。本試験により11月下旬から3月中旬まで早朝6時から9時までの時間帯に濃度600～1,200ppmの範囲で炭酸ガスの施用を行うことにより、草勢の維持という点では電照、地中加温に比べあまり効果は見られなかったものの、1次腋花房以降の収穫が早まることにより収穫の中休みが軽減し、増収することが明らかとなった。但し、その増収効果は寡日照地域における終日施用に比べれば低いものであった。

炭酸ガスの施用方法としては液化ガスによる施用とLPガス、灯油等の燃焼による施用があるが、液化ガスではランニングコストが高く、灯油等の燃焼方式では各種有害ガスが発生するおそれがある。また過剰な施用を防ぐためにも濃度コントローラーを併設するのが有効と思われる。

地中加温について

イチゴの生育適地温は20℃前後で、15℃以下では根からの養水分の吸収、根の伸長が抑制されている^{12, 13)}。本県における通常のハウス栽培において、地温は12月上旬頃から15℃を下回ることが多くなり(第3, 4図)、これは2月頃まで続くと思われる。また地温は日射量の影響を大きく受けるため⁷⁾厳寒期に曇雨天が数日続くと地温はかなり低く推移すると推察される。畝幅を通常より広くとり条間を空けベッドへの日射を多くし地温を確保しようとしている事例も見られるが栽植本数がかかり減少するため、あまり実用的ではない。したがって本県のような寒冷地では積極的に地温を確保し根の伸長を促し養水分の吸収を促すには地中加温を行う必要がある。本

第15表 10a当たりの初年度の経費（概算）

	電照	炭酸ガス施用	地中加温
設備費等	電球及び配線等 140,000	炭酸ガス発生装置 450,000 濃度コントローラー 180,000	ボイラー及び配管等 780,000
光熱費等	40,000	50,000	100,000
合計	180,000	680,000	880,000(円)

注) 地中加温はベッド内に温湯管を配し、ボイラーによる加温

第16表 10a当たりの粗収益（概算）

導入技術	収量 (t)	粗収益 (万円)	経費 (万円)	差額 (万円)
無処理	5.4	661	0	661
電照+炭酸ガス+地中加温	6.7	799	50	749
電照+炭酸ガス	6.3	754	25	729

注) 収量は7600株/10aとし、収益は当年各月の平均単価により算出。
経費は設備の耐用年数を5年として算出。

試験の結果では地下部の加温により厳寒期における草勢が維持され、葉の展開が促進され、収量も2次腋花房の果数及び果重が増加し、増収することが明らかとなった。しかし、12月末からの加温ではその効果は小さいため、加温は12月上旬までに開始する必要があると考えられた。但し、本試験は県南に位置する当分場での結果であるので県中、北部ではこれよりも若干早くから加温を開始するのがよいと思われる。

実際に地中加温を行う方法には本試験のように電熱線による場合と、温湯管による場合の2つの方法が考えられる。10a規模で行う場合、前者はベッド内に電熱線を反復させて埋設させる作業が非常に煩雑であり、消費する電力も大変多くなってしまふと考えられる。これに対し後者はボイラー及び配管等インシヤルコストはかかるものの、ランニングコストや作業性を考慮するとより実用的であり、実際本県においてすでに普及しているのもこの方法である。

以上3つの栽培管理技術のとちおとめにおける効果をまとめると、電照及び地中加温には明らかに厳寒期における葉の生長、展開スピードを促進させ、葉面積の確保を容易にし、同化産物の生産が増加し、結果的に花房出蕾を早める効果があると考えられる。一方炭酸ガス施用は葉の生長そのものにはあまり作用はなく、葉面積の確保には至らないものの、単位面積当たりの光合成能力を上げることにより、先の2つと同様の結果になると考えられる。また増収するのは、いずれの栽培管理技術とも腋花房以降を前進化させ、前倒し的に収穫が進むのが1番の要因であると思われる。ただし、各技術とも気象の影響を受けやすいため、増収効果の程度については年次格差が生じると考えられる。

また本試験により各栽培管理技術の組み合わせによって

は、それぞれを個別に実施するよりも相乗効果が得られることが明らかとなった。特に電照と炭酸ガス施用の組み合わせが最も相乗効果が得られやすかったが、これは電照により生育が促進し、株当たりの葉面積の増加が図られ、炭酸ガス施用により個葉当たりの光合成能力が高められたことにより、株当たりの同化産物の量が大きく増加するためと思われる。

第15、16表に各栽培管理技術を実施するに当たり、初年度の設備費と光熱費等の試算と、1999年度実施した試験結果から収益の試算を示した。各技術に掛かる費用は電照、炭酸ガス施用、地中加温の順に高くなり、全てを実施すると10a当たり150万円を超えることになる。粗収益の試算では電照、炭酸ガス、地中加温の全てを行うと799万円/10a、電照と炭酸ガスの実施で754万円/10aとなり、設備費を耐用年数で割った経費とランニングコストを差し引いても無処理と比べ、それぞれ88万、68万円の収益増となった。したがって、3つ全ての栽培管理技術を実施しても経営的にマイナスとはならないが、設備等への初期投資が比較的少なく済み、同時に実施することによる相乗効果も得られる電照と炭酸ガス施用を行うのが効率的であると考えられた。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、試験ほ場の管理並びに調査等の補助に協力いただいた小倉東次郎技査、稲葉正雄主任技術員に心から感謝の意を表します。

引用文献

1. 石原良行・高野邦治・植木正明・栃木博美 (1996)
：イチゴ新品種「とちおとめ」の育成。栃木農試研報 44:109-123.

2. 植松徳雄・佐田 稔・萩原貞夫 (1979) : イチゴの電照栽培における生育制御に関する研究 第1報 電照反応と暗期の長さとの関係について. 園芸要旨 昭和54年春:222-223.
3. 織田弥三郎・鈴木 彰 (1991) : 異なったCO₂濃度条件下におけるイチゴ“とよのか”の光合成特性. 園芸雑 60別1:380-381.
4. 織田弥三郎・田辺久輝 (1990) : 異なったCO₂濃度条件下におけるイチゴ“女峰”の光合成特性. 園芸雑 59別1:442-443.
5. 川里 宏・赤木 博 (1980) : イチゴの促成作型確立に関する研究 第2報 電照栽培における照度並びに電照方式が生育、収量に及ぼす影響. 栃木農試研報 26:85-92.
6. 川里 宏・赤木 博 (1981) : イチゴの促成作型確立に関する研究 第3報 照度と夜温の影響について. 栃木農試研報 27:55-60.
7. 清水 茂ら (1972) : 施設園芸の基礎技術. 誠文堂新光社
8. 中川 泉・吉岡 宏・河田 貢・西村仁一・村上晶子 (1989) : 寡日照地域における施設野菜のCO₂施用に関する研究. 園芸雑 58別2:352-353.
9. 長岡正昭・笠原宏人・大和陽一 (1994) : 異なった光強度条件下でのCO₂濃度がイチゴ品種“とよのか”の光合成に及ぼす影響. 園芸雑 63別1:336-337.
10. 西沢 隆・堀 裕 (1988) : イチゴにおけるC¹⁴光合成産物の転流・分配に及ぼす花房の発育段階の影響. 園芸雑 57:433-439.
11. 西沢 隆・堀 裕 (1989) : イチゴの栄養生長期から休眠期にかけての光合成と光合成産物の転流・分配. 園芸雑 57:633-641.
12. Norton, R. A. ・ S. H. Wittwer. (1963) : Foliar and root absorption and distribution of phosphorus and calcium in the strawberry. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci 82:277-286
13. 本多藤雄 (1977) : 生理・生態からみたイチゴの栽培技術. 誠文堂新光社
14. 植松徳雄 (1998) : イチゴ栽培の理論と実際. 誠文堂新光社
15. 金井和夫・山崎肯哉・鈴木芳夫 (1971) : イチゴ‘ダナー’の花分化直後の保温, 光中断効果. 園芸要旨 昭和46年春:204-205.
16. Went, F. G. (1957) : The strawberry, in Experimental Control of Plant Growth. Walthm, Mass, U. S. A. , Chron, Bot, Corp:129-138
17. 岡本研正・柳 智博 (1995) : 赤/青超高輝度発光ダイオードを用いた植物育成用光源の開発. 農及園 70(1):32-34.
18. 川島信彦 (1991) : 施設内におけるCO₂施用に関する研究 (3) . 奈良農試研報 22:65-72.

