

夏秋期イチゴの結実不良に関する研究

(課題番号：13660021)

平成13年度～平成14年度科学研究費補助金(基盤研究(C)(2))

研究成果報告書

2003年(平成15年5月)

研究代表者 藤重 宣昭

(宇都宮大学農学部助教授)

わが国におけるイチゴ果実の需要は周年である。しかるに需要を満たすに十分な供給がされているとは必ずしもいえない。特に7～10月の夏秋期の生産は少なく、輸入に大きく依存している。夏秋期の果実生産方式を考えると、一つは四季成り品種などの特定品種を用いて、その時期だけの収穫を目的とする栽培が、他の方法としては同一品種を用いて周年生産し、夏秋期生産はその中における一時期の生産であると位置づける栽培が考えられる。研究代表者が開発した品種およびその次世代品種では、後者の方式が可能である。いずれの場合においても、夏秋期が高温であるので、開花の連続性と果実肥大の確保を図る必要がある。前者の開花の連続性はほぼ確立してきている。後者の果実肥大の改善はまだ不十分であり、ここでは夏期の高温下で開花を継続させたときに起こる果実の商品化率の低下の実態を調査し、不良花・果の分類を行い、その発生要因を栄養上のトラブルとして検討を加える。

従来、高温期の結実不良の研究は稔性障害に関して行われたものが多く、いわゆる障害型高温害であり、短期間の異常に高い温度遭遇による不稔性に関する研究例が多い。イチゴの奇形果の発生についても同様である。しかし近年の施設栽培の高度化に伴い、自動化や施設の大型化、異常温度への警報、安全装置の設置などが行われ、このタイプの障害の発生割合は少なくなっていると思われる。他方、長期間のマイルドな高温による障害、いわゆる遅延型高温害と呼ぶべきタイプの障害に関する研究は不十分である。施設栽培は秋冬期から春夏期へと連続し、環境は低温弱日照から高温強日照へと、劇的に変化する。越冬栽培してきた果菜類はこの高温期に作付けの交代がなされ、遅延型高温害は存在しても、問題としては浮上しにくいことであり、夏にも継続して収穫しようとする周年栽培の試みにおいて初めて課題になるものであろう。高温強日照下の成育は栄養上の不均衡やストレスあるいは低栄養状態の継続などが深く関係するものと思われる。障害要因も単一でなく複合されていると思われる。

このような課題の解明は高温環境下の栽培を安定させる技術を開発する上で重要である。これらの現象を誘発する背景には、光合成産物の生産量とシンク器官間の競合があると考えられる。長期の高温強日照下における温帯性果菜においては、このような観点からの研究はない。そこで本研究では、以下のことについて検討することにした。

1. 夏期の高温下で開花を連続させるために必要な処理条件。
2. 夏期の高温下で開花を連続させたときに生じる結実不良果実の発生要因の検討。
3. 昼夜温度を制御した環境下で安定的に花成し得る温度範囲と結実に及ぼす影響。
4. 昼夜温度を制御した環境下で葉のクロロフィル蛍光を測定し、光合成活性と高温障害との関係を検討し、炭酸ガス施用が結実の改善に及ぼす影響を検討。

これまでの研究では、まだ十分な改善策を示すまでには至らないが、得られた結果を報告し、今後さらに研究を進めて行くつもりである。

1 研究組織

研究代表者

藤重宣昭 宇都宮大学農学部助教授

研究分担者

山根健治 宇都宮大学農学部助教授

2 研究経費

平成13年度 2500千円

平成14年度 600千円

計 3100千円

3 研究発表

・Fujishige. N. , H. Suga. , T. Oohashi and K. Yamane, 2001. Achene developemnt on the berry of strawberry fruited in summer.

HortScience 36(3): 593.

・藤重宣昭. 2003. 夏秋どり品種といわれる‘雷峰’を作ってみたい. 松田・森下編著. 「イチゴQ&A 栽培技術早わかり」 pp.61-62. 全国農業改良普及協会 2003.

目次

第1章	夜冷短日処理期間が開花の連続性におよぼす影響	1
第2章	夜冷短日処理で誘導された花粉稔性およびそう果発育	4
2-1	花粉の稔性	4
2-2	胚の発達	5
第3章	イチゴ品種‘雷峰’の花芽形成と果実生産に及ぼす昼/夜気 温の影響	8
3-1	2年株	8
3-2	1年株	12
第4章	高温条件下における光合成活性の低下と結実改善	15
4-1	昼夜温度条件が光合成活性に及ぼす影響	15
4-2	高温条件下における炭酸ガス施用が果実品質に 及ぼす影響	20

第1章 夜冷短日処理期間が開花の連続性におよぼす影響

イチゴ品種‘雷峰’は日本において周年で果実が供給される数少ない品種である。この品種はカリフォルニアで育成された中性品種の実生に短日品種を2世代交配して選抜された(藤重ら、2000)。短日品種では花芽分化に短日・低温の分化誘導条件が必要である。しかし、中性品種における花芽分化は日長の影響を受けないとされ、その特性は単一主動優性遺伝子に支配される(Ahmadi et al, 1990)。この特性が発揮されるのは、ある特定の温度範囲内であり、高温では発生花房数が減少するとし、Durnerら(1984)は昼/夜気温が30/26℃以上では花芽分化誘導を阻害する可能性があるとして報告した。日本における夏季の環境下では、‘雷峰’の開花は完全には継続しない。短日品種であっても、促成栽培では栽培前および栽培中に発育相を変換させるほどの低温に遭遇していないので、夏まではあたかも四季咲性であるように開花が継続する。しかしこれも高温環境下では花芽分化が継続できない。これまでの研究で、促成栽培したイチゴ株を7月に短日と夜間低温処理を4週間行くと、9月上旬に開花を始め、あたかも四季咲性のような開花習性を示すことが明らかになっている(未発表)。しかし、この時期の好適な夜冷短日処理期間については未だ検討していない。そこで、夜冷短日処理を4週間と6週間とに設定して比較した。

材料および方法

品種は‘雷峰’を用い、高設の養液栽培で促成作型を継続している2年株を用いた。

栽培中の高設ベッドを丸ごと夜冷短日の処理とした。短日処理は、PM5:30からAM8:30までを暗期とし、遮光シート(テクミラー2000、日本ウエーブロック)で作製した大型トンネル(1.8×1.0×18.0m)を巻き上げ機(くるっ子M100、誠和)で開閉をすることで行った。夜間冷却は条間に設置したポリエチレンチューブ(折径145mm)に井戸水を通す方式で行った。夜冷短日処理の期間は4週間と6週間の2区とした。4週間処理は7月5日から8月2日、6週間処理は7月5日から8月16日までとした。

1番目に開花した小花の開花日を花房開花日とし、処理終了後に開花してくる花房を第1花房とし、その後開花するものを第2花房として調査した。したがって、ランナー子株から開花した花房順位からすると7~9次花房に相当する。

結果および考察

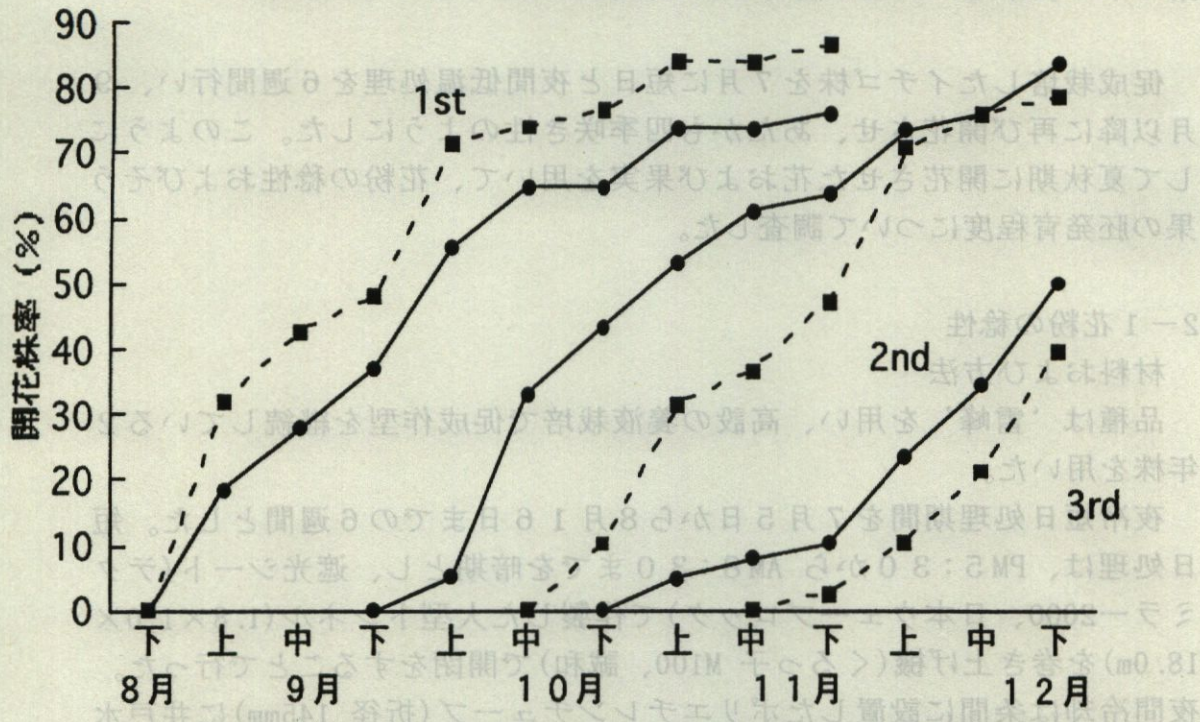
累積開花花房数の推移を第1図に示した。第1花房の開花は4週間処理区の方が6週間処理区よりも早くなった。第2花房および第3花房では6週間処理区の方が、4週間処理よりも開花が早まった。

7月末からの4週間および6週間の低温短日処理は、第1花房の開花を9月に誘導するのに有効であることが確認された。しかし処理期間の長さによって開花習性に違いがあった(第1図)。花芽分化後の花芽発達には、高温・長日条件が促進的に作用する(江口、1933)ことから、4週間処理では、夜冷短日処理終了後に遭遇する高温・長日条件が花芽の発達を促進させ、開花を早めたものと考えられる。一方、6週間処理では4週間の短日夜冷処理で花芽分化していながら、その後さらに継続して2週間の低温・短日処理を施したために、かえって花芽の発達が4週間処理より抑制されたものと考えられる。

第2花房の開花は、4週間処理では前年の結果で得られた無処理区の第1花房の開花時期と類似していた。このことから、4週間処理での第2花房の花芽分化は、花芽分化期が短日になる自然日長の条件下で分化したと考えられる。一方、6週間処理区では、4週間の夜冷短日処理終了後に継続して行った2週間の低温・短日期間によって、花芽分化をさらに進めるように促進的に作用したため、第2花房の分化が促進され、自然日長下で分化する時期よりも早くなったと考えられる。このことが第2花房の開花を4週間処理よりも早くすることになったと推定される。

第3花房の開花は、6週間処理区においては4週間処理区に比べると、わづかながら早くなったが、50%以上の開花花房率に達していなかったこともあり、不明確である。第3花房の開花揃いの時点では、両処理間には大きな差はないものと思われる。

開花の促進からすると4週間が望ましいが、開花した花の質からみると、6週間の方が優れている。また連続して次の花房を開花させるには、4週間処理では安定していない。したがって、4週間の処理の上に花芽の発達を遅らせることなく、かつ、良質な花芽を形成させるには光合成産物の供給が保証されながら、花芽の発達を緩やかに行わせる方策として、更なる2週間以上の短日によらない処理の方策が必要であろう。



第1図 4週間および6週間の夜冷短日処理が開花率に及ぼす影響

■ 4週間 ● 6週間

夜冷短日処理が開花に及ぼす影響を調査した。調査は5.00粒の3反で行った。その結果からすると、花芽の発生が促進され、開花率が向上した。特に11月の調査では、夜冷短日処理を受けたものは、対照に比べて開花率が10%以上高かった。これは、夜冷短日処理が、開花の促進に効果的であることを示している。

夜冷短日処理が開花に及ぼす影響を調査した。調査は5.00粒の3反で行った。その結果からすると、花芽の発生が促進され、開花率が向上した。特に11月の調査では、夜冷短日処理を受けたものは、対照に比べて開花率が10%以上高かった。これは、夜冷短日処理が、開花の促進に効果的であることを示している。

夜冷短日処理が開花に及ぼす影響を調査した。調査は5.00粒の3反で行った。その結果からすると、花芽の発生が促進され、開花率が向上した。特に11月の調査では、夜冷短日処理を受けたものは、対照に比べて開花率が10%以上高かった。これは、夜冷短日処理が、開花の促進に効果的であることを示している。

第2章 夜冷短日処理で誘導された花粉稔性およびそう果発育

促成栽培したイチゴ株を7月に短日と夜間低温処理を6週間行い、9月以降に再び開花させ、あたかも四季咲き性のようにした。このようにして夏秋期に開花させた花および果実を用いて、花粉の稔性およびそう果の胚発育程度について調査した。

2-1 花粉の稔性

材料および方法

品種は‘雷峰’を用い、高設の養液栽培で促成作型を継続している2年株を用いた。

夜冷短日処理期間を7月5日から8月16日までの6週間とした。短日処理は、PM5:30からAM8:30までを暗期とし、遮光シート(テクミラー2000、日本ウェーブロック)で作製した大型トンネル(1.8×1.0×18.0m)を巻き上げ機(くるっ子 M100、誠和)で開閉をすることで行った。夜間冷却は条間に設置したポリエチレンチューブ(折径 145mm)に井戸水を通す方式で行った。

花粉の稔性調査

7月下旬・9月中旬・9月下旬・12月上旬に対照区自然日長の開花直後の花から、葯を採取し、白熱灯下で開葯させた。花粉をカバーガラスの縁を使って寒天板(寒天 1.5%、ショ糖 10%)に置床し、20℃の明条件下で花粉発芽率を調査した。調査は500粒の3反復で行った。

結果および考察

花粉発芽率の調査結果を第1表に示した。9月中・下旬に採取した花粉発芽率は、15.7%および15.8%を示した。12月に採取した花粉の発芽率は、15.5%であり、9月採取の花粉発芽率が特別に低いということはない。この結果からすると、花粉の稔性低下が、夏秋期の奇形果発生の直接的な要因にはなっていないものと考えられる。しかし7月下旬の花粉発芽率は10.1%と9月の発芽率と比べ有意な差が認められた。高温条件下で花粉稔性が低下することも十分考えられるので、継続的な追跡調査が必要であろう。

花粉稔性に対する高温の影響は、開花前の花粉の発育過程に影響し、正常花粉を減少させるものと、開花後の授粉過程で影響を受けて、正常花粉であっても発芽等の不具合によって不受精を起こして、稔性低下を

引き起こすことが考えられる。今後、マイルドな高温であっても、長期にわたる遭遇時期が花粉稔性に及ぼす影響は、花粉形成期および花粉の発芽伸長期に分けて調査する必要がある。また受粉過程では温度以外に湿度などの環境条件も検討する必要がある。

第2—1表 花粉採取時期別における花粉発芽率

	7月下旬	9月中旬	9月下旬	12月上旬
花粉発芽率 (%)	10.1 a	15.7 b	15.8 b	15.5 b

ダンカンの多重検定 (同一文字は 1%レベルで有意でない)

2—2 胚の発達

材料および方法

品種は‘雷峰’を用い、高設の養液栽培で促成作型を継続している2年株を用いた。

夜冷短日処理期間を7月5日から8月16日までの6週間とした。短日処理は、PM5:30からAM8:30までを暗期とし、遮光シート(テクミラー2000、日本ウェーブロック)で作製した大型トンネル(1.8×1.0×18.0m)を巻き上げ機(くるっ子 M100、誠和)で開閉をすることで行った。夜間冷却は条間に設置したポリエチレンチューブ(折径 145mm)に井戸水を通す方式で行った。

そう果および胚の計測

そう果および胚の大きさを調査した。そう果をカミソリで縦切断し、そう果および胚の画像を CCD カメラ (Victor KY-F30) でパソコン (Macintosh) に取り込んだ。画像の解析はパソコン (Power Macintosh 7100/80AV) 上で、パブリックドメインソフトの NIH Image を用いて行った。

結果および考察

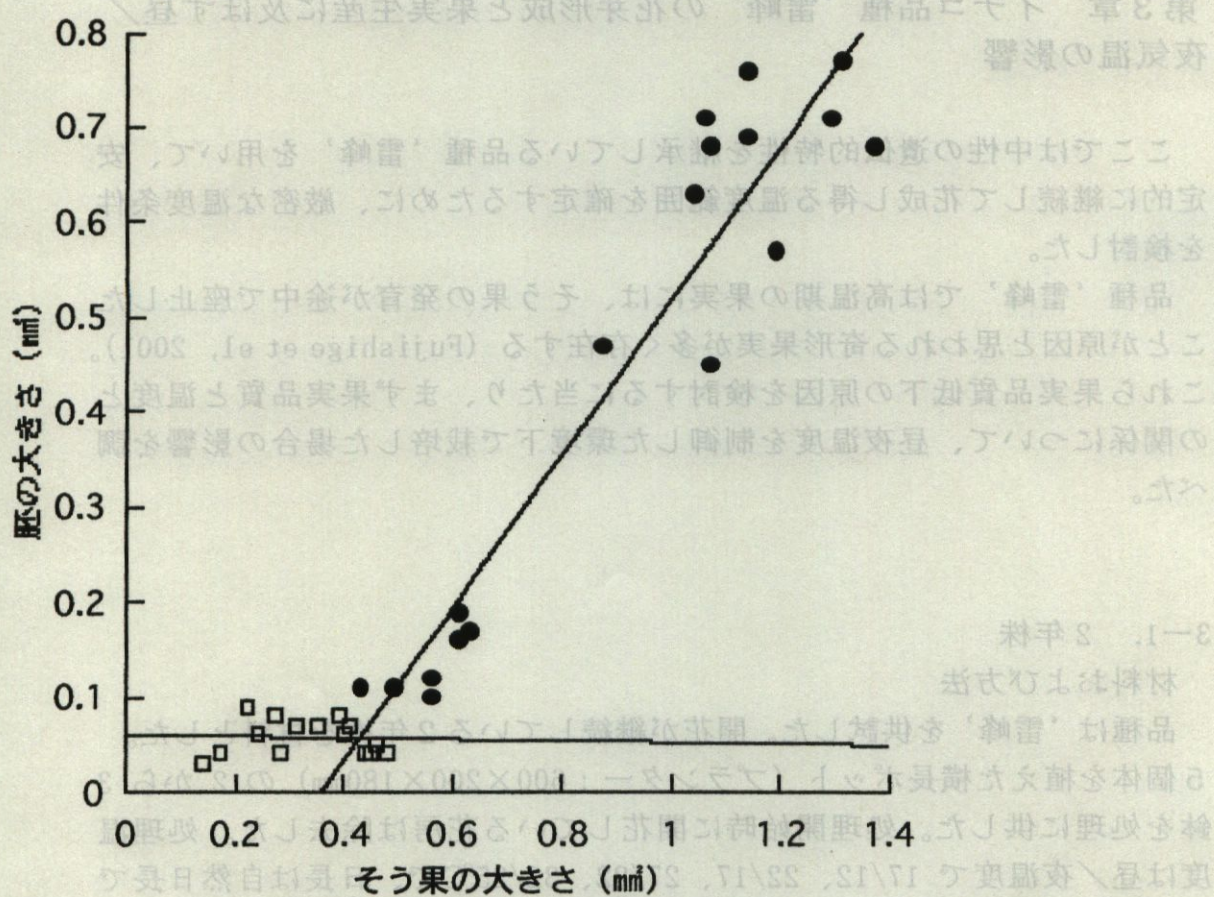
第1図に、そう果と胚の大きさの関係を示した。断面積が 0.1 mm^2 以下の極小の胚とみられる組織は、受精後の胚珠組織が受精直後の胚発育のきわめて早い段階で発育が停止したものと思われる。一方 0.4 mm^2 以上の胚はそう果の断面積の 85% を占め、十分に発育した胚と考えられる。この両者の間において胚が 0.1 mm^2 以上に肥大しているが、そう果自体の大きさは 0.4 mm^2 以上の胚をもつそう果に比べ小さいものがある。これらのそう果は受精後胚の発達が何らかの原因で停止したために生じた座止そう果と考えられる。

そう果と胚の大きさの関係から奇形果は、高温のため花粉の稔性が低下し発生する以外に、受精が正常に行われたが、受精後に胚の発達が停止した結果として、奇形果が発生する可能性が示唆された。

受精後の果托組織は胚の発育、そう果からのオーキシンの刺激により肥大が促進されることが知られている (Nitsch, 1950)。また、受精していない雌ずいが存在すると肥大抑制物質により果托組織は肥大しない事が知られている (Thompson, 1961)。夏秋期の奇形果は、果托組織が肥大し、奇形部位の胚もある程度まで発達していることから、途中で座止したそう果が肥大させるべき果托組織を肥大させることができなかつたために発生したと考えられる。胚の途中座止の原因については、夏秋期に発生が集中することから、高温ストレスが主な原因ではないかと考えられる。胚の発育途中に高温ストレスを受けると、トマトでは発育遅延や発育停止がおこるといふ報告もあり (塚本、1998)、本実験で発生した奇形果も、高温の影響によるものだと考えられる。

高温は草勢を低下させ、それによって胚を発達させる同化産物の不足を招いている可能性も考えられる。

今後の実験では、夏秋期の奇形果の発生要因をより明確にするため、高い草勢を維持する栽培管理をしながら、着果サイクルを検討した上で、胚の発達を経時的に調査し、高温との関係をより明確にすることが必要である。



第1図 そう果と胚の大きさの関係

□ 0.1mm以下の胚 ● 0.1mm以上の胚

果糖
開花は高温になるほど早く、停止したか、増大したか、
一定の数の胚に達すると開花が停止した。低温区(17.12℃)では開花が
止まるまで分岐が分岐した(図1第1章)。この分岐は分岐した(第1章)の
での薬数は、第2花房から第3花房間は、第2花房間は、第2花房間は、第2花房間は、
32.17℃区で3枝であり、27.22℃区と32.25℃区で3枝と6枝の半差であった(第1章)。
第2花房から開花までの日数(成日数)は、低温では、
大きく、17.12℃区では収穫に至るまで、果実の大きさは、
なる傾向が見られた。糖度も低温では、高糖度の傾向であった。
は、27.22℃区で正常果率が高くなり、22.17℃区では0%であった。

第3章 イチゴ品種‘雷峰’の花芽形成と果実生産に及ぼす昼／夜気温の影響

ここでは中性の遺伝的特性を継承している品種‘雷峰’を用いて、安定的に継続して花成し得る温度範囲を確定するために、厳密な温度条件を検討した。

品種‘雷峰’では高温期の果実には、そう果の発育が途中で座止したことが原因と思われる奇形果実が多く存在する (Fujishige et al, 2001)。これら果実品質低下の原因を検討するに当たり、まず果実品質と温度との関係について、昼夜温度を制御した環境下で栽培した場合の影響を調べた。

3-1. 2年株

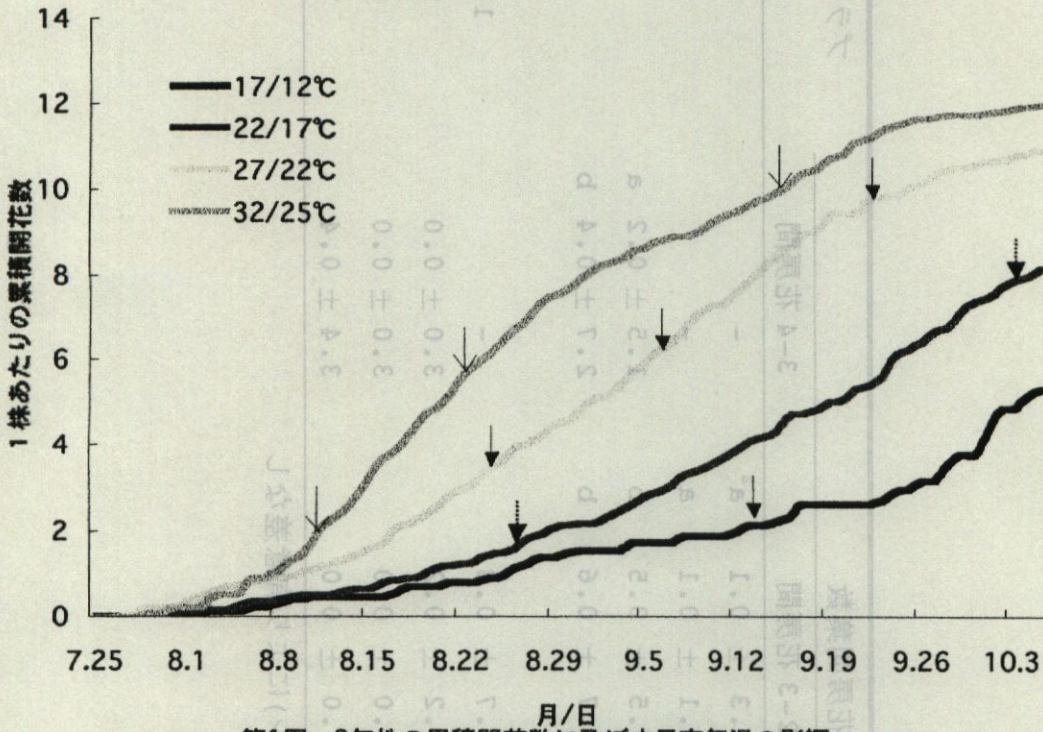
材料および方法

品種は‘雷峰’を供試した。開花が継続している2年株を材料とした。5個体を植えた横長ポット (プランター: 600×200×180mm) の2から3鉢を処理に供した。処理開始時に開花している花房は除去した。処理温度は昼／夜温度で 17/12、22/17、27/22、32/25℃で、日長は自然日長である。7月24日から2ヶ月以上の処理を行った。調査項目は、開花日、花房間葉数、果実収穫日 (収穫は完熟とし、果実部まで赤く色づいたとき)、果実の奇形程度 (0: 正常、1: 少し奇形、2: ほぼ奇形、3: 明らかな奇形、4: 極度の奇形)、果実新鮮重、果実糖度 (可溶性固形物含量) とした。糖度は屈折糖度計 (ATAGO (株)) で測定した。

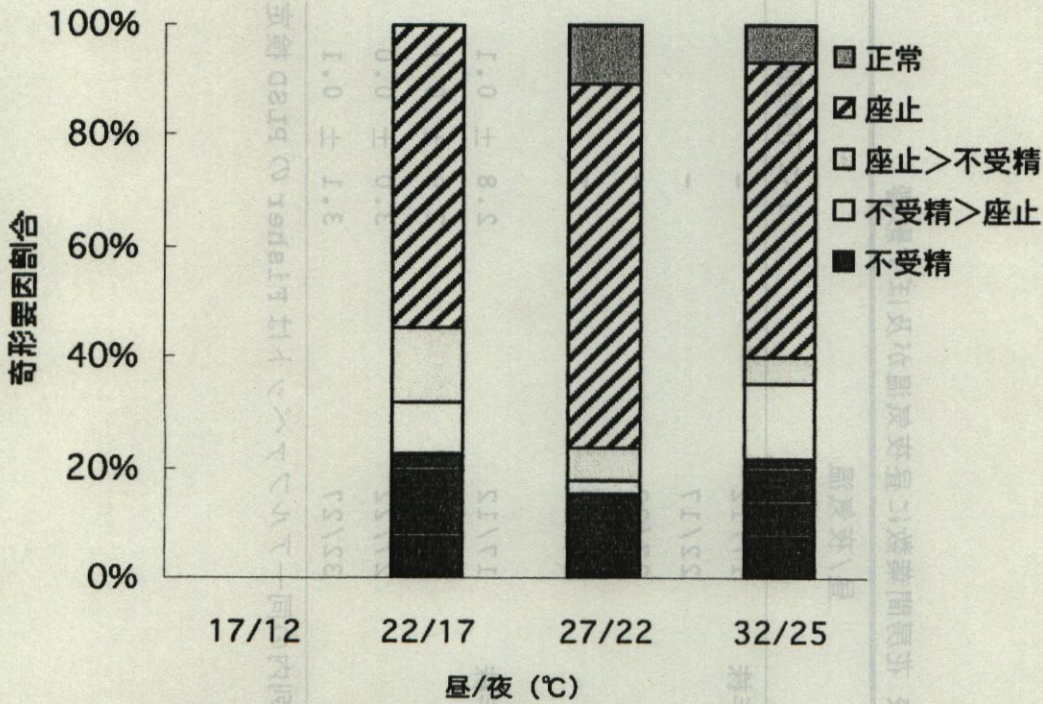
結果

開花は高温になるほど早くなり、増大したが、停止も早かった。開花数が一定の数に達すると開花が停滞した。低温区 (17/12℃) での開花は緩やかであったが、停滞せずに継続した (第1図)。次の花房が分化するまでの葉数である花房間葉数は、第2花房から第3花房間では 17/12℃区と 22/17℃区で3枚であり、27/22℃区と 32/25℃区で3枚と6枚が半数ずつであった (第1表)。

第2表より、開花から収穫までの日数 (成熟日数) は、低温であるほど大きくなり、17/12℃区では収穫に至らなかった。果実重は低温で大きくなる傾向が見られた。糖度も低温で高くなる傾向であった。果実の形状は、27/22℃区で正常果率が明らかに高く、22/17℃区では0%であった。



第1図 2年株の累積開花数に及ぼす昼夜気温の影響
図中の矢印は花房第1花の開花を示す



第2図 2年株の奇形要因に及ぼす昼夜気温の影響

第1表 花房間葉数に昼夜気温が及ぼす影響

	昼/夜気温 (°C)	花房間葉数			プラスチックロン (日)
		1-2 花房間	2-3 花房間	3-4 花房間	
2年株	17/12	-	3.3 ± 0.1 a ²	-	-
	22/17	-	3.1 ± 0.1 a	-	-
	27/22	-	4.5 ± 0.5 b	1.5 ± 0.2 a	-
	32/25	-	4.7 ± 0.6 b	2.7 ± 0.4 b	-
1年株	17/12	2.8 ± 0.1	2.7 ± 0.3	-	14.2 ± 1.0
	22/17	2.9 ± 0.1	3.2 ± 0.2	3.0 ± 0.0	9.5 ± 1.2
	27/22	3.0 ± 0.0	3.0 ± 0.0	3.0 ± 0.0	9.1 ± 2.0
	32/27	3.1 ± 0.1	3.0 ± 0.0	3.4 ± 0.4	7.2 ± 0.7

² 同一列内の同一アルファベットは Fisher の PLSD 検定 (5% レベル) により有意差なし

第2表 果実収量と品質に昼夜気温が及ぼす影響

	昼/夜気温 (°C)	成熟日数			果実重 (g)		糖度 (%)			奇形程度	
		平均	標準誤差	有意差	平均	標準誤差	平均	標準誤差	有意差	平均	標準誤差
2年株	17/12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	22/17	51.1 ± 1.3	1.3	c ^z	4.0 ± 0.4	0.4	b	11.3 ± 0.7	0.7	b	1.8 ± 0.2
	27/22	36.8 ± 0.5	0.5	b	4.1 ± 0.2	0.2	ab	10.8 ± 0.4	0.4	b	1.6 ± 0.1
	32/25	30.0 ± 0.3	0.3	a	3.5 ± 0.1	0.1	a	9.0 ± 0.2	0.2	a	2.3 ± 0.1
1年株	17/12	71.3 ± 3.0	3.0	d	6.3 ± 1.0	1.0		11.1 ± 0.8	0.8	c	2.3 ± 0.2
	22/17	41.9 ± 0.6	0.6	c	4.5 ± 0.3	0.3		9.1 ± 0.2	0.2	b	1.7 ± 0.1
	27/22	32.1 ± 0.7	0.7	b	4.0 ± 0.3	0.3		6.6 ± 0.2	0.2	a	1.5 ± 0.1
	32/27	26.1 ± 0.4	0.4	a	4.7 ± 0.3	0.3		7.3 ± 0.2	0.2	a	1.4 ± 0.1

^z同一列内の同一アルファベットはFisherのPLSD検定(5%レベル)により有意差なし

5g 以下の小果の割合は 27/22℃区で最も低かった。奇形果を種子発育の程度に着目して不受精と発育が途中で停止したと見られる座止種子に原因があるものに分類して両者の比率を求めたが、温度間に差は認められなかった(第2図)。

3—2. 1年株

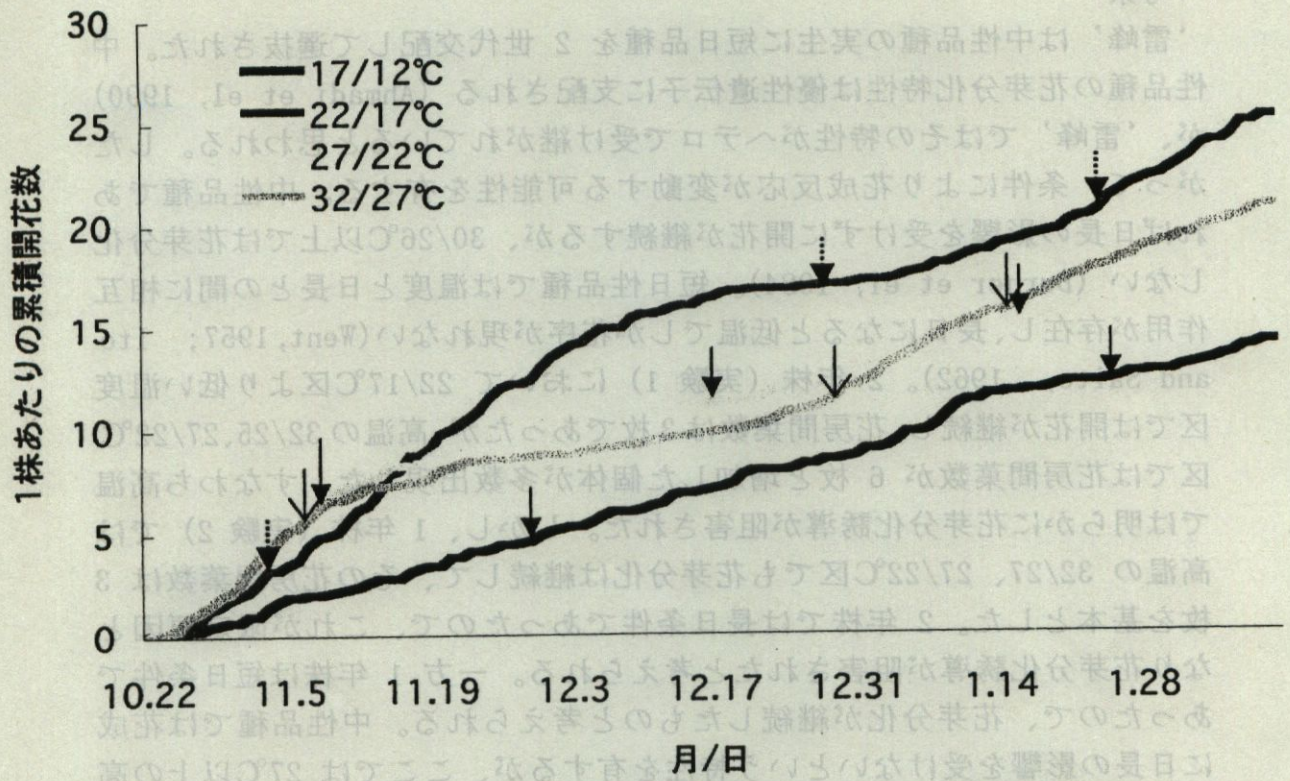
材料および方法

1年株を材料として用いた。黒色ポリポットで育苗し、8月15日から9月6日まで夜冷短日処理した苗を横長ポット(プランター: 600×200×180mm)に1鉢あたり5個体を定植した。第1花房第1花が開花した10月22日に温度調節ガラス室に移した。処理温度は昼/夜温度で17/12、22/17、27/22、32/27℃で自然日長とした。調査項目は2年株と同様である。

結果

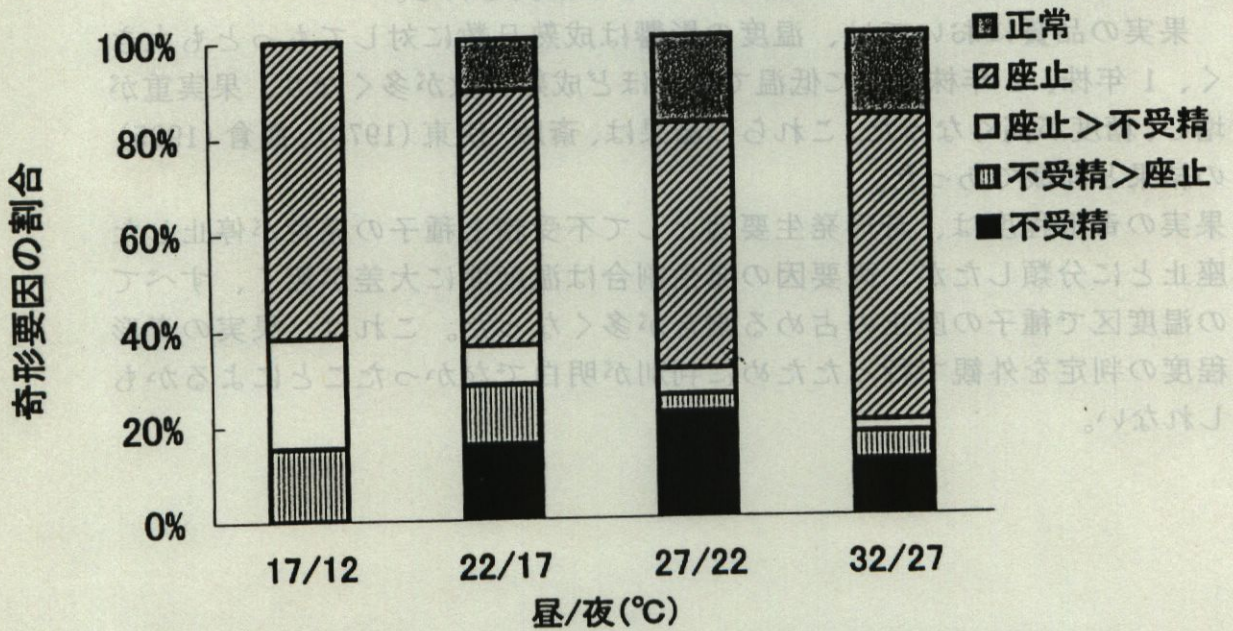
開花数の増加は、高温(32/27℃区)であるほど大きいという2年株の結果と同じ傾向を示した(第3図)。花房間葉数は各温度区で3枚となり温度間に差異はなかった。花房間葉数と開花日から葉一枚の展開速度であるプラストクロンを求めると、高温区では7日であるが、低温区(17/12℃)では14日となり1/2の値であった(第1表)。

第2表より、開花から収穫までの日数は、低温であるほど大きくなった。果実重は温度間における有意な差は認められなかった。果実の糖度は17/12℃区で最も高かった。果実の形状は17/12℃区で奇形程度が最も大であった。奇形果を要因別に不受精と座止種子に起因するとして両者の比率を求めたが、温度間に差は認められなかった(第4図)。



第3図 1年株の累積開花数に及ぼす昼夜気温の影響

図中の矢印は花房第1花の開花を示す



第4図 1年株の奇形要因に及ぼす昼夜気温の影響

考察

‘雷峰’は中性品種の実生に短日品種を2世代交配して選抜された。中性品種の花芽分化特性は優性遺伝子に支配される (Ahmadi et al, 1990) が、‘雷峰’ではその特性がヘテロで受け継がれていると思われる。したがって、条件により花成反応が変動する可能性を有する。中性品種であれば日長の影響を受けずに開花が継続するが、30/26°C以上では花芽分化しない (Durner et al, 1984)。短日性品種では温度と日長との間に相互作用が存在し、長日になると低温でしか花序が現れない (Went, 1957; Ito and Saito, 1962)。2年株 (実験1) において 22/17°C区より低い温度区では開花が継続し、花房間葉数は3枚であったが、高温の 32/25、27/22°C区では花房間葉数が6枚と増加した個体が多数出現した。すなわち高温では明らかに花芽分化誘導が阻害された。しかし、1年株 (実験2) では高温の 32/27、27/22°C区でも花芽分化は継続して、その花房間葉数は3枚を基本とした。2年株では長日条件であったので、これが限定要因となり花芽分化誘導が阻害されたと考えられる。一方1年株は短日条件であったので、花芽分化が継続したものと考えられる。中性品種では花成に日長の影響を受けないという特性を有するが、ここでは27°C以上の高温であるので花芽分化しないはずである。これは Durner ら (1984) の 30/26°C以上では花芽分化しないという報告とは一致していない。つまり、‘雷峰’は高温条件では短日植物であるか、あるいは花芽分化誘導を阻害する温度の限界が高い中性植物であると推測される。

果実の品質においては、温度の影響は成熟日数に対してもっとも大きく、1年株、2年株ともに低温であるほど成熟日数が多くなり、果実重が増し、糖度が高くなった。これらの結果は、斎藤・伊東 (1970)、熊倉 (1995) の結果と同様であった。

果実の奇形程度は、奇形発生要因として不受精と種子の発育が停止した座止とに分類したが、両要因の発生割合は温度間に大差が無く、すべての温度区で種子の座止の占める割合が多くなった。これは、果実の奇形程度の判定を外観で行ったために判別が明白でなかったことによるかもしれない。

第4章 高温条件下における光合成活性の低下と結実改善

夏秋期の高温条件下で生じる結実不良果実において、そう果の発育不全が大きな要因であるらしいことを、第2章および第3章の結果から推定した。この場合、胚発育が途中で座止すると思われる。座止が第一義的に光合成産物の供給不足に起因するのであれば、光合成機能の低下が推定される。またその改善策としては高炭酸ガス環境にして炭酸ガス固定速度を高くする方策が有効と推定される。ここでは、クロロフィル蛍光の測定から光合成活性と検討し、炭酸ガス施用が果実形質を高められるか検討した。

4-1 昼夜温度条件が光合成活性に及ぼす影響

光化学系Ⅱに關与するクロロフィルに吸収された光エネルギーは、電子伝達反応に使用されない場合、蛍光または熱として放出される。蛍光量を測定することにより、すなわち F_v/F_m を求めると、この値は吸収した光量子あたりの炭酸ガス固定速度である量子収率と相関が高いことから、光合成活性を知ることができる。正常であれば、量子収率は0.8~0.83の値であるが、高温などの環境ストレスにあうと量子収率が下がることが報告されている。また光化学系Ⅱが吸収した光量子あたりの電子伝達量は $\Phi PS II$ と表示される。

材料および方法

品種は‘雷峰’を用いた。

開花が継続している2年株を材料とした。5個体を植えた横長ポット(プランター: 600×200×180mm)、2から3鉢を処理に供した。処理開始時に開花している花房は除去した。7月24日に温度調節ガラス室に移した。処理温度は昼/夜温度で17/12、22/17、27/22、32/25、37/25℃で、日長は自然日長である。処理開始から15日目の8月8日に、搬入時の最新展開葉と処理開始後に展開した葉のクロロフィル蛍光と葉色を測定した。クロロフィル蛍光は携帯型クロロフィル蛍光測定装置(FMS2, Hansatech Instruments(株))を用いて、葉色はSPAD計(502, ミノルタ(株))を用いて測定した。

結果

葉色を示す SPAD 値は第 5 図より、温度区搬入時の最新展開葉では、高温と低温で高く、濃緑色であった。また処理開始後に展開した葉では 17/12℃区を除き、高温ほど高かった。温度区搬入時の最新展開葉で F_v/F_m は、37/25℃区と 27/22℃区で低かった。 $\Phi PS II$ は低温と高温で低く、27/22℃区で高かった(第 6 図)。処理開始後に展開した葉では、 F_v/F_m は 37/25℃区で最も低く、22/17 度において高かった。 $\Phi PS II$ は高温と低温で低かった(第 7 図)。

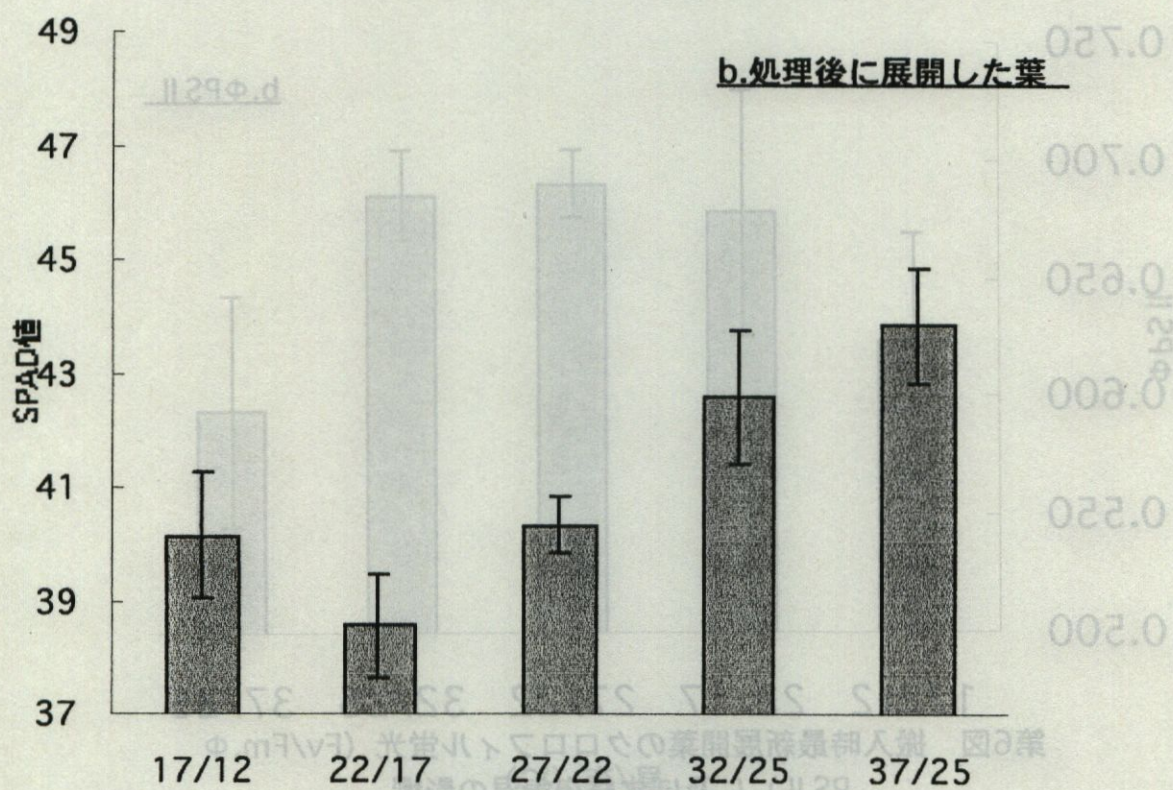
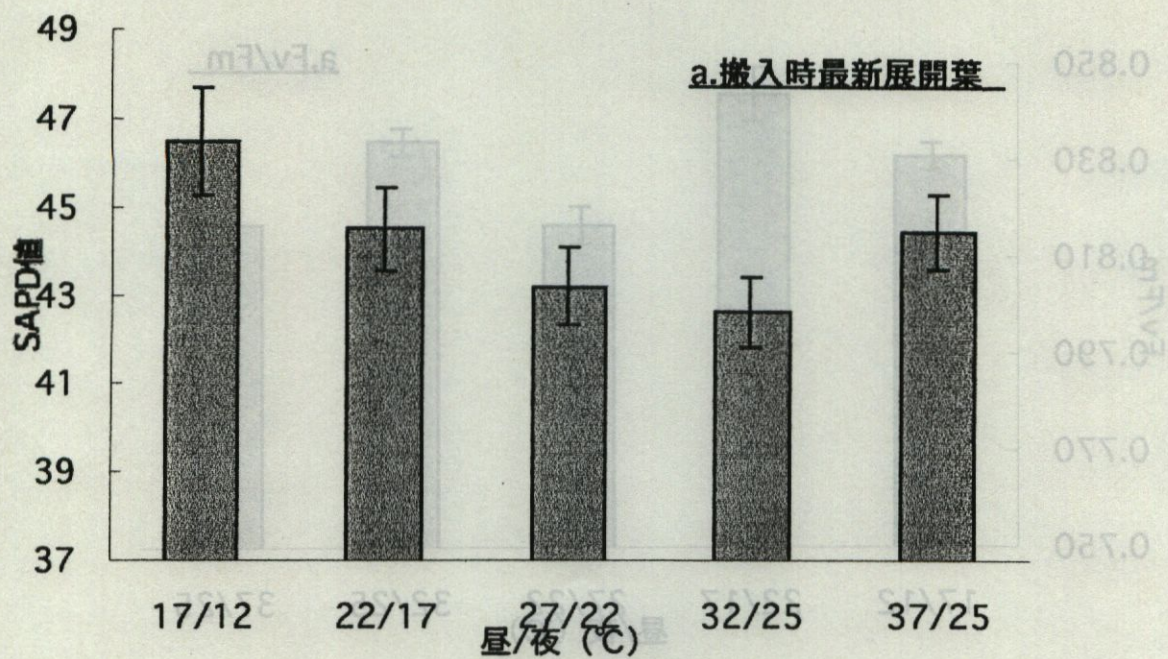
1-1 温度区搬入時の最新展開葉の SPAD 値と F_v/F_m と $\Phi PS II$ の関係

SPAD 値は、葉の緑色の濃さを示す指標であり、SPAD 値が高くなるほど葉の緑色が濃くなる。本研究では、SPAD 値を測定するために、分光放射計を用いて測定した。また、 F_v/F_m は、葉の光合成能力を示す指標であり、 F_v/F_m が低いほど葉の光合成能力が低いことを示す。本研究では、 F_v/F_m を測定するために、分光放射計を用いて測定した。また、 $\Phi PS II$ は、葉の光合成能力を示す指標であり、 $\Phi PS II$ が低いほど葉の光合成能力が低いことを示す。本研究では、 $\Phi PS II$ を測定するために、分光放射計を用いて測定した。

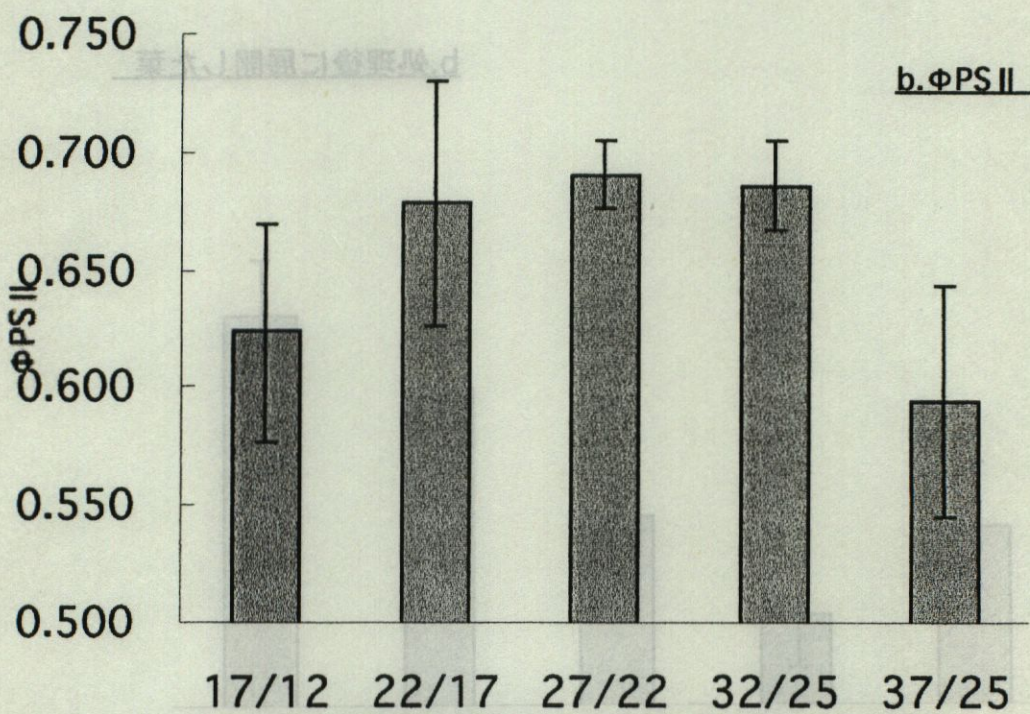
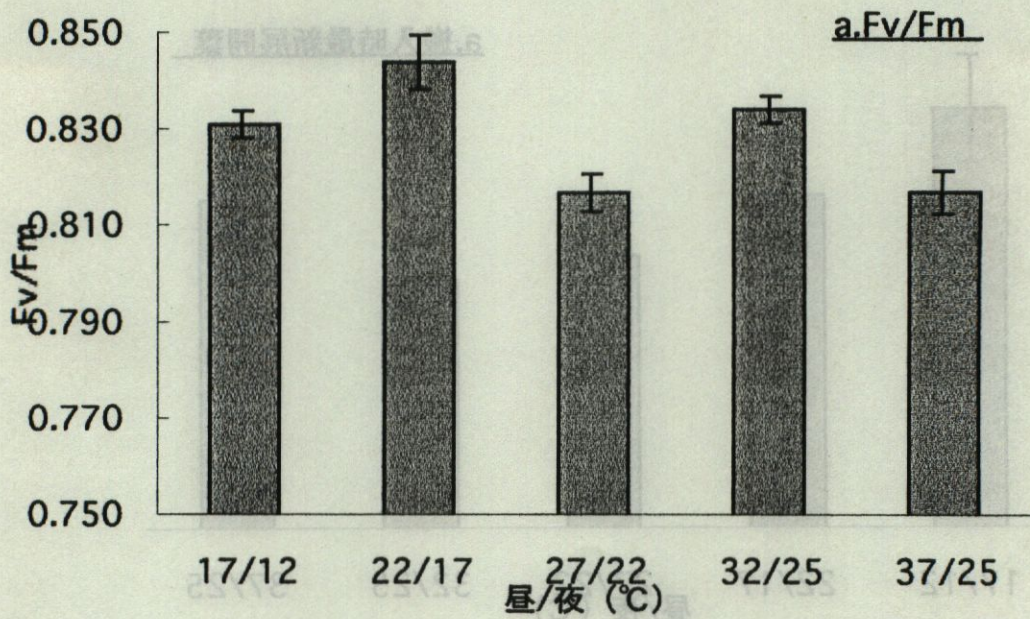
1-2 温度区搬入時の最新展開葉の SPAD 値と F_v/F_m と $\Phi PS II$ の関係

SPAD 値は、葉の緑色の濃さを示す指標であり、SPAD 値が高くなるほど葉の緑色が濃くなる。本研究では、SPAD 値を測定するために、分光放射計を用いて測定した。

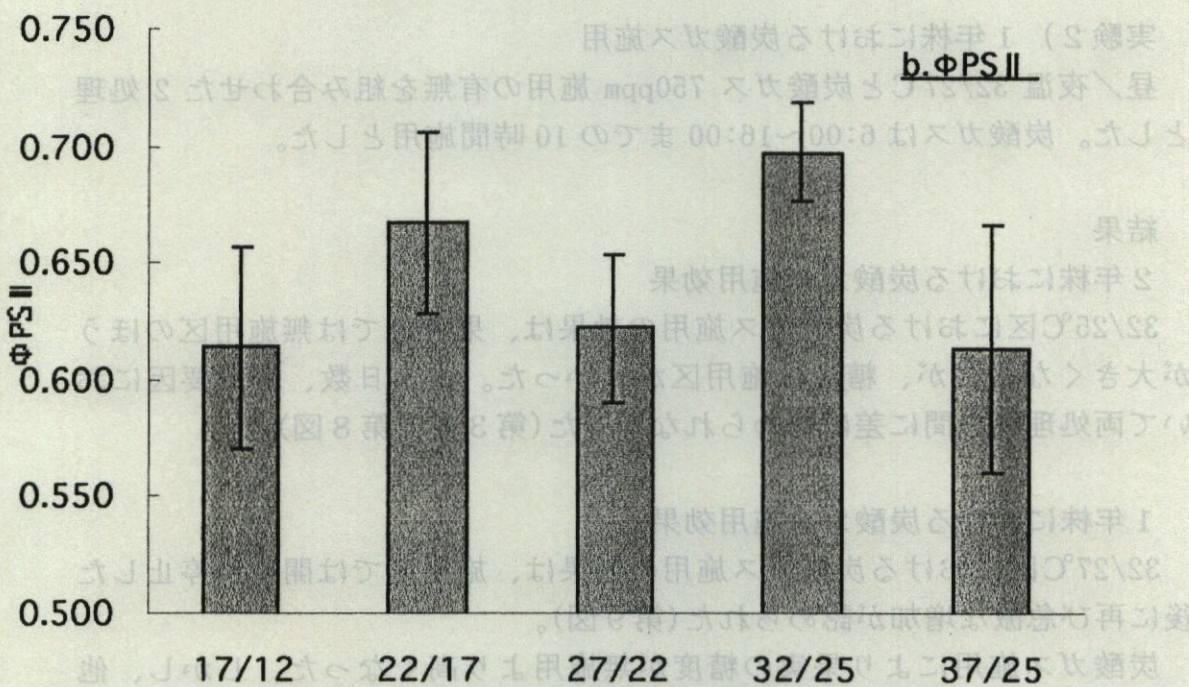
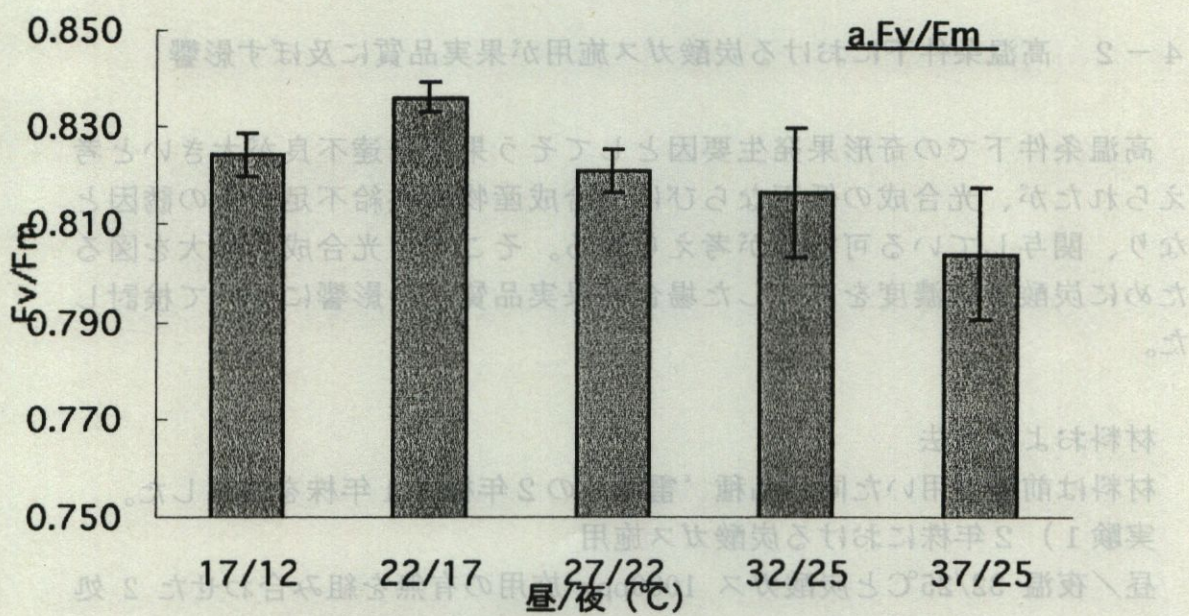
本研究では、SPAD 値を測定するために、分光放射計を用いて測定した。また、 F_v/F_m は、葉の光合成能力を示す指標であり、 F_v/F_m が低いほど葉の光合成能力が低いことを示す。本研究では、 F_v/F_m を測定するために、分光放射計を用いて測定した。また、 $\Phi PS II$ は、葉の光合成能力を示す指標であり、 $\Phi PS II$ が低いほど葉の光合成能力が低いことを示す。本研究では、 $\Phi PS II$ を測定するために、分光放射計を用いて測定した。



第5図 SPAD値に及ぼす昼夜気温の影響



第6図 搬入時最新展開葉のクロロフィル蛍光 (F_v/F_m , Φ_{PSII}) に及ぼす昼夜気温の影響



第7図 処理開始後に展開葉/苞葉のクロロフィル蛍光 (F_v/F_m , Φ_{PSII}) に及ぼす昼夜気温の影響

4-2 高温条件下における炭酸ガス施用が果実品質に及ぼす影響

高温条件下での奇形果発生要因としてそう果の発達不良が大きいと考えられたが、光合成の低下ならびに光合成産物の供給不足がその誘因となり、関与している可能性が考えられる。そこで、光合成の増大を図るために炭酸ガス濃度を高くした場合の果実品質への影響について検討した。

材料および方法

材料は前節で用いた同じ品種‘雷峰’の2年株と1年株を使用した。

実験1) 2年株における炭酸ガス施用

昼/夜温 32/25℃と炭酸ガス 1000ppm 施用の有無を組み合わせた2処理とした。炭酸ガスは昼夜 1000ppm 一定の高炭酸ガス環境とした。

実験2) 1年株における炭酸ガス施用

昼/夜温 32/27℃と炭酸ガス 750ppm 施用の有無を組み合わせた2処理とした。炭酸ガスは6:00~16:00までの10時間施用とした。

結果

2年株における炭酸ガス施用効果

32/25℃区における炭酸ガス施用の効果は、果実重では無施用区のほうが大きくなったが、糖度は施用区が高かった。成熟日数、奇形要因において両処理区の間には差は認められなかった(第3表、第8図)。

1年株における炭酸ガス施用効果

32/27℃区における炭酸ガス施用の効果は、施用区では開花が停止した後に再び急激な増加が認められた(第9図)。

炭酸ガス施用により果実の糖度が無施用より高くなった。しかし、他の成熟日数、奇形要因、小果率では差異はなかった(第3表、第10図)。座止による奇形果発生割合が有意に少なくなった(第4表)。

第3表 果実収量と品質に高気温下でのCO₂施用が及ぼす影響

	昼/夜気温 (°C)	CO ₂ 施用	成熟日数	果実重			糖度			奇形程度
				(g)			(%)			
2年株	32/25	無	30.0 ± 0.3	3.5 ± 0.1	b ²	9.0 ± 0.2	a	2.3 ± 0.1		
	32/25	有	29.6 ± 0.4	3.0 ± 0.1	a	10.3 ± 0.2	b	2.4 ± 0.1		
1年株	32/27	無	26.1 ± 0.4	4.7 ± 0.3		7.3 ± 0.2	a	1.4 ± 0.1		
	32/27	有	27.0 ± 0.4	4.7 ± 0.2		8.8 ± 0.2	b	1.5 ± 0.1		

²同一列内の同一アルファベットはFisherのPLSD検定(5%レベル)により有意差なし

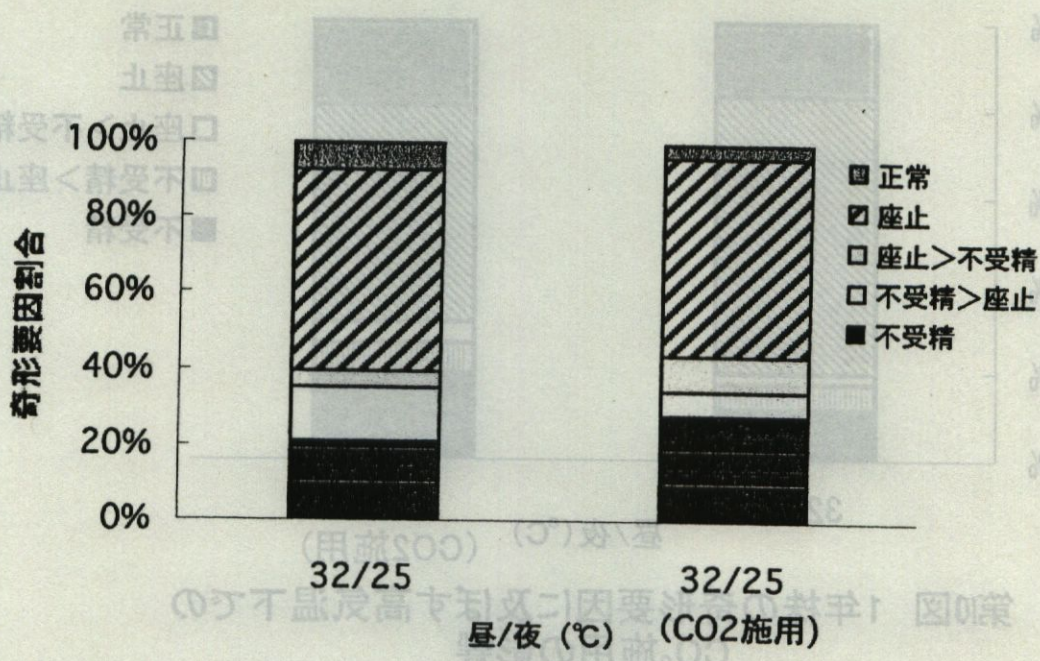
第4表 高気温下における奇形果発生数にCO₂施用が及ぼす影響

	昼/夜気温 (°C)	CO ₂ 施用	奇形要因別分類				奇形果計
			座止	座止>不受精 ^y	不受精>座止 ^z	不受精	
2年株	32/25	無	79 (48) ^x	7 (3)	20 (16)	32 (16)	138 (83)
	32/25	有	91 (54)	16 (10)	11 (7)	49 (26)	167 (96)
1年株	32/27	無	55 (64)	2 (2)	5 (5)	10 (13)	72 (83)
	32/27	有	51 (43)	5 (5)	7 (6)	20 (21)	83 (74)

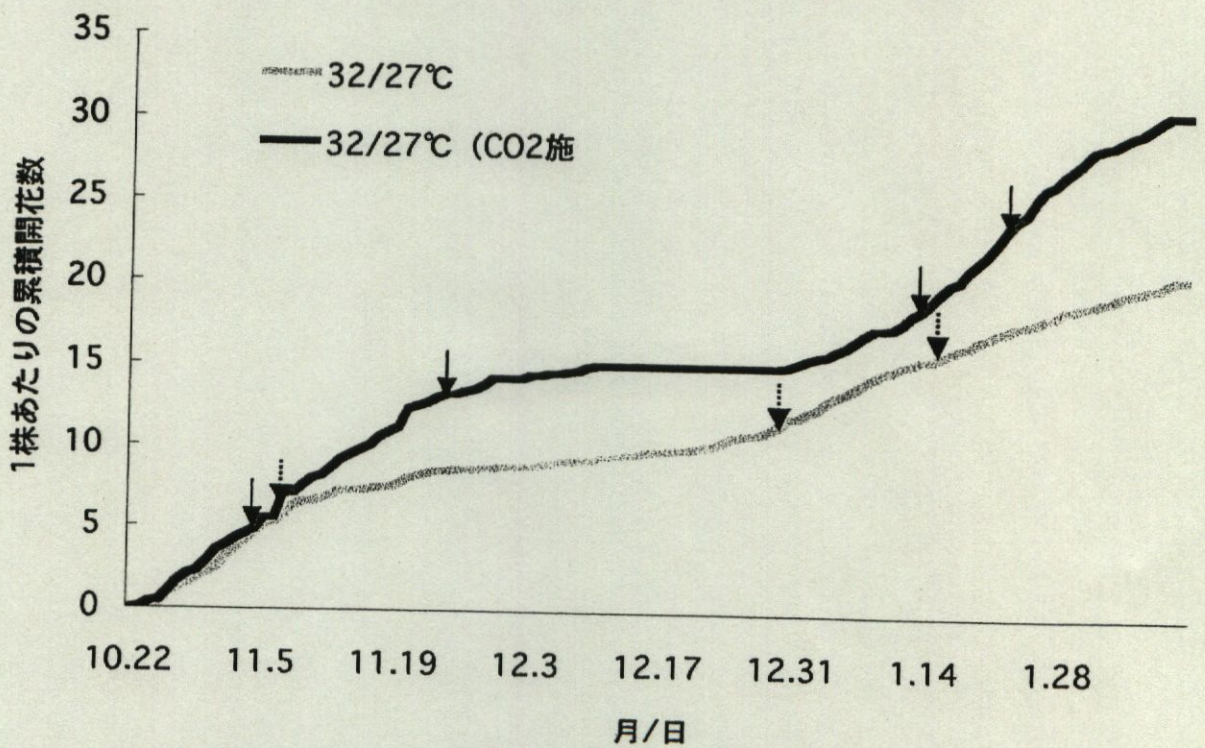
^xカッコ内は処理区内の全収穫数に対する%割合を示す

^y座止>不受精：奇形に対して座止の影響が大きい果実

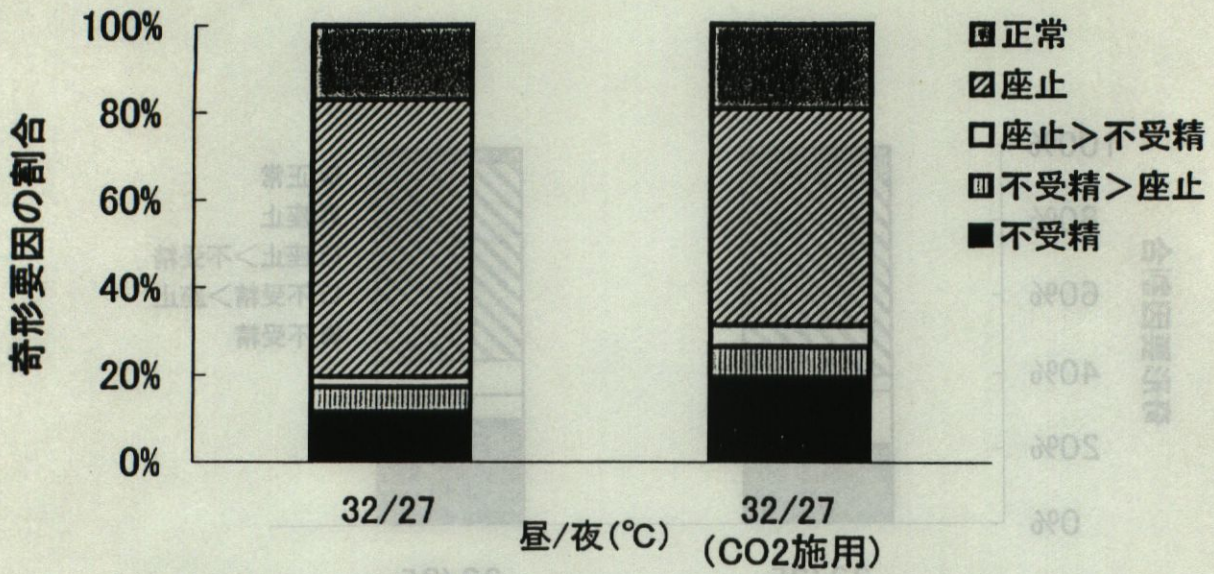
^z不受精>座止：奇形に対して不受精の影響が大きい果実



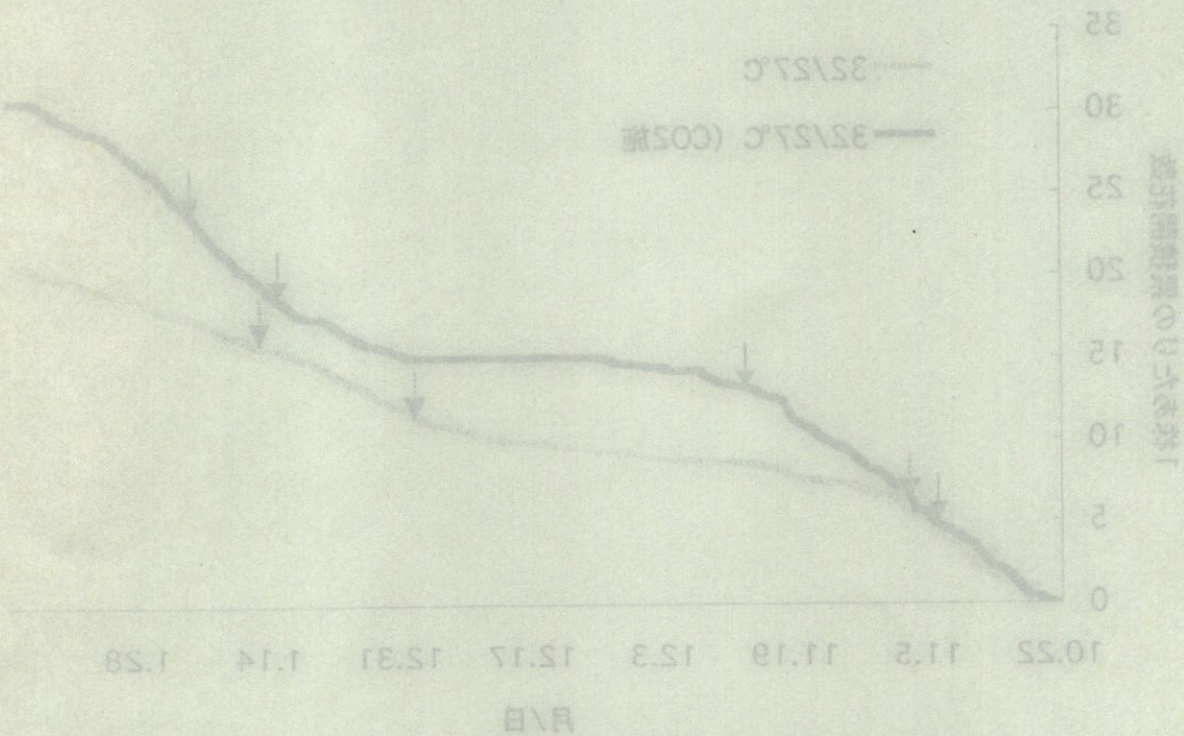
第8図 2年株の奇形要因に及ぼす高気温下でのCO₂施用の影響



第9図 1年株の累積開花数に及ぼす高気温下でのCO₂施用の影響
 図中の矢印は花房第1花の開花を示す



第10図 1年株の奇形要因に及ぼす高気温下でのCO₂施用の影響



第11図 1年株の奇形要因に及ぼす高気温下でのCO₂施用の影響

考察

37/25°Cという高温区においては、クロロフィル蛍光の測定で F_v/F_m の低下、 $\Phi PS II$ の低下があり、光合成活性が低下したと考えられた。クロロフィル蛍光の低下は光化学系 II の低下を示し、その低下は CO_2 の同化減少を導く。そこで炭酸ガスを施用することにより CO_2 の濃度を上昇させ、同化速度を上げることがを試みた。川島 (1991) は、高温下での炭酸ガス施用により収穫果数と平均果重の増加を報告している。本実験では炭酸ガス施用により、光合成が増加し、果実の肥大を増加させ、種子の発育が途中で停止したことに起因する奇形果の発生が少なくなることを期待した。しかし、炭酸ガス施用による奇形果の発生を減少させる明瞭な効果を得ることは出来なかった。トウモロコシ雌穂の先端不稔はでは胚発育への光合成産物の転流不足が指摘されたが (荻原ら 1994)、イチゴ果実の高温下での奇形の発生要因となるそう果座止は果実の肥大過程にあるのではなく、胚の形成過程に問題があるのかもしれない。森 (1998) は高温下では雌しべの形成数が少なくなることを報告している。このことは高温では雌しべの発育程度が不十分であることを推察させる。今後は顕微鏡下での胚形成追跡調査を行い、奇形果実の発生要因を追求する必要があるだろう。

また、炭酸ガス施用により 2 年株、1 年株ともに果実の糖度が上昇した。処理時間が長期に経過するにつれ、果実重が増加する傾向が認められたので、長期にわたる処理の効果も検討する必要があるだろう。

引用文献

- Ahmadi, H., R. S. Bringham and V. Voth. 1990. Modes of inheritance of photoperiodism in *Fragaria*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 115(1): 146-152.
- Durner, E. F., J. A. Barden, D. G. Himelrick and E. B. Poling. 1984. Photoperiod and temperature effects on flower and runner development in day-neutral, Junebearing, and everbearing strawberries. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 109(3): 396-400.
- 江口泰雄・大塚耕二. 1933. 日照時間の長短と花芽分化期との関係に就て. 園学雑. 4 : 16-23.
- 藤重宣昭・市川 清. 2000. 日本の名品種 雷峰—周年出荷が可能な品種 イチゴセミナー紀要 9 : 93-95.
- Fujishige, N., H. Suga., T. Oohashi and K. Yamane, 2001. Achene development on the berry of strawberry fruited in summer. HortScience 36(3): 593.
- Ito, H. and T. Saito. 1962. Studies on the flower formation in the strawberry plants. I. Effects of temperature and photoperiod on the flower formation. Tohoku Jour. Agr. Res. 13: 191-203.
- 川島信彦. 1991. 施設内における CO₂ 施用に関する研究. (第 3 報) イチゴの生育に対する効果. 奈良農試研報 22: 65-72.
- 熊倉裕史. 1995. 寒冷地におけるイチゴの生理生態的特性解明と夏秋期生産技術確立に関する研究. 神戸大学博士論文
- 森利樹. 1998. 花芽形成期の温度がイチゴ果実のそう果数と果重に及ぼす影響. 園学雑. 67 (3) : 396 - 399.
- 荻原勲・志村勲・石原邦. 1994. スイートコーンの雌穂先端部における發育不良粒の發生要因について. 園学雑. 63 (2) : 363 - 369.
- 荻原勲・志村勲・石原邦. 1994. スイートコーンの雌穂先端部における發育不良粒の形態. 園学雑. 63 (2) : 353 - 361.
- Nitsch, J. P. 1950. Growth and morphogenesis of the strawberry as related to auxin. Amer. Jour. Bot. 37:211-215.
- 斎藤隆・伊東秀夫. 1970. イチゴ果実の發育に関する研究. (第 1 報) 果実の發育過程ならびに花の發育と果実の發育との関係. 園学要旨. 昭 45 春 : 176-177.
- Thompson, P. A. 1961. Evidence for a factor which prevents the development of parthenocarpic fruits in the strawberry. J. Exp. Bot. 12:199-206.
- 塚本忠士. 1998. 高温期におけるトマトの開花・結実生理とツルマルハナバチ利用技術. 施設園芸 : 38-42.
- ウエント 1957. 植物の生長と環境 (和田潔・富田豊雄共訳). p.55-66. 朝倉書店. 東京.