

暖地における甘果オウトウの結実性に関する
形態学および生理学的研究

2000

別府 賢治

目次

緒言	1
第1章 暖地における甘果オウトウの花芽形成と二雌ずい花の発生の様相	4
第1節 暖地における花芽分化の時期と環境	5
第1項 暖地における主要品種の花芽分化の時期と環境	5
第2項 気候条件の異なる地域間での花芽分化時期の比較	10
第2節 暖地における二雌ずい花の発生の実態	12
第1項 二雌ずい花の発生頻度の品種間差異	12
第2項 結果母枝の樹冠位置および短果枝の伸長方向が二雌ずい花の発生に及ぼす影響	12
第3項 二雌ずい花の発生頻度の年次変動	14
第4項 気候条件の異なる地域間での二雌ずい花の発生頻度の比較	16
第3節 考察	16
第4節 摘要	20
第2章 甘果オウトウの花芽形成と二雌ずい花の発生に係わる要因	21
第1節 温度環境が花芽形成と二雌ずい花の発生に及ぼす影響	21
第1項 夏季の気温が‘佐藤錦’の花芽分化の進行と二雌ずい花の発生に及ぼす影響	21
第2項 ‘佐藤錦’、‘高砂’および‘ナポレオン’における二雌ずい花の発生の温度条件の比較	23
第3項 花芽形成の異なる段階における高温処理が二雌ずい花の発生に及ぼす影響	26
第2節 土壌湿度が二雌ずい花の発生に及ぼす影響	28
第1項 異なる温度条件下における二雌ずい花の発生に及ぼす土壌湿度の影響	28
第2項 圃場条件下における二雌ずい花の発生に及ぼす土壌湿度の影響	30
第3節 植物ホルモンが花芽形成と二雌ずい花の発生に及ぼす影響	32
第1項 各種植物ホルモンが二雌ずい花の発生に及ぼす影響	32
第2項 サイトカイニンが花芽形成と二雌ずい花の発生に及ぼす影響	34
第3項 エチレンが花芽形成と二雌ずい花の発生に及ぼす影響	36
第4節 暖地における二雌ずい形成の抑制	38

第1項 遮光による二雌ずい形成の抑制効果	38
第2項 促成栽培による二雌ずい形成の抑制効果	44
第5節 考察	44
第6節 摘要	50
第3章 暖地における甘果オウトウの花器の発育と結実の様相	53
第1節 暖地における生殖器官の発育と結実	53
第2節 暖地における甘果オウトウの花器の発育と結実の年次変動	58
第3節 考察	64
第4節 摘要	66
第4章 甘果オウトウの結実性に係わる要因	67
第1節 制御環境下における温度条件と結実性の関係	67
第2節 結実性におけるジベレリンの関与	70
第1項 異なる温度条件下で栽培した樹の花器の内生ジベレリン様物質濃度の比較	70
第2項 開花前のジベレリン処理が胚のうの発育と結実に及ぼす影響	75
第3項 開花前のパクロブトラゾール処理が胚のうの発育と結実に及ぼす影響	77
第3節 樹体の同化産物の蓄積と結実性	77
第1項 秋季の摘葉処理が花器の発育と結実に及ぼす影響	79
第2項 夏季の温度環境および土壌湿度が光合成と貯蔵炭水化物の蓄積に及ぼす影響	82
第3項 暖地条件における夏季の遮光が光合成と貯蔵炭水化物の蓄積に及ぼす影響	86
第4節 ホウ素散布が結実性に及ぼす影響	92
第5節 考察	94
第6節 摘要	102
第5章 総合考察	104
総摘要	107
引用文献	109
Summary	115

緒 言

甘果オウトウは、西アジアのカスピ海や黒海周辺を原生地とするバラ科サクラ属の温帯性落葉果樹である。南ヨーロッパにおいて品種改良が進められた後、アメリカを始めとする温帯の各地に伝播し、現在では、50カ国以上で栽培されている。1998年のFAO統計によれば、アメリカ、イタリア、イラン、スペイン、ドイツ、トルコ、ルーマニア、レバノン、ロシアで各々5万tを超える生産量が記録されており（酸果オウトウを一部含む）、世界の総生産量は160万tに達する。甘果オウトウの生育には比較的温暖な気候条件が適しており、生育期間中十分な水分の供給が必要とされるが、果実成熟期の降雨は裂果を招くため、この時期に少雨であることが望ましい。亜熱帯地域では低温遭遇量の不足により休眠の導入や覚醒が正常に行われないうこと、一方、寒帯地域では深刻な凍害が生じることから、これらの気候条件下では栽培は普及していない（Webster・Looney, 1996）。

わが国では、明治初期に政府がアメリカ、ヨーロッパから‘ナポレオン’などの多数のオウトウ品種を導入し、東北、北海道などに配布したのがオウトウ栽培の始まりとされる（渡部, 1993）。その後も、諸外国から苗木の輸入がはかられ、東北、北海道、甲信地方などの比較的冷涼な地域で栽培が普及した。特に山形県では、官の振興政策に加え、気象や土壌条件が適したことなどから、一大産地に発展し、今日国内生産量（16,800t, 1999年）の約70%を占めるまでに至っている。山形県において、昭和40年代の主要品種は‘ナポレオン’で、生産量の約80%を占めていたが、昭和50年代以降は‘佐藤錦’の栽培面積が急増し、現在では生産量の約半分を占めている。

‘佐藤錦’は、‘ナポレオン’と‘黄玉’の交雑によるものと推定されており、食味が極めて良好で、核が小さく多肉で、外観的にも優れていることや、収穫期が‘ナポレオン’よりも早いことなどが栽培面積の増加の理由となっている（深井, 1995）。この‘佐藤錦’の種子親と推定されている‘ナポレオン’は、18世紀後半のドイツを起源とする品種であることから（Bargioni, 1996）、‘佐藤錦’も比較的冷涼な気候を好むものと推察される。

このような経緯から、わが国の甘果オウトウの生産はこれまで北日本を中心とする冷涼地を主体としてきたが、近年、西日本各地において栽培が試みられている。この背景には、まず暖地での栽培における早期出荷による市場での有利性がある。暖地では、主産地に比べて収穫期が半月以上早く、高い収益性が見込まれる。また、鮮度低下の著しい甘果オウトウ果実を西日本の地域市場へより新鮮な状態を保ちつつ低い輸送コストで供給できることも大きな利点である。一方、甘果オウトウは多くの果樹の中でも特に際だった嗜好的価値をもち、観光果樹資源として高く評価されている。と

りわけ、これまで栽培が普及していなかった西日本では、その観光資源としての価値は極めて高い。1997年の農林水産統計によれば、香川、高知、広島、岡山、和歌山などで1~3tの収穫量が記録されており、栽培品種としては、‘佐藤錦’の導入が最も多くみられている。

しかしながら、暖地の生育条件の下では、結実不良、奇形果の発生、着色不良、裂果、病害虫の多発、早期落葉などの問題点が生じ、安定生産の障害となっている（Kataokaら, 1996; 別府・片岡, 1998）。これらのうち双子果の多発や結果の不安定は生産性に関わる最も重大な問題である。

双子果は、1花に2本の雌ずいが形成される（二雌ずい形成）形態的異常で、暖地において多発し、年次あるいは品種により樹内の半数以上の果実が双子果になる場合もある。二雌ずい形成は、前年の花芽分化過程における雌ずい原基の形成時に異常が生じているとみられ、これまでに樹冠の南側面で比較的発生が多いことや、夏季の気温が高く推移した翌春に発生が多いことが経験的に知られており、花芽分化期の温度との関係が推察されている（Mickeら, 1983; Tucker, 1934, 1935）。一方、モモやアンズでは、高温下での乾燥ストレスが二雌ずい花の発生を招くことが報告されており（Tukey, 1954; Ryugo, 1988; Johnsonら, 1992）、オウトウにおいても夏季の土壤乾燥が二雌ずい花の発生を助長するものと推察されている（Ryugo, 1988; 深井, 1995）。西南暖地では、一般に梅雨明け後気温は日中30℃を超え、著しく高く推移し、降水量も少ない。このような環境条件が二雌ずい花の多発に関係しているものと推測される。

一方、結実の不安定は、双子果の発生と並ぶ暖地での甘果オウトウ栽培における最も重大な問題である。暖地では、甘果オウトウの結実は極めて不安定で、年次や地域による較差が著しく大きい。年によって、あるいは園地によって開花はするが、ほとんど結実が得られない場合もある。甘果オウトウの結実は、一般に環境条件や樹体の栄養条件により影響を受ける（深井, 1995; 佐竹, 1983）。暖地において、開花期前後に高温で経過した年に特に結実が不良であることが経験的に知られている。開花前および開花期間中の温度条件は、花器の雌・雄性器官の発育、花粉の発芽や花粉管の伸長、胚のうの寿命などに影響を及ぼすことが、アンズ（Burgosら, 1991）や酸果オウトウ（Furukawa・Bukovac, 1989）、プルーン（Thompson・Liu, 1973）などで報告されており、このことは春季の気温上昇が早い暖地の気候条件下における甘果オウトウの結実性にも深く関与しているものとみられる。一方、樹体の栄養条件と結実の関係について、他の落葉果樹と同様、甘果オウトウでは一般に開花から結実期にかけての花器の発育は主に貯蔵養分に依存している。しかしながら、暖地では、夏季の高温や乾燥による同化能力の低下、さらに葉焼けや病害虫の発生等による早期落葉により、貯蔵養分の不足を招く恐れがあり、このことが暖地での甘果オウトウ栽培における結

実不良の一因となっている可能性が考えられる。また、暖地における梅雨明け後の急激な気温上昇と土壌乾燥は、結実性に重要な役割をもっているホウ素の吸収を妨げ（Hobbs・Bertramson, 1949）、翌春の着果を減少させているかもしれない。

以上のように、暖地での甘果オウトウの安定生産の障害となる二雌ずい花の発生や結実不良を招く環境や樹体要因について、経験的な推測はなされているものの、これらの発生条件や発生過程の詳細は明確にされておらず、これらを克服するための適切な対策は示されていない。

そこで、本研究では、暖地条件における甘果オウトウの安定生産を図るための基礎的知見を得ることを目的として、まず暖地の栽培環境下における二雌ずい花発生や結実の様相を調査し、次いで人為的な制御条件下で二雌ずい花形成や結実不良の発生機構を解明した。さらに、これらの知見をもとに暖地における二雌ずい花形成の抑制や結実促進の可能性について検討した。

謝 辞

本論文を取りまとめるにあたり、懇切なる御指導と御校閲を賜った京都大学大学院農学研究科教授 杉浦明博士に謹んで深謝申し上げます。

また、終始適切な御指導と御教示を賜った香川大学農学部教授 片岡郁雄博士に厚く感謝の意を表します。

さらに、実験の方法・技術について多大の御援助を賜った岡山大学農学部助教授 吉田裕一博士、京都府立大学農学部講師 本杉日野氏、大阪府立大学農学部講師 尾形凡生博士に感謝申し上げます。また、試薬の御提供を頂いた山形大学農学部助教授 村山秀樹氏、農水省四国農業試験場研究員 草場新之助博士に感謝の意を表します。

最後に、実験遂行にあたり、多大の御協力を頂いた香川大学農学部果樹園芸学研究室専攻生の各位ならびに現地調査に御協力頂いた山形大学農学部助教授 平智博士、山形県園芸試験場研究員 野口協一氏、香川県高松地域農業改良普及センター 末澤克彦氏および西日本各地のオウトウ栽培農家の方々に厚く御礼申し上げます。

なお、本研究の一部は文部省科学研究費補助金 奨励研究（A）課題番号 09760034 により行われました。ここに記して謝意を表します。

第 1 章 暖地における甘果オウトウの花芽形成と二雌ずい花の発生の様相

暖地での甘果オウトウ栽培においては、二雌ずい花（第 1 図）が多発し、年次あるいは品種によっては樹の半数以上の花が二雌ずい花となる。このような二雌ずい花は結実しても市場価値のない双子果（第 2 図）となるため、西南暖地では、栽培上の大きな問題になっている。暖地における甘果オウトウの安定生産のためには、この二雌ずい花発生の抑制技術の確立が必要であるが、このためには、まず、二雌ずい形成の機構を解明しておく必要がある。



Fig. 1. Normal flower (left) and abnormal ones with double pistils (center and right) of 'Satohnishiki' sweet cherry.

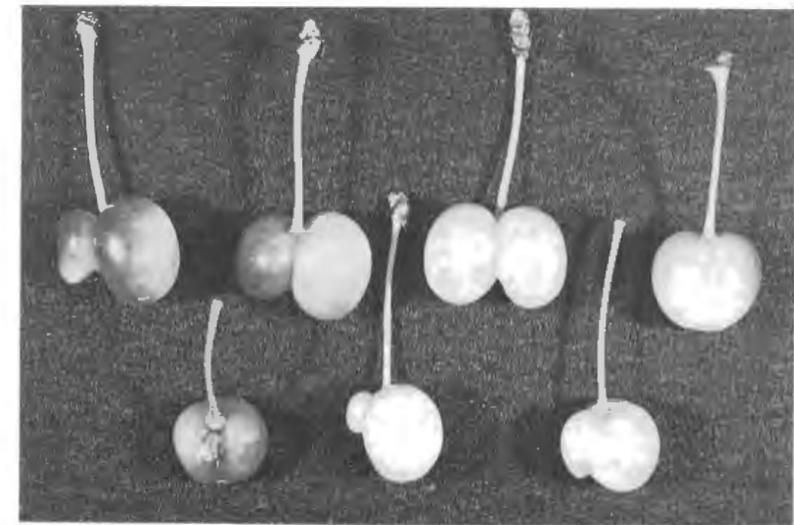


Fig. 2. "Doubled" and "malformed" fruits of 'Satohnishiki' sweet cherry.

そこで、本章では、暖地の環境条件下における甘果オウトウの花芽形成の様相および雌雄花発生の実態を主産地の山形県下との比較を含めて調査した。

第1節 暖地における花芽分化の時期と環境

第1項 暖地における主要品種の花芽分化の時期と環境

材料および方法

1995年

香川県綾歌郡国分寺町の商業農園で栽培されている甘果オウトウ (*Prunus avium* L.) ‘佐藤錦’、‘高砂’、‘ナポレオン’の成木を供試した。1995年5月29日から9月10日にかけて、2短果枝を経時的に採取し、短果枝上の6花芽について、花器原基の形態的变化を実体顕微鏡により観察した。花芽の発育段階はDiazら(1981)の報告に従って分類した(第3図)。

1998年

香川大学農学部の研究圃場で栽培されている上記の3品種について、1998年7月9日から8月19日にかけて、同様の方法で花芽の発育段階を調査した。雌雄花の原基が認められた花芽については、さらに、1:心皮の突出、2:心皮の肥大、3:心皮の癒合、4:子房と柱頭の形成の4段階に分類した(第4図)。

結果

1995年

5月、6月、7月の月平均気温はそれぞれ18.4℃、22.1℃、26.6℃であった。7月中旬までは、日平均気温は、大きく変動しながら徐々に上昇したが、それ以降は、8月下旬まで30℃前後で安定した(第5図)。その後、8月下旬から9月上旬にかけて気温は急速に低下した。

5月下旬には花芽分化の兆候はまったく認められなかったが、6月中旬には半数の花芽で、生長点(shoot apex)が平坦となり肥厚し花芽分化の初期兆候を示した(第1表)。7月上旬には苞のえき部から花器の始原体が突出しているのが観察された。がく片および花弁の分化は、‘高砂’では7月上旬、‘佐藤錦’や‘ナポレオン’では7月中旬に認められた。その後、いずれの品種においても7月下旬には雄花の原基が、8月上旬には雌花の原基が確認された。60%以上の花芽が雌雄花を分化したのは、‘高砂’では8月上旬、‘佐藤錦’では8月中旬、‘ナポレオン’では9月上旬であった。

1998年

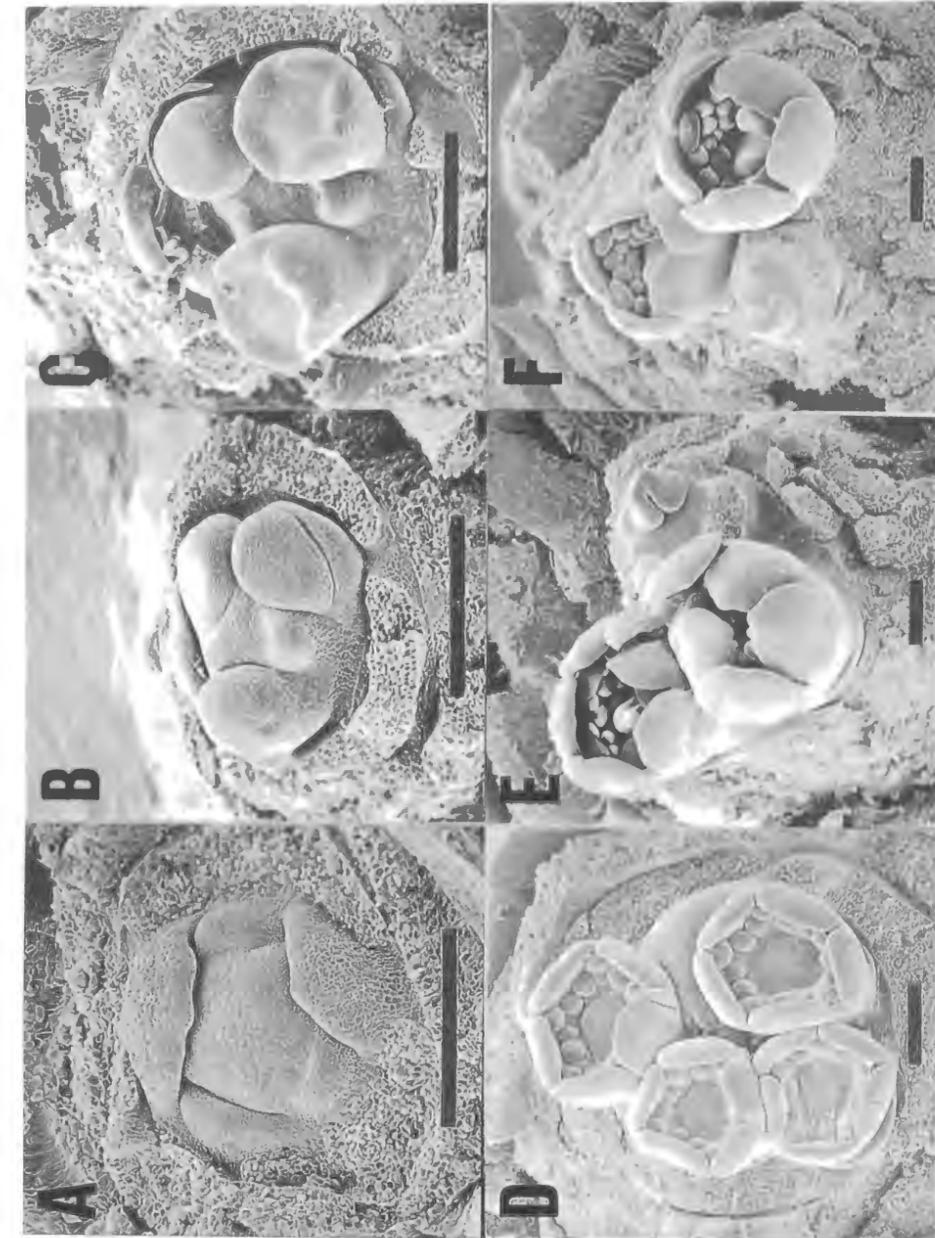


Fig. 3. SEM photographs of ‘Satohishiki’ sweet cherry buds showing developmental changes during flower initiation. A) Flattened meristem with bract primordia. B) Flower primordia enlarged and rounded C) Sepal primordia. D) Stamen primordia. E, F) Pistil primordia. Bars: 200 μm

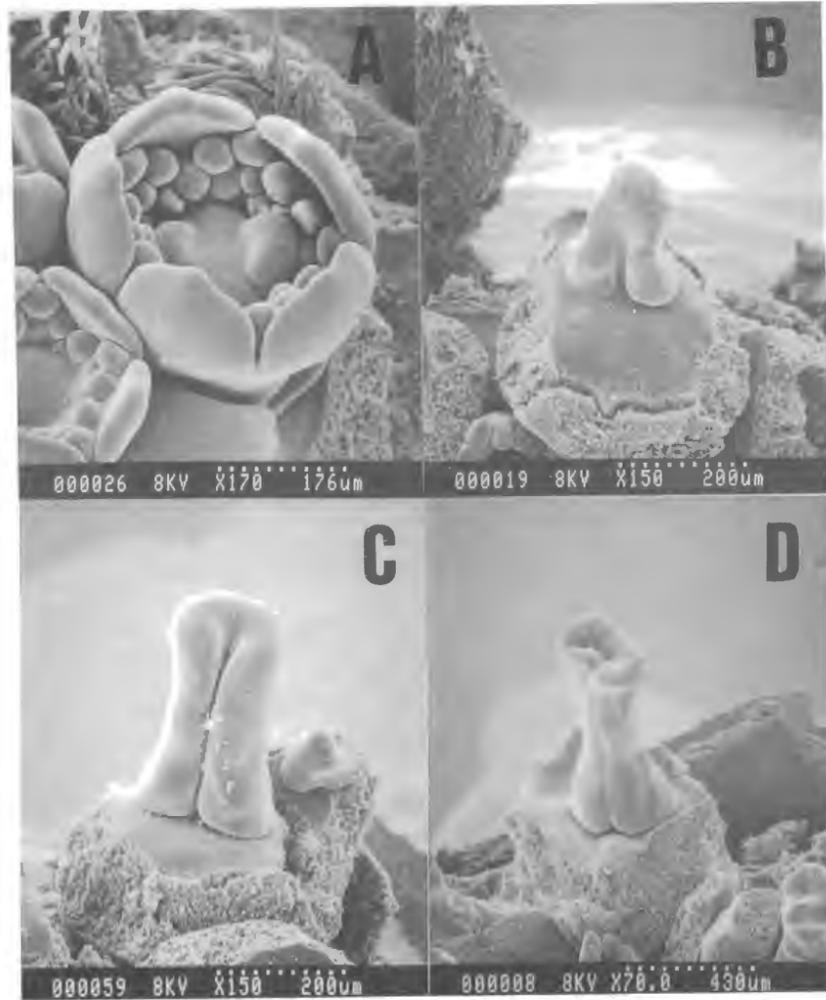


Fig. 4. SEM photographs of pistil primordium in 'Satohnishiki' sweet cherry. A) Carpel prominence, B) Carpel enlargement, C) Carpel fusion, D) Ovary and stigma formation.

5月、6月、7月の月平均気温はそれぞれ20.2℃、22.2℃、26.8℃であった。5月および6月下旬から7月上旬にかけて日平均気温は1995年と比べてやや高かったが、7月中旬から8月にかけての気温は全般にやや低く推移した(第6図)。

花芽分化の進行は、1995年よりも全体的に早く、「高砂」と「ナポレオン」では7月下旬、「佐藤錦」では8月上旬に60%以上の花芽が雌ずい分化段階に達していた(第2表)。子房や柱頭の形成は、「ナポレオン」では8月上旬に、「高砂」と「佐藤錦」では8月下旬に観察された。

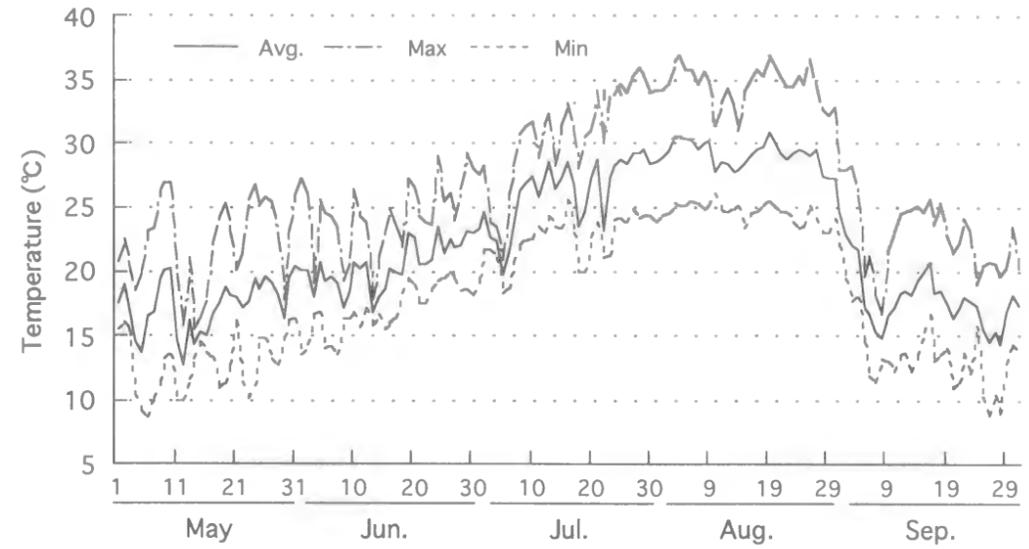


Fig. 5. Changes in daily average, maximum and minimum temperatures in a commercial orchard located in Kokubunji-cho, Kagawa prefecture (1995).

Table 1. The progression of flower bud formation in three sweet cherry cultivars grown in a commercial orchard located in Kokubunji-cho, Kagawa prefecture (1995).

Sampling date	Cultivar	Buds (%) without apparent signs of floral initiation	Flowers (%) at the stage of differentiation of :				
			bract primordium	flower primordium	sepal or petal primordium	stamen primordium	pistil primordium
May 29	'Satohnishiki'	100.0	-	-	-	-	-
June 14	'Satohnishiki'	50.0	50.0	-	-	-	-
July 1	'Takasago'	-	-	33.3	66.7	-	-
	'Satohnishiki'	-	6.7	93.3	-	-	-
	'Napoleon'	-	41.7	58.3	-	-	-
July 15	'Takasago'	-	-	-	100.0	-	-
	'Satohnishiki'	-	-	21.4	78.6	-	-
	'Napoleon'	-	-	5.6	94.4	-	-
July 30	'Takasago'	-	-	-	47.8	52.2	-
	'Satohnishiki'	-	-	40.0	50.0	10.0	-
	'Napoleon'	-	-	-	94.1	5.9	-
Aug. 9	'Takasago'	-	-	-	5.3	31.6	63.2
	'Satohnishiki'	-	-	-	5.9	70.6	23.5
	'Napoleon'	-	-	-	46.2	46.2	7.7
Aug. 19	'Takasago'	-	-	-	26.3	36.8	36.8
	'Satohnishiki'	-	-	-	-	35.3	64.7
	'Napoleon'	-	-	13.0	17.4	39.1	30.4
Aug. 29	'Takasago'	-	-	-	4.8	19.0	76.2
	'Satohnishiki'	-	-	-	17.6	23.5	58.8
	'Napoleon'	-	-	-	28.6	28.6	42.9
Sep. 10	'Takasago'	-	-	-	-	23.8	76.2
	'Satohnishiki'	-	-	-	6.7	-	93.3
	'Napoleon'	-	-	-	-	-	100.0

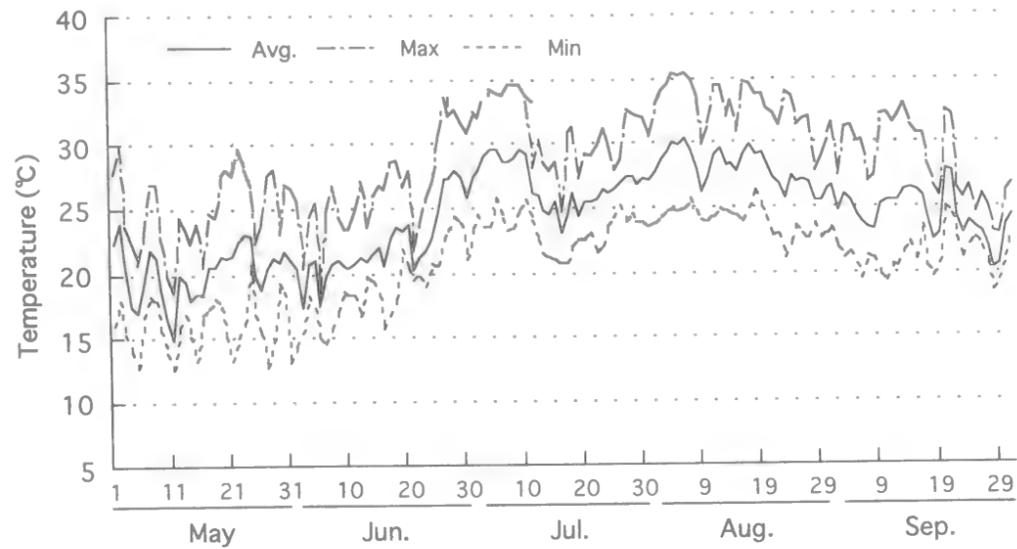


Fig. 6. Changes in daily average, maximum and minimum temperatures in the research field of Kagawa University (1998).

第2項 気候条件の異なる地域間での花芽分化時期の比較

材料および方法

香川大学農学部（香川県木田郡三木町）と山形大学農学部（山形県鶴岡市）の研究圃場で栽培されている‘佐藤錦’の成木を用いて、1999年5月から10月にかけて、短果枝上の花芽を10芽ずつ経時的に採取して、花芽の分化過程を調査した。

結果

5月、6月、7月、8月の平均気温は、香川ではそれぞれ19.1℃、22.5℃、27.0℃、27.0℃であったのに対し、山形では、15.4℃、20.1℃、24.4℃、27.1℃であった。5月から6月にかけての気温は山形でやや低かったが、8月の気温には地域間の差異は認められなかった（第7図）。

Table 2. The progression of flower bud formation in three sweet cherry cultivars grown in the research field of Kagawa University (1998).

Sampling date	Cultivar	Flowers (%) at the stage of differentiation of :								
		flower primordium	sepal primordium	petal primordium	stamen primordium	pistil primordium *				Total
						I	II	III	IV	
July 9	‘Takasago’	7.1	21.4	16.7	54.8	-	-	-	-	-
	‘Satohnishiki’	11.9	42.9	26.2	19.0	-	-	-	-	-
	‘Napoleon’	12.1	39.4	33.3	15.2	-	-	-	-	-
July 19	‘Takasago’	-	-	20.0	40.0	10.0	30.0	-	-	40.0
	‘Satohnishiki’	-	14.3	42.9	42.9	-	-	-	-	-
	‘Napoleon’	-	14.3	42.9	42.9	-	-	-	-	-
July 29	‘Takasago’	-	-	4.5	27.3	9.1	59.1	-	-	68.2
	‘Satohnishiki’	-	4.8	-	52.4	14.3	23.8	4.8	-	42.9
	‘Napoleon’	-	-	-	40.0	6.7	33.3	20.0	-	60.0
Aug. 9	‘Takasago’	-	-	-	26.1	13.0	56.5	4.3	-	73.9
	‘Satohnishiki’	-	-	-	31.6	5.3	36.8	26.3	-	68.4
	‘Napoleon’	-	-	-	40.0	0.0	13.3	26.7	20.0	60.0
Aug. 19	‘Takasago’	-	-	-	8.0	0.0	52.0	16.0	24.0	92.0
	‘Satohnishiki’	-	-	-	4.8	9.5	28.6	52.4	4.8	95.2
	‘Napoleon’	-	-	-	6.7	20.0	20.0	13.3	40.0	93.3

*: Pistil primrdium shows I: carpel prominence, II: carpel enlargement, III: carpel fusion, IV: ovary and stigma formation.

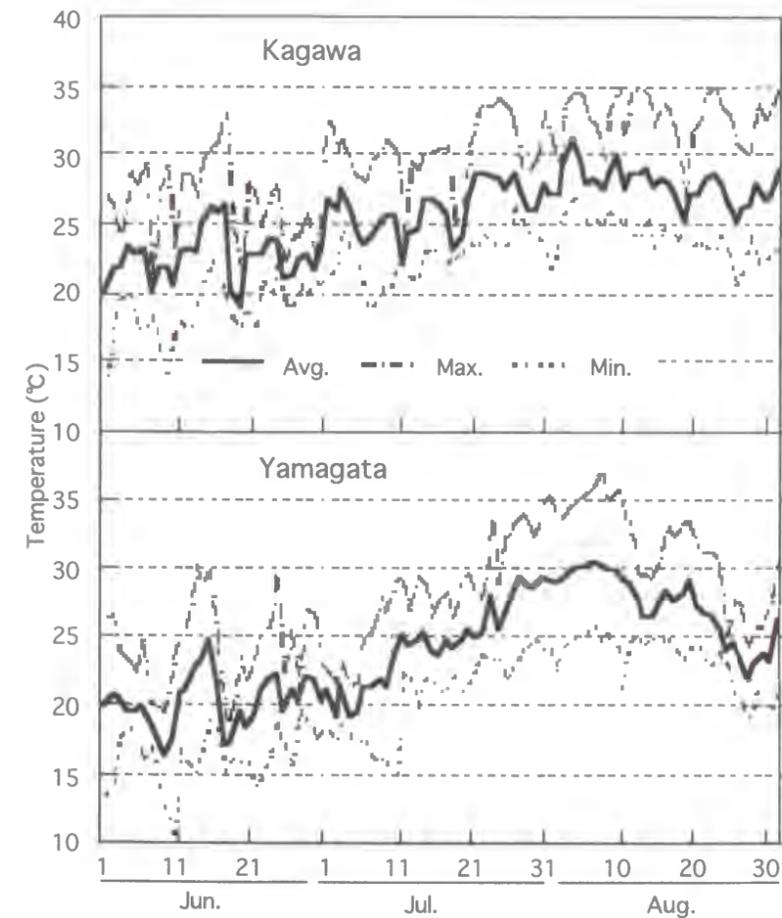


Fig. 7. Daily average, maximum and minimum temperatures in the research fields of Kagawa University and Yamagata University (1999).

Table 3. The progression of flower bud formation in 'Satohnishiki' sweet cherry in Kagawa and Yamagata (1999).

Sampling date	Location	Buds (%) without		Flowers (%) at the stage of differentiation of:													
		apparent signs of floral initiation.		bract primordium		flower primordium		sepal primordium		petal primordium		stamen primordium		pistil primordium		Total	
May 24	Kagawa ^y	100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
June 8	Kagawa Yamagata ^x	90.0 100.0	10.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
June 24	Kagawa Yamagata	40.0 80.0	60.0 20.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
July 8	Kagawa Yamagata	-	6.9 7.4	24.1 14.8	69.0 77.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
July 24	Kagawa Yamagata	-	-	6.5 23.3	3.2 16.7	71.0 36.7	19.4 23.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aug. 8	Kagawa Yamagata	-	-	3.0 3.4	-	12.1 48.3	51.5 48.3	12.1 18.2	3.0	12.1 18.2	3.0	12.1 18.2	3.0	12.1 18.2	3.0	12.1 18.2	3.0
Aug. 24	Kagawa Yamagata	-	-	-	-	-	2.8 4.0	27.8 36.0	33.3 16.0	27.8 36.0	33.3 16.0	27.8 36.0	33.3 16.0	27.8 36.0	33.3 16.0	27.8 36.0	33.3 16.0
Sep. 8	Kagawa Yamagata	-	-	-	-	-	-	6.7 22.2	10.0 59.3	6.7 22.2	10.0 59.3	6.7 22.2	10.0 59.3	6.7 22.2	10.0 59.3	6.7 22.2	10.0 59.3
Sep. 24	Yamagata	-	-	-	-	-	-	-	37.0	-	37.0	-	37.0	-	37.0	-	37.0
Oct. 8	Yamagata	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	92.0	8.0	100.0

^y: Pistil primordium shows I: carpel prominence, II: carpel enlargement, III: carpel fusion, IV: ovary and stigma formation.

^x: Kagawa University located in Miki-cho, Kagawa Prefecture.

^z: Yamagata University located in Turuoka city, Yamagata Prefecture.

花芽分化は山形に比べ香川で早く始まった。花芽分化の初期兆候は、香川は6月上旬、山形で6月下旬に認められた(第3表)。その後も香川で山形よりも花芽分化の過程はやや早く進行し、ほとんどの花芽が雌ずい分化段階に達したのは、香川では8月下旬であったのに対し、山形では9月上旬と約2週間遅かった。

第2節 暖地における二雌ずい花の発生の実態

第1項 二雌ずい花の発生頻度の品種間差異

甘果オウトウの二雌ずい花の発生には、品種間に差異があることが知られている(Mickeら, 1983)。本項では、西南暖地の栽培条件下における二雌ずい花の発生頻度を国内の主要品種について調査した。

材料および方法

香川県綾歌郡国分寺町の商業農園で栽培されている甘果オウトウ‘高砂’、‘佐藤錦’、‘ナポレオン’、‘セネカ’、‘香夏錦’の各3個体、‘桜頂錦’、‘最上錦’の各2個体、‘ジャンボ錦’1個体を供試した。1995年10月28日に短果枝上の花芽を各個体から10芽ずつ採取し、二雌ずい花の形成を実体顕微鏡により観察した(第8図)。

結果

秋季の花芽中での二雌ずい花の発生率は品種間で著しく異なっていた。‘高砂’および‘セネカ’では10%以下と低かったのに対して、‘佐藤錦’、‘香夏錦’、‘桜頂錦’では28%前後と比較的高く、‘ナポレオン’、‘ジャンボ錦’、‘最上錦’では60%にも達した(第9図)。

第2項 結果母枝の樹冠位置および短果枝の伸長方向が二雌ずい花の発生に及ぼす影響

甘果オウトウの二雌ずい花は、樹冠における結果母枝の着生位置により発生頻度が大きくことなることが経験的に知られている(Philp, 1933; Tucker, 1934)。さらに、結果母枝上の短果枝の伸長方向によっても発生頻度が異なることが報告されている(Tucker, 1935)。本項では、西南暖地の栽培条件下での二雌ずい花発生に

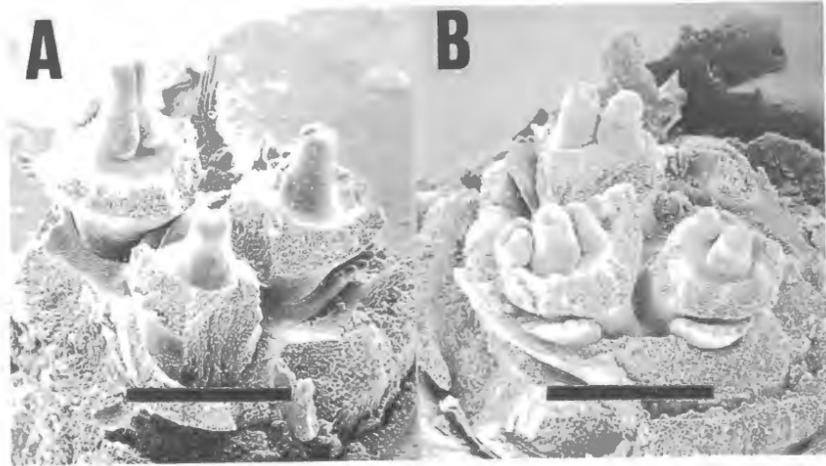


Fig. 8. Normal flower primordia (A) and abnormal ones with double pistils (B) in 'Satohnishiki' sweet cherry. Bars: 500 μ m.

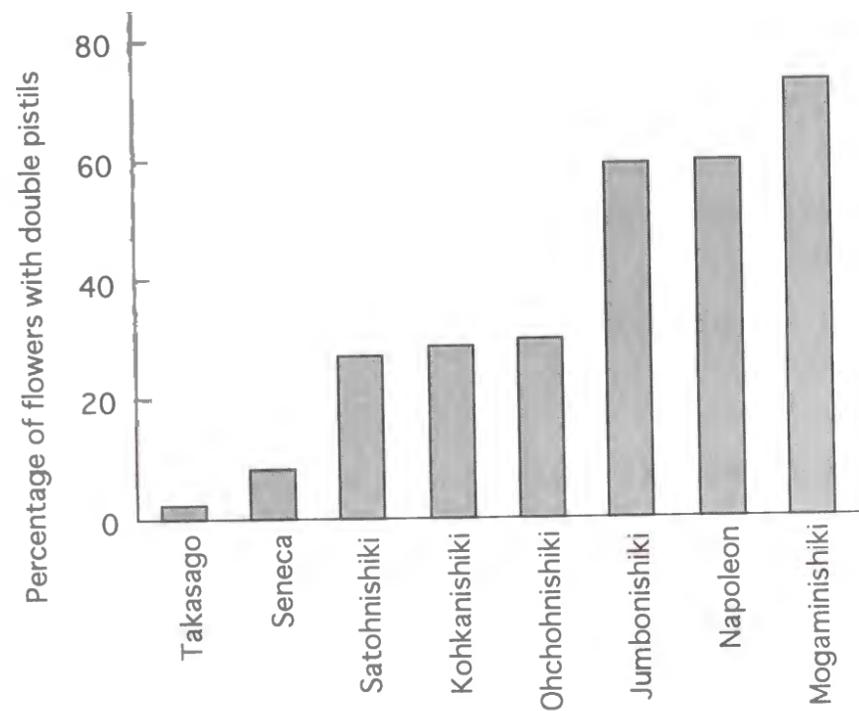


Fig. 9. Frequency of double pistils in flower buds of several sweet cherry cultivars grown in a commercial orchard located in Kokubunji-cho, Kagawa prefecture (1995).

及ぼす樹冠内の花芽の着生位置の影響を調査した。

材料および方法

香川県綾歌郡国分寺町の商業農園で栽培されている‘ナポレオン’の成木を供試した。1999年4月20日に、樹冠外周の各方角および樹冠内に位置する結果母枝について、短果枝上の花をそれぞれ約400花選び、二雌ずい花の割合を調査した。さらに、特に二雌ずい花の発生が多かった結果母枝のうち、東西方向および南北方向に水平に伸びている結果母枝を選んで、それぞれの母枝上で各方位に向けて伸長している短果枝上の花の二雌ずい花の割合を調査した。

結果

樹冠における結果母枝の着生位置による比較では、樹冠頂部で二雌ずい花が最も多く発生し、次いで南側で多く見られた(第10図)。その他の方位では二雌ずい花率が比較的低く、樹冠内部では二雌ずい花の発生が全く認められなかった。

結果母枝上の短果枝の伸長方向による比較では、東西方向に水平に伸びている母枝については、南向きに伸びた短果枝で二雌ずい花の発生率が最も高く、次いで、上向き短果枝で高い値を示したが、北向きや下向き短果枝では二雌ずい花の発生は認められなかった(第11図)。一方、南北方向に水平に伸びている枝については、上向き短果枝で二雌ずい花の発生率が著しく高く、次いで、西向きおよび東向き短果枝でやや高い値を示したが、下向き短果枝では二雌ずい花の発生はわずかであった。

第3項 二雌ずい花の発生頻度の年次変動

甘果オウトウの二雌ずい花の発生頻度は、年次による変動が大きいことが経験的に知られている(Tucker, 1935; Mickeら, 1983)。本項では、西南暖地での栽培における二雌ずい花の発生頻度を4年間にわたって調査し、二雌ずい花発生の年次変動と花芽分化期の温度環境との関係を明らかにした。

材料および方法

香川大学農学部の研究圃場で栽培している88Lコンクリートポット植えの‘佐藤錦’の成木を用いて、1995年から1998年にかけて、毎年10月上旬に短果枝上の花芽を採取し、二雌ずい花の割合を調査した。

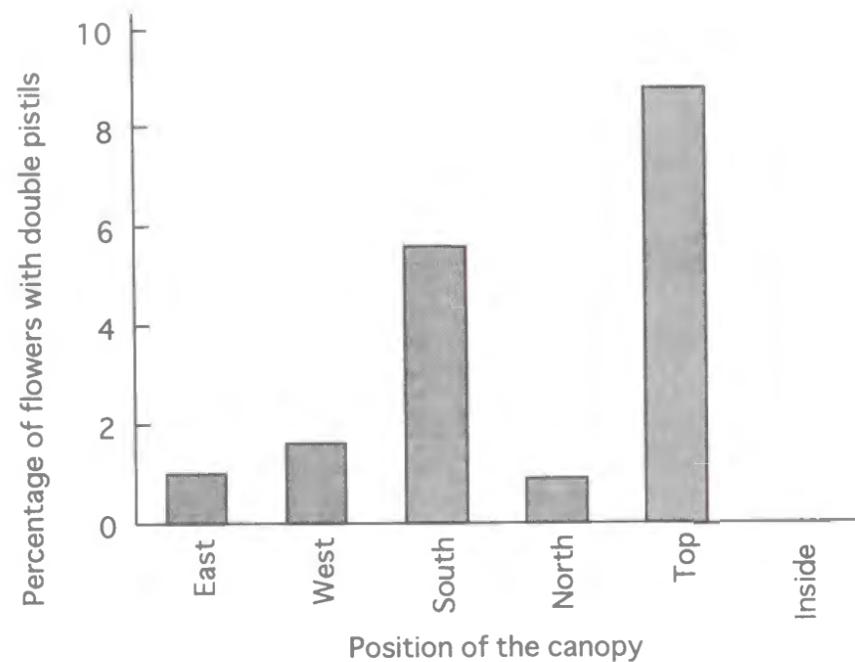


Fig. 10. Frequency of double pistils in 'Napoleon' sweet cherry flowers on limbs in each position of the canopy.

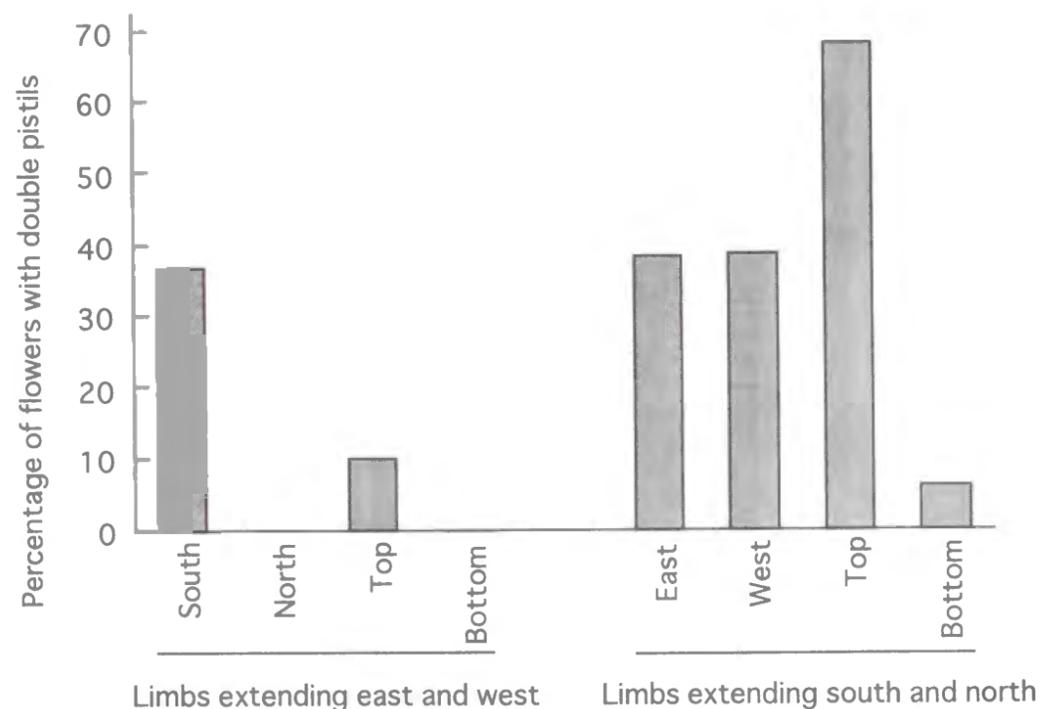


Fig. 11. Frequency of double pistils in 'Napoleon' sweet cherry flowers on spurs in each exposure of horizontal limbs in the south position of the canopy.

結果

花芽分化が開始する6月中旬から雌ずい分化段階に至る9月中旬にかけての1か月毎の日最高気温の平均値と二雌ずい花の発生率との関係を第12図に示した。7月中旬から8月中旬にかけての日最高気温の平均値と二雌ずい花の発生率の年次変動が最もよく一致していた。この期間中の日最高気温の平均値が33.7℃と最も高かった1995年には47%もの二雌ずい花発生率となり、次いで32.6℃と気温の高かった1996年では26%の発生率となった。一方、この期間中の日最高気温の平均値が32℃以下であった1997年と1998年には二雌ずい花の発生はわずかであった。それに対して、6月中旬から7月中旬にかけての日最高気温の平均値は、二雌ずい花の発生率と逆の変動を示した。8月中旬から9月中旬にかけての気温と発生率の年次変動には、一定の関係は認められなかった。

第4項 気候条件の異なる地域間での二雌ずい花の発生頻度の比較

材料および方法

香川大学農学部と山形大学農学部の研究圃場で栽培されている'佐藤錦'と'ナポレオン'の成木各3個体から、1999年10月に短果枝上の花芽を1樹につき20芽ずつ採取し、二雌ずい花の割合を調査した。

結果

1999年の7月と8月の気温は、香川ではほぼ平年値であったが、山形では平年より2℃も高かった。香川の7月と8月の日最高気温の平均は、山形よりもそれぞれ1.9℃および1.4℃高くなった。7月と8月の降水量は、山形に比べて香川では著しく少なかった(第4表)。

'佐藤錦'ではいずれの採取地においても二雌ずい花は全く認められなかったが、'ナポレオン'では、香川で33%、山形で21%が二雌ずい花であった(第4表)。

第3節 考察

1. 暖地における花芽分化の時期と環境

暖地条件の香川では、短果枝上のえき芽において花芽分化の初期兆候は6月上中旬にみられ、7月上旬には全てのえき芽で花芽分化が開始していた。その後、7月中旬までにほとんどの花芽でがく片や花弁の原基が分化し、8月上旬までに雄ずいの原基が分化していた。さらに9月上旬までにはほとんどの花芽で雌ずい原基の分化がみられた。花

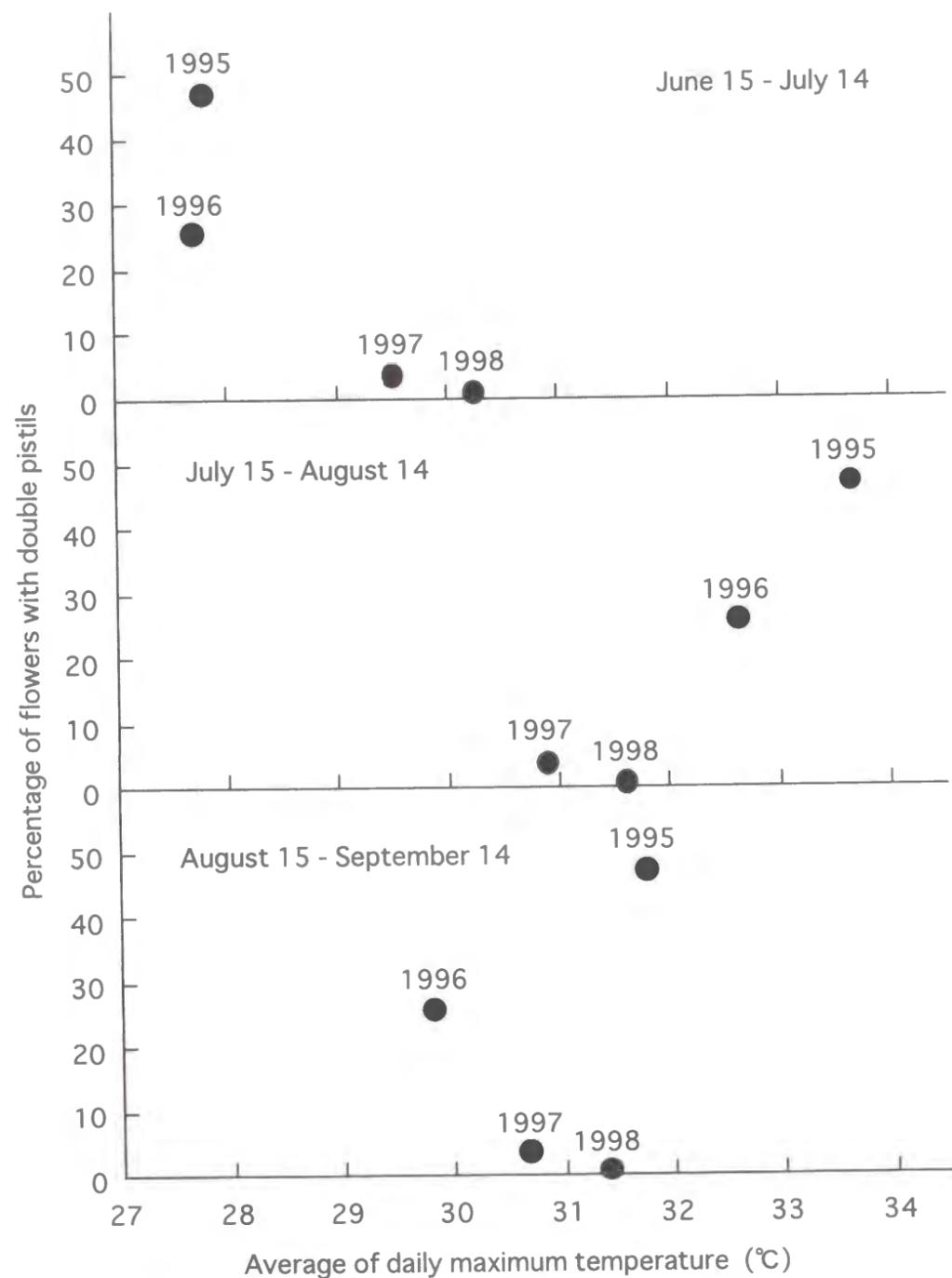


Fig. 12. Relationship between monthly temperature during flower bud formation and the frequency of double pistils in buds of 'Satohnishiki' sweet cherry trees grown in the research field of Kagawa University.

Table 4. Summer temperature, precipitation and frequency of double pistils in buds of 'Satohnishiki' and 'Napoleon' sweet cherry in Kagawa and Yamagata (1999).

Location	Average of daily maximum temperature (°C)		Total amount of precipitation (mm)		Percentage of flowers with double pistils	
	July	August	July	August	'Satohnishiki'	'Napoleon'
Kagawa ^z	30.2	32.7	67	56	0.0	32.9
Yamagata ^y	28.3	31.3	173	261	0.0	21.2

^z: Kagawa University located in Miki-cho, Kagawa Prefecture.

^y: Yamagata University located in Turuoka city, Yamagata Prefecture.

芽分化の進行に品種間で時期的に大きな差異は認められなかった。瀬戸内地方において、他のサクラ属果樹の花芽分化は、モモでは7月中旬から7月下旬、スモモでは7月上旬から8月下旬、ウメでは7月下旬から8月下旬に開始したことが記録されている（中川, 1978）。これらに比べて、甘果オウトウの花芽分化はやや早く開始することが示された。

暖地における甘果オウトウの花芽分化開始は、山形での花芽分化開始よりも半月ほど早く、山形において7月下旬に多くの花芽が分化を始めたとする渡部・梅津（1980）の報告と比べてもかなり早かった。1999年の香川と山形の開花期のずれは1週間程度であったことから、香川で花芽分化がより早く進行したのは、単に開花期が前進したことによるものではなく、花芽分化に至るまでの生長期間そのものが短縮されたことによるものと思われる。サクラ属果樹の花芽分化における温度の影響に関して、アンズでは環境制御下の試験で16°Cに比べて24°Cでは花芽分化開始がかなり早まったことが報告されており（Jackson・Sweet, 1972）、ウメでも5~6月に樹を18~36°Cの温室に搬入すると花芽分化の開始が露地に比べて約1カ月早まったことから、高温が花芽の分化開始を前進したと推察されている（中川, 1978）。さらに、モモでは、全国各地の花芽分化期と気象条件の関係についての調査により、花芽分化前の6~8月の平均気温が高いほど花芽分化の開始期が早まる傾向が認められており、さらに萌芽から花芽の分化期までに10°C以上の有効積算温度900°C以上が必要であると推察されている（Hiraiら, 1961）。したがって、甘果オウトウについても花芽分化前の高温条件が花芽の分化開始を早めたものとみられる。1995年と比べて1998年には花芽分化の開始期が早かったことについても、1998年では5月の平均気温が高かったことが影響しているのかもしれない。野口ら（1999）も山形で花芽分化時期の年次変動を調べた結果、発芽期から比較的高温で経過し生育の進んだ1998年には花芽分化の初期過程が1997年と比べ

て約3週間も早まったことを報告している。

このような地域間での花芽分化の開始の時期的差異は、雌ずいの分化期にも明瞭に認められた。1999年の調査では、香川では、雌ずい原基の分化は8月上旬から8月下旬にかけて進行し、一方、山形では、8月下旬から9月上旬に認められた。野口ら(1999)および渡部・梅津(1980)は、山形での雌ずい原基の形成はそれぞれ9月上中旬、9月下旬に認められたと報告しており、暖地に比べ明らかに遅いものとみられた。

2. 暖地における二雌ずい花の発生の実態

比較的冷涼地にある主産地の山形県と比較して、暖地条件にある香川では、二雌ずい花が多発した。特に‘ナポレオン’、‘ジャンボ錦’、‘最上錦’などの品種では二雌ずい花率は60%にも達した。また、品質的に最も優れ、国内の主要品種となっている‘佐藤錦’で、二雌ずい花の発生が比較的多いことが明らかになった。‘佐藤錦’は、‘ナポレオン’×‘黄玉’の交雑実生から育成されたと推定されており、‘黄玉’は二雌ずい花がほとんど発生しない品種であることから(深井, 1995)、二雌ずい形成に関しては‘佐藤錦’は両親の中間的な性質を有するものとみられる。一方、暖地の環境条件においても、‘高砂’や‘セネカ’などの品種は二雌ずい花の発生が極めて少ないことが示された。このことは、高品質の形質と合わせて、遺伝的な改良により、二雌ずい花発生が少ない品種を育成できる可能性を示しており、このような観点からみた暖地栽培に適した品種の改良が長期的には必要であると考えられた。

甘果オウトウの二雌ずい花は、樹冠の南側面で比較的発生が多いことや、夏季の気温が高く推移した翌春に発生が多いことが経験的に知られており、温度との関係が推察されてきた(Mickeら, 1983; Tucker, 1934, 1935)。本調査においても、樹冠外周の南側や頂部に位置する結果母枝では、他の方位や樹冠内に比べて二雌ずい花の発生が多く、また、局所的には結果母枝上の上向きや南向きに伸びた短果枝で二雌ずい花の発生が多かった。さらに、年次変動に関しても、7月中旬から8月中旬の気温の高い年に二雌ずい花の割合が高い傾向が認められた。暖地の香川においては、この時期は、年次による変動はあるものの、一般にがく片や花弁の分化段階から雄ずいや雌ずいの分化段階への移行期にあたり、年間で最も気温が高く推移する時期と一致する。これに対して、山形では、雄ずいおよび雌ずい分化は盛夏に比べて気温がやや低下する時期に進行した。これらのことから、甘果オウトウの二雌ずい形成には花芽分化期とくに雄ずいから雌ずい分化期にかけての温度環境が強く関わっていることが示唆された。

一方、モモやアンズでは、高温下での乾燥ストレスが二雌ずい花の発生を招くことが経験的に知られている(Tukey, 1954; Ryugo, 1988; Johnsonら, 1992)。1999年において、山形に比べ香川で二雌ずい花の割合がやや高かったが、これには、雌ずい分化期の高気温に加えて、降水量の寡少による乾燥ストレスの影響を受けた可能性もある。

暖地における花芽分化の様相と二雌ずい花の発生の実態を調査した。

1. 暖地条件の香川で栽培されている‘佐藤錦’、‘高砂’、‘ナポレオン’の花芽分化の様相を調査した。1995年において、花芽分化の初期兆候は6月中旬に認められ、8月上旬には雌ずいの原基が確認された。60%以上の花芽が雌ずいを分化したのは、‘高砂’では8月上旬、‘佐藤錦’では8月中旬、‘ナポレオン’では9月上旬であった。1998年においては、1995年に比べて5~7月の気温がやや高く推移し、花芽分化の進行が全体的に早まった。‘高砂’と‘ナポレオン’では7月下旬、‘佐藤錦’では8月上旬に60%以上の花芽が雌ずい分化段階に達していた。

暖地の香川と冷涼地の山形で栽培されている‘佐藤錦’の花芽分化の様相を比較した。花芽分化の初期兆候は、香川は6月上旬、山形で6月下旬に認められた。その後も香川で山形よりも花芽分化の過程はやや早く進行し、ほとんどの花芽が雌ずい分化段階に達したのは、香川では8月下旬であったのに対し、山形では9月上旬と約2週間遅かった。

2. 暖地条件の香川で栽培されている甘果オウトウ8品種の二雌ずい花の発生率を調査した。花芽中での二雌ずい花の発生率は品種間で著しく異なっていた。‘高砂’および‘セネカ’では10%以下と低かったのに対して、‘佐藤錦’、‘香夏錦’、‘桜頂錦’では28%前後と比較的高く、‘ナポレオン’、‘ジャンボ錦’、‘最上錦’では60%にも達した。

香川で栽培されている‘ナポレオン’について、樹冠における結果母枝の着生位置や、結果母枝上の短果枝の伸長方向による二雌ずい花発生率の差異を調査した。二雌ずい花の発生は、樹冠外周の頂部や南側で多くみられ、局所的には、結果母枝の上向きや南向きに伸びた短果枝で発生が多かった。

香川で栽培されている‘佐藤錦’について、二雌ずい花の発生頻度を4年間にわたって調査し、二雌ずい花発生率の年次変動と花芽分化期の温度環境との関係を探った。7月中旬から8月中旬にかけての日最高気温の平均値と二雌ずい花の発生率の年次変動が最もよく一致しており、この期間中の気温が高い年次ほど二雌ずい花の発生率が高くなる傾向が認められた。

暖地の香川と冷涼地の山形で栽培されている‘佐藤錦’と‘ナポレオン’の二雌ずい花の発生率を比較し、花芽分化期の環境との関係を探った。‘佐藤錦’ではいずれの採取地においても二雌ずい花は全く認められなかったが、‘ナポレオン’では、二雌ずい花の発生率は香川で山形よりもやや高かった。香川では山形と比べて夏季の気温がやや高く、降水量は著しく少なかった。

第2章 甘果オウトウの花芽形成と二雌ずい花の発生に係わる要因

前章では、暖地条件における花芽分化の様相と二雌ずい花発生の実態を明らかにした。その結果、冷涼地（山形）との比較において、暖地では花芽分化の開始やその後の進行が2週間ほど早く、雄ずいや雌ずいの分化期が年間で最も気温が高く推移する時期と一致することを示した。さらに、暖地では二雌ずい花の発生頻度が高いこと、樹冠における結果母枝や短果枝の着生位置との関係では日光の直射を受けやすい部位での二雌ずい花発生率が高いことを明らかにし、その原因として、花芽分化期の高温や乾燥ストレスが関係している可能性を示した。そこで、本章では、二雌ずい花の発生条件の詳細を明らかにすることを目的として、環境条件および生長調節物質処理の影響を調査した。次いで、これらにより得られた知見をもとに、二雌ずい花形成の抑制法について検討した。

第1節 温度環境が花芽形成と二雌ずい花の発生に及ぼす影響

前章では、圃場条件における二雌ずい花の発生頻度の調査から、温度条件が二雌ずい花形成に関与しているものと推察された。本節ではこの点を明らかにするため、人工気象室を用いて、花芽分化期の温度環境が二雌ずい花の発生に及ぼす影響を調査した。

第1項 夏季の気温が‘佐藤錦’の花芽分化の進行と二雌ずい花の発生に及ぼす影響

材料および方法

香川大学農学部の研究圃場で栽培している10号鉢植えの‘アオバザクラ’ (*Prunus lannesiana* Wils.) 台の6年生甘果オウトウ‘佐藤錦’9個体を供試した。雌ずい分化前の1996年7月23日から、9月5日まで日中(8:00~18:00)は35℃、30℃、25℃の人工気象室にそれぞれ3個体ずつ搬入し、夜間は全個体を25℃の人工気象室に移した。処理前の7月16日から9月14日まで、10日毎に各個体から短果枝上の花芽を3個ずつ採取して、前章と同様に分化の進行程度を調査した。10月2日に各個体から花芽を10個ずつ採取し、二雌ずい花の発生率を調査した。翌春の開花時にも、二雌ずい花の発生率を調査した。

結果

処理開始直前の7月16日には、46%の花芽ががく片や花弁を形成しており、18%の花芽は雄ずいを分化していたが、雌ずいの分化は認められなかった(第5表)。その後、

Table 5. Effect of temperature on the progression of flower bud formation in ‘Satohnishiki’ sweet cherry.

Sampling date	Day temperature (°C)	Flowers(%) at the stage of differentiation of :			
		flower primordia	sepal or petal primordia	stamen primordia	pistil primordia
Jul. 16	Pre-treatment	35.9	46.2	17.9	—
Jul. 27	25	10.3	75.9	3.5	10.3
	30	26.1	60.9	4.3	8.7
	35	9.1	81.8	9.1	—
Aug. 6	25	—	39.3	14.3	46.4
	30	17.4	65.2	8.7	8.7
	35	3.8	84.6	3.8	7.7
Aug. 16	25	—	42.9	17.9	39.3
	30	—	30.0	40.0	30.0
	35	—	59.3	7.4	33.3
Aug. 26	25	—	10.7	7.1	82.1
	30	—	12.5	29.2	58.3
	35	15.4	11.5	15.4	57.7
Sep. 5	25	—	—	4.3	95.7
	30	—	—	7.7	92.3
	35	—	8.7	26.1	65.2
Sep. 15	25	—	3.6	3.6	92.9
	30	—	—	12.5	87.5
	35	4.8	—	—	95.2

* : Trees were grown from July 23 to September 5 at the indicated temperatures during the day and at 25°C at night.

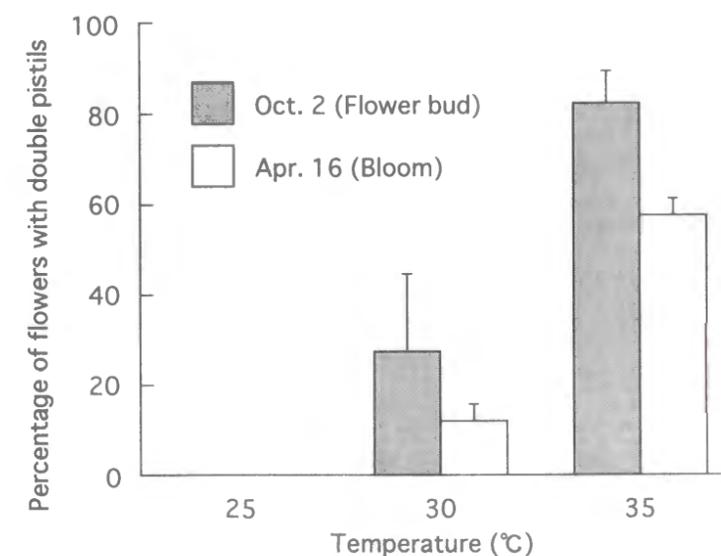


Fig. 13. Effect of temperature on the occurrence of double pistils in ‘Satohnishiki’ sweet cherry. Trees were grown from July 23 to September 5 at the indicated temperatures during the day and at 25°C at night. Bars mean SE.



Fig. 14. Abnormal flowers with pistils and petaloid structures borne on tips of filaments and the inner side of the floral tube in 'Satohnishiki' sweet cherry.

25℃区では雌ずいの分化が促進され、8月26日には約80%の花芽が雌ずい原基を形成していた。雌ずいの形成は温度が高いほど遅れる傾向があり、35℃区では処理終了時の9月5日においても雌ずい原基を分化した花芽は65%であった。

10月2日に採取した花芽中の二雌ずい花の発生率は、温度の影響を強く受けていた(第13図)。25℃区では二雌ずい花が全く認められなかったのに対して、30℃を超えると発生率は著しく増加した。35℃区では80%以上の花が2本の雌ずいを形成しており、一部は3本の雌ずいを有していた。

翌春の開花時にも、高温区では二雌ずい花の発生が多く認められたが、発生率は花芽で観察されたものよりも低い値となった(第13図)。35℃区では、葯が雌ずいや花弁の形状をした異常な雄ずいを有する花が多く見られた(第14図)。

第2項 '佐藤錦'、'高砂' および 'ナポレオン' における二雌ずい花の発生の温度条件の比較

前章で、圃場条件下での二雌ずい花の発生頻度には、著しい品種間差異があることを示した。本項では、暖地においても二雌ずい花がほとんどみられない'高砂'と、多発する'ナポレオン'について、二雌ずい花発生の温度条件を、'佐藤錦'と比較して調査した。

材料および方法

香川大学農学部の研究圃場で栽培されている10号鉢植えの'アオバザクラ'台の4年生'佐藤錦'、'高砂'、'ナポレオン'各6個体を供試した。雌ずい分化前の7月1日から、8月14日まで昼温(8:30-17:30)35℃/夜温25℃、30℃/20℃、25℃/15℃の人工気象室にそれぞれ各品種2個体ずつを搬入した。処理開始後10日毎に各個体から短果枝上の花芽を3個ずつ採取して、花芽分化の進行状況を実体顕微鏡により調査した。また翌春の開花時に、二雌ずい花の発生率と、雌ずい化あるいは花弁化した葯をもつ花の割合を調査した。

結果

'高砂'では、処理開始時の花芽は花弁分化段階のものが最も多く、7月10日に初めて一部の花芽で雌ずいの分化が確認された(第6表)。「高砂」では、気温が高いほど花芽分化の進行が遅れる傾向があり、ほとんどの花芽が雌ずい分化段階に達したのは、25℃/15℃、30℃/20℃区では7月30日、35℃/25℃区では8月10日であった。「佐藤錦」では、処理開始時にはがく片分化段階のものがほとんどであり、7月20日に一部の花で雌ずいの分化が初めて確認された。「佐藤錦」においても気温が高いほど花芽分化の進行が遅れる傾向があり、25℃/15℃区では7月30日、30℃/20℃区では8月10日に全ての花芽が雌ずい分化段階に達したのに対して、35℃/25℃区では8月10日においても雌ずいを形成した花の割合は78%であった。「ナポレオン」では、処理開始時にはがく片分化段階のものが最も多かったが、一部は雄ずい分化段階に達しており、7月10日には一部の花芽で雌ずいの形成が確認された。「ナポレオン」では、花芽分化の進行に気温の影響は認められなかった。

翌春の開花時の調査では、25℃/15℃区ではいずれの品種においても二雌ずい花は全く発生しなかった(第7表)。一方、30℃/20℃区における二雌ずい花の発生率は、「高砂」ではわずか2%であったのに対して、「佐藤錦」では8%とやや高く、「ナポレオン」では16%とさらに高い値を示した。35℃/25℃区では、いずれの品種においても二雌ずい花の発生率は著しく高く、特に「ナポレオン」と「高砂」では30%以上の高い値を示した。葯が雌ずい化あるいは花弁化した花は、25℃/15℃区ではいずれの品種においてもほとんどみられなかった。一方、30℃/20℃区では、「高砂」では葯の分化異常が認められなかったのに対して、「佐藤錦」や「ナポレオン」では20%以上の花で葯の分化異常が認められた。35℃/25℃区では、いずれの品種においても葯の分化異常が生じており、特に「ナポレオン」でその割合が高く、74%にも達した。葯の分化異常が生じている花については、いずれの品種および温度区においても、雌ずい化が花弁化よりも多くみられた。

Table 6. Effect of temperature on the progression of flower bud formation in three cultivars of sweet cherry.

Cultivar	Sampling date	Day/night temperature †	Flowers (%) at the stage of differentiation of :				
			flower primordium	sepal primordium	petal primordium	stamen primordium	pistil primordium
'Takasago'	Jul. 1	Pre-treatment	-	35.0	25.0	40.0	-
	Jul. 10	25°C/15°C	-	-	8.7	82.6	8.7
		30°C/20°C	21.7	17.4	8.7	21.7	30.4
		35°C/25°C	15.0	-	10.0	70.0	5.0
	Jul. 20	25°C/15°C	-	-	-	31.8	68.2
		30°C/20°C	-	-	-	59.1	40.9
		35°C/25°C	-	-	-	54.2	45.8
	Jul. 30	25°C/15°C	-	-	-	4.5	95.5
		30°C/20°C	-	-	-	-	100.0
		35°C/25°C	-	4.2	-	20.8	75.0
	Aug. 10	25°C/15°C	-	-	-	-	100.0
		30°C/20°C	-	-	-	4.8	95.2
35°C/25°C		-	-	-	4.0	96.0	
'Satohnishiki'	Jul. 1	Pre-treatment	11.4	82.9	5.7	-	-
	Jul. 10	25°C/15°C	-	22.2	55.6	22.2	-
		30°C/20°C	27.8	44.4	11.1	16.7	-
		35°C/25°C	-	52.6	21.1	26.3	-
	Jul. 20	25°C/15°C	-	-	-	47.4	52.6
		30°C/20°C	-	5.3	10.5	52.6	31.6
		35°C/25°C	-	16.7	16.7	55.6	11.1
	Jul. 30	25°C/15°C	-	-	-	-	100.0
		30°C/20°C	-	-	-	16.7	83.3
		35°C/25°C	-	5.9	11.8	35.3	47.1
	Aug. 10	25°C/15°C	-	-	-	-	100.0
		30°C/20°C	-	-	-	-	100.0
35°C/25°C		-	-	-	22.2	77.8	
'Napoleon'	Jul. 1	Pre-treatment	30.2	46.5	9.3	14.0	-
	Jul. 10	25°C/15°C	5.0	20.0	25.0	50.0	-
		30°C/20°C	16.7	61.1	5.6	16.7	-
		35°C/25°C	-	19.0	14.3	38.1	28.6
	Jul. 20	25°C/15°C	-	-	-	28.6	71.4
		30°C/20°C	-	-	-	71.4	28.6
		35°C/25°C	-	5.6	-	22.2	72.2
	Jul. 30	25°C/15°C	-	-	-	9.1	90.9
		30°C/20°C	-	-	-	30.0	70.0
		35°C/25°C	-	-	-	10.0	90.0
	Aug. 10	25°C/15°C	-	-	-	5.0	95.0
		30°C/20°C	-	-	-	-	100.0
35°C/25°C		-	-	-	-	100.0	

†: Trees were grown from July 1 to August 14 at the indicated temperatures.

Table 7. Effect of temperature on the occurrence of double pistils and abnormal stamens in three cultivars of sweet cherry.

Cultivar	Day/night temperature †	Percentage of flowers				
		double pistils	abnormal stamens whose anthers were replaced by			
			pistils	pistils and petals	petals	Total
'Takasago'	25°C/15°C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	30°C/20°C	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0
	35°C/25°C	31.3	12.9	0.9	5.2	19.1
'Satohnishiki'	25°C/15°C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	30°C/20°C	8.1	9.0	5.3	8.0	22.3
	35°C/25°C	18.8	5.9	0.5	4.4	10.8
'Napoleon'	25°C/15°C	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3
	30°C/20°C	16.1	18.0	5.6	7.2	30.8
	35°C/25°C	33.3	38.2	28.3	7.8	74.4

†: Trees were grown from July 1 to August 14 at the indicated temperatures.

第3項 花芽形成の異なる段階における高温処理が二雌ずい花の発生に及ぼす影響

前項までの実験結果より、花芽分化期の高温により二雌ずい花が発生することが明らかになったが、花芽分化のいずれの段階において高温に対する感受性が高いのかは定かでない。この点を明らかにするため、本項では、花芽分化期間中一定間隔で高温処理を行って、二雌ずい花の発生頻度を比較した。

材料および方法

香川大学農学部の研究圃場で栽培している10号鉢植えの‘アオバザクラ’台の3年生甘果オウトウ‘佐藤錦’を供試した。1997年6月21日から9月3日まで、時期をかえて15日間ずつ3個体を昼温(8:30-17:30)35°C/夜温25°Cの人工気象室で高温処理した。この期間中、高温処理期間以外は、自然条件下での直射光による高温の影響を極力避けるために、実験個体はすべて光透過率22%の遮光ネット下に置いた。遮光下での実験期間中の平均気温は26.2°Cであった。また、対照区として、3個体を実験期間を通して遮光下で栽培した。各々の高温処理の開始時と終了時に各個体から短果枝上の花芽を5個ずつ採取し、花器原基の形態を観察した。また、9月11日に各個体より花芽を40個ずつ採取し、二雌ずい花の発生率を調査した。

Table 8. Progression of flower bud formation at the onset and at the end of the high temperature treatment (35°C/25°C, day/night) in 'Satohnishiki' sweet cherry .

Period of high temperature treatment	Sampling date	Percentage of flowers that had differentiated :					
		Bract primordia	Flower primordia	Sepal primordia	Petal primordia	Stamen primordia	Pistil primordia
June 21 - July 5	June 21	100.0	-	-	-	-	-
	July 5	67.3	19.2	5.8	7.7	-	-
July 6 - July 20	July 6	28.6	42.9	12.2	16.3	-	-
	July 20	6.5	21.7	47.8	23.9	-	-
July 21 - Aug. 4	July 21	6.4	21.3	55.3	17.0	-	-
	Aug. 4	-	-	12.8	25.5	46.8	14.9
Aug. 5 - Aug. 19	Aug. 5	-	-	21.2	21.2	34.6	23.1
	Aug. 19	-	-	4.4	11.1	33.3	51.1
Aug. 20 - Sep. 3	Aug. 20	-	-	-	-	24.0	76.0
	Sep. 3	-	-	-	-	7.5	92.5

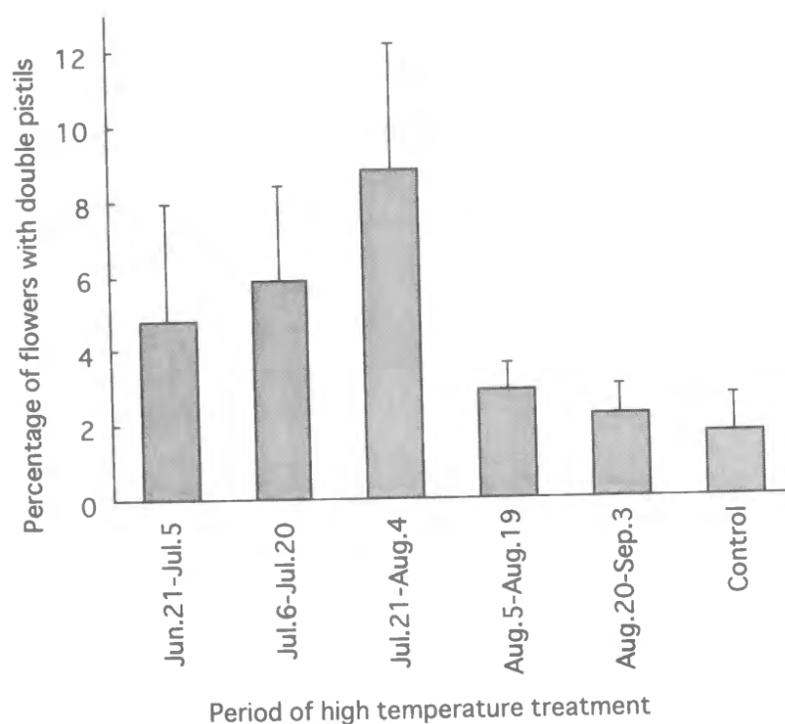


Fig. 15. Effect of high temperature applied in different periods on pistil doubling in 'Satohnishiki' sweet cherry. Bars indicate one SE.

結果

6月21日の高温処理開始時には、短果枝上のえき芽において全ての芽が花芽分化の初期兆候を示していた(第8表)。15日間の高温処理期間中に分化は進行し、8%の花芽で花弁の原基が分化していた。7月6日から高温処理を行った樹では、処理開始時には29%の花芽ががく片や花弁を形成しており、15日後にはその割合は70%以上にまで増加した。しかし、雄ずいや雌ずいの分化は認められなかった。7月21日の高温処理開始時には、72%の花芽でがく片や花弁が分化しており、15日後には雌ずいや雄ずいの原基が分化している花芽がそれぞれ15%、47%も認められた。8月5日の処理開始時には23%の花芽が雌ずい原基を形成しており、処理後には51%にまで増加した。8月20日の処理開始時には、76%の花芽が雌ずいの原基を分化しており、処理後にはほとんどの花芽が雌ずい分化に至った。全体的に、高温処理により花芽分化の進行がやや遅れる傾向にあった。

8月4日以前の高温処理により、二雌ずい花の発生率は対照区と比べて増加し、特に7月21日から8月4日にかけて高温処理を行った樹で最も高くなった(第15図)。一方、8月5日以降の高温処理後の二雌ずい花の発生率は対照区と比べ大きな差異は認められなかった。

第2節 土壌湿度が二雌ずい花の発生に及ぼす影響

モモやアンズでは、高温条件下での乾燥ストレスが二雌ずい花の発生を招くことが経験的に知られている(Tukey, 1954; Ryugo, 1988; Johnsonら, 1992)。西南暖地では、夏季の高温に加えて降水量の不足による土壌乾燥が起りやすく、このことが二雌ずい花の発生を助長している可能性がある。

本節では、この点を明らかにするため、制御環境下および圃場条件下で土壌湿度が二雌ずい花の発生に及ぼす影響を調査した。

第1項 異なる温度条件下における二雌ずい花の発生に及ぼす土壌湿度の影響

材料および方法

香川大学農学部の研究圃場で栽培している'アオバザクラ'台の甘果アウトウ'佐藤錦'12個体を供試した。5年生樹を、花崗土とバーク堆肥を2:1の割合で配合した培養土で満たした10号鉢に植え付け、処理を行うまで、香川大学農学部の研究圃場で自然条件下で栽培した。雌ずい分化前の1995年7月20日に、昼温(8:00-18:00)25°C/夜温15°Cと35°C/25°Cの人工気象室(相対湿度70%)にそれぞれ6個体ずつ搬入した。

Table 9. Effect of temperature and soil moisture condition on midday leaf water potential and the occurrence of double pistils in 'Satohnishiki' sweet cherry.

Treatment *		Leaf water potential (MPa) ± SE		Percentage of flowers with double pistils ± SE	
Temperature	Soil moisture condition	Jul. 20	Aug. 11	Sep. 14 (Flower bud)	Apr. 23 (Bloom)
High	Dry	-18.8 ± 1.3	-34.3 ± 2.8	70.9 ± 6.9	46.2 ± 14.6
	Moist	-19.7 ± 2.8	-31.1 ± 1.5	82.8 ± 0.5	43.4 ± 1.0
Low	Dry	-21.6 ± 1.6	-29.8 ± 1.0	0.0	0.0
	Moist	-19.5 ± 1.2	-18.2 ± 0.7	0.0	0.0
Significance		NS			

* : Trees were grown under moist [soil moisture tension (SMT) < 6 kPa] and dry (SMT < 32 kPa) conditions in growth chambers controlled at 25/15°C(day/night) and 35/25°C from July 20 to September 14.

NS: Nonsignificant or significant at $P \leq 0.05$ by ANOVA.

Table 10. Effect of temperature and soil moisture condition on the progression of flower bud formation in 'Satohnishiki' sweet cherry.

Sampling date	Treatment *		Flowers(%) at the stage of differentiation of :			
	Temperature	Soil moisture condition	flower primordium	sepal or petal primordium	stamen primordium	pistil primordium
Jul. 14	Pre-treatment		100	-	-	-
Aug. 14	High	Dry	-	58.8	41.2	-
		Moist	6.7	66.7	26.7	-
	Low	Dry	20.0	25.0	5.0	50.0
		Moist	11.8	11.8	23.5	52.9
Aug. 24	High	Dry	22.2	5.6	27.8	44.4
		Moist	18.8	6.3	37.5	37.5
	Low	Dry	7.7	-	-	92.3
		Moist	-	14.3	-	85.7
Sep. 14	High	Dry	5.9	-	-	94.1
		Moist	13.3	-	-	86.7
	Low	Dry	-	-	-	100.0
		Moist	5.6	11.1	-	83.3

* : Trees were grown under moist (SMT < 6 kPa) and dry (SMT < 32 kPa) conditions in growth chambers controlled at 25/15°C(day/night) and 35/25°C from July 20 to September 14.

それぞれの温度区について、土壌の水分張力が6kPaに達した時点で水1Lを灌水する湿潤区と、32kPaに達した時点で水1Lを灌水する乾燥区を設けた。また、樹体の水分状態を評価するために、7月20日と8月11日に、日中の灌水前の葉の水ポテンシャルをプレッシャーチャンバーにより測定した。

7月14日、8月14日、8月24日、9月14日に、短果枝上の花芽を各個体から3個ずつ採取し、花の原基の形態的变化を観察した。9月14日に各個体から花芽を10個ずつ採取し、二雌ずい花の発生率を調査した。その後、全ての個体を自然条件下に戻し、十分な灌水を行った。翌春の開花時に二雌ずい花の発生率を調査した。

結果

処理開始時には葉の水ポテンシャルに処理間の差異は認められなかったが、その後、土壌乾燥区では葉の水ポテンシャルが著しく低下した(第9表)。高温・土壌湿潤区では、土壌を湿潤に維持したにもかかわらず、葉の水ポテンシャルが低温・土壌乾燥区とほぼ同じレベルにまで低下した。灌水前には高温・土壌乾燥区では頻繁に、低温・土壌乾燥区では時折、上位葉に軽度のしおれが生じた。

低温区では土壌湿度に関係なく花芽分化の進行が早くなった(第10表)。8月24日には、低温・土壌乾燥区、低温・土壌湿潤区ではそれぞれ92%、86%の花芽が雌ずい原基を形成していたのに対して、両高温区ではその割合はわずか40%程度であった。

高温区では二雌ずい花の発生が著しかったが、発生頻度に土壌湿度の影響は認められなかった(第9表)。一方、低温区では二雌ずい花は全く発生しなかった。翌春の開花時には、高温区では40%以上の花が二雌ずいを形成しており、これらの花では、前節と同様の花弁化や雌ずい化など雄ずいの分化異常が認められた。

第2項 圃場条件下における二雌ずい花の発生に及ぼす土壌湿度の影響

本項では暖地の圃場条件下で雌ずい分化期前後の期間中の土壌乾燥が二雌ずい形成に及ぼす影響を調査した。

材料および方法

香川大学農学部の研究圃場において、前項と同様の培養土で満たした36Lコンテナに植え付けた'アオバザクラ'台の8年生甘果オウトウ'佐藤錦'6個体を圃場条件下で栽培した。1996年7月23日から9月12日まで、樹体を2段階の土壌湿度条件下で栽培した。日中2時間毎に土壌の水分張力を計測し、湿潤区では水分張力が13kPaに達した時点で水2Lを、乾燥区では51kPaに達した時点で水1Lをそれぞれ灌水した。

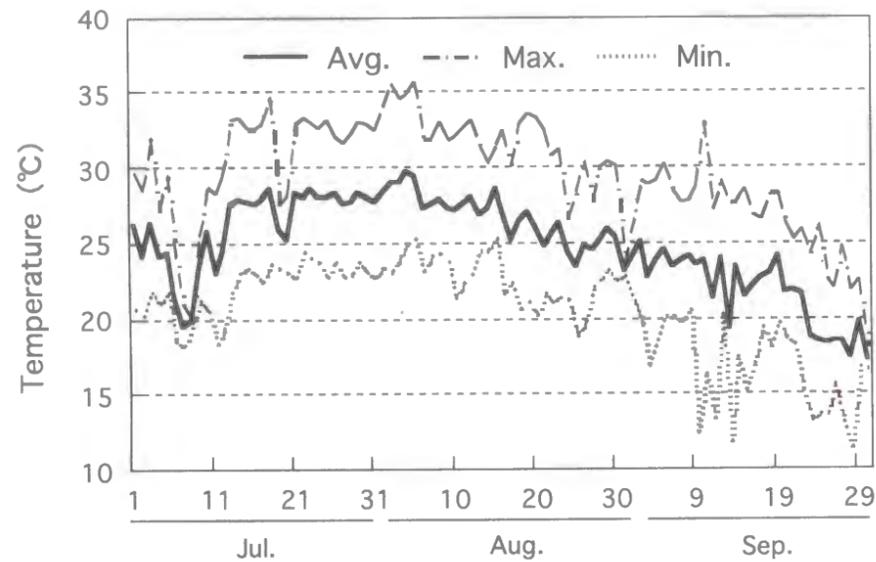


Fig. 16. Changes in daily average, maximum and minimum temperature in the research field of Kagawa University (1996).

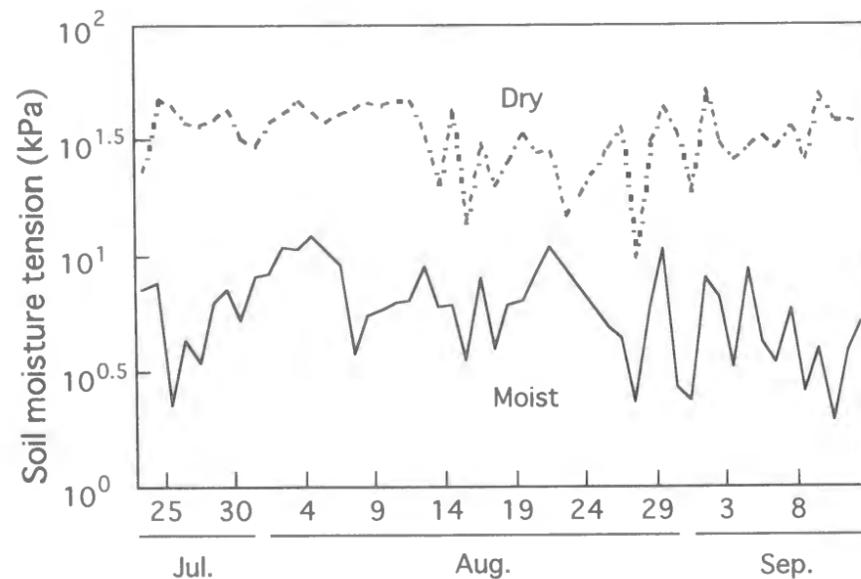


Fig. 17. Changes in daily average soil moisture tension in each treatment. Trees were irrigated with 2L and 1L of water when the soil moisture tension reached 13 kPa (moist) and 51 kPa (dry), respectively.

雨水の侵入を防ぐために、コンテナをシルバーポリエチレンシートで被覆した。日中の葉の水ポテンシャルを前項の方法で測定した。また、処理期間中の圃場の気温を記録した。処理終了後は、全てのコンテナを通常の灌水に戻し、土壌を適湿状態に維持した。10月7日に各個体から花芽を20個ずつ採取し、二雌ずい花の発生率を調査した。また、翌春の開花時にも二雌ずい花の発生率を調査した。

結果

1996年7月から9月の気温の変動を第16図に示した。処理期間中の7月下旬から8月下旬にかけて、日最高気温が30℃を超える日が続いた。処理期間中の土壌の水分張力の日平均値の変化を第17図に示した。土壌の水分張力は、湿潤区で2~12kPa、乾燥区で10~53kPaの範囲内で推移した。乾燥区では、日中に葉のしおれが頻繁に生じ、葉の水ポテンシャルは処理期間を通じて湿潤区に比べて著しく低かった(第18図)。

圃場条件下では、湿潤区においても二雌ずい花発生率が24%に達したが、乾燥区では14%とやや低かった(第11表)。開花時の二雌ずい花率は、花芽中で観察された割合の半分程度であった。

第3節 植物ホルモンが花芽形成と二雌ずい花の発生に及ぼす影響

前節までの実験において、極度の高温下では、二雌ずい形成に加えて、花糸の先端に雌ずい状の付属物が形成された。これは、花の雌性化現象の一種と考えられる。花の雌・雄性と植物ホルモンとの関係については、様々な植物で報告されており(菅, 1980; Chailakhyan・Khrianin, 1987; Sedgley・Griffin, 1989)、甘果オウトウの二雌ずい形成も植物ホルモンの処理により制御される可能性がある。

そこで、本節では、暖地条件下において、各種の植物ホルモン処理が二雌ずい形成に及ぼす影響について検討した。

第1項 各種植物ホルモンが二雌ずい花の発生に及ぼす影響

材料および方法

1996年

香川大学農学部の研究圃場で栽培されている88Lコンクリートポット植えの‘アオバザクラ’台の甘果オウトウ‘佐藤錦’の成木4個体を用いた。1996年7月23日に、1-ナフトレン酢酸(NAA)、アブシジン酸(ABA)、ジベレリンA₃(GA₃)、6-ベンジルアデニン(BA)、2-chloroethanephosphonic acid(エスレル)をそれぞれ100ppmで散布した。

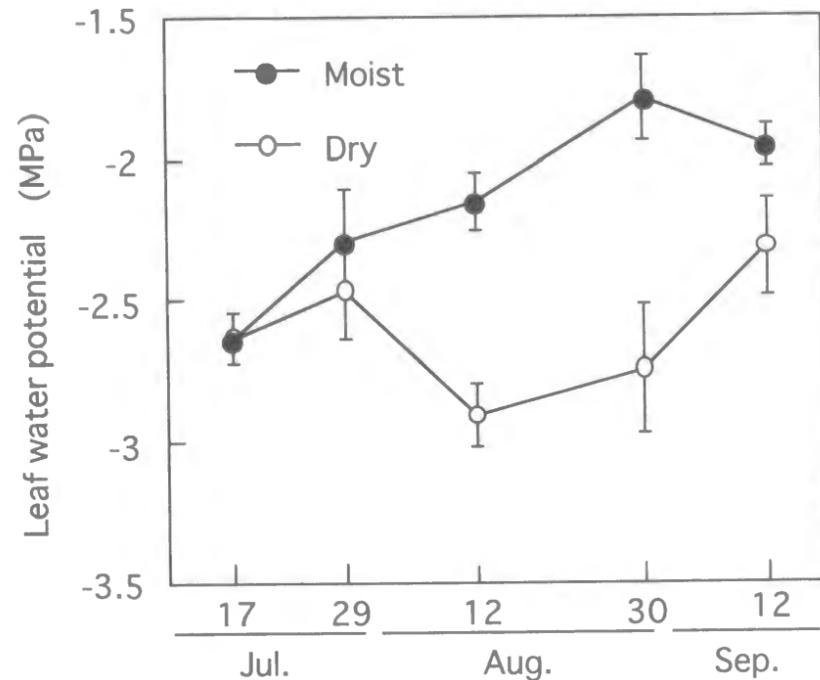


Fig. 18. Effect of soil moisture condition on midday leaf water potential in 'Satohnishiki' sweet cherry. Trees were irrigated with 2L and 1L of water, when the soil moisture tension reached 13 kPa (moist) and 51 kPa (dry), respectively. Bars mean SE.

Table 11. Effect of soil moisture on the occurrence of double pistils in 'Satohnishiki' sweet cherry under field conditions.

Treatment ^a	Percentage of flowers with double pistils ±SE	
	7 Oct. (Flower bud)	16 Apr. (Bloom)
Moist	23.6 ± 2.1	11.0 ± 0.8
Dry	14.0 ± 8.5	8.1 ± 3.3

^a: Trees were irrigated with 2L and 1L water, when the soil moisture tension reached 13 kPa (moist) and 51 kPa (dry), respectively.

いずれも展着剤として Tween 20 (0.05%) を加えた。対照区として、Tween 20 のみを含む蒸留水を散布した。いずれの処理区も 1 個体あたり約 15 短果枝に霧吹きで散布した。同じ枝について、8月3日と8月14日にもそれぞれの溶液を噴霧し、合計3回の処理とした。10月6日に、各処理区について、1個体につき20個ずつの花芽を採取し、二雌ずい花の発生率を調査した。さらに、翌春の開花時にも二雌ずい花の調査を行った。

1997年

1997年にも前年と同様の各種植物ホルモン剤の処理を行った。BAについては、100ppmに加えて、200ppmの処理区も設けた。7月4日から8月4日まで10日毎に合計4回散布を行った。二雌ずい花の発生率についても前年と同様の調査を行った。

結果

1996年

エスレル区の短果枝では早期の落葉が頻繁に生じた。また、GA₃区では、一部の花芽が枯死した。

花芽中の二雌ずい花率は、対照区では26%と比較的高く、BA区でも同様に高い値を示した(第12表)。一方、GA₃区、NAA区ではそれぞれ17%、11%とやや低く、ABA区、エスレル区では10%以下と著しく低くなった。

翌春の二雌ずい花の発生率は、対照区で15%であったのに対して、BA区では27%と著しく高かった(第12表)。一方、他の処理区ではいずれも10%以下と低かった。

1997年

エスレル区やGA₃区では、前年と同様に落葉や花芽の枯死がそれぞれ認められた。GA₃区ではほとんどの花芽が枯死したため、二雌ずい花発生率の調査が不可能であった。NAA区の花芽では、雌ずい形成に至っていないものも多く見られた。

対照区の二雌ずい花発生率は4.3%であった(第12表)。NAA区では二雌ずい花の発生は確認されず、ABA区でも発生率は2.8%と低かった。エスレル区では二雌ずい花が対照区よりもやや多くみられた。一方、BA区では、100ppm、200ppm区でそれぞれ28.6%、36.1%と著しく高い割合で二雌ずい花が発生した。

翌春の開花時にも同様の傾向が認められ、対照区、ABA区、NAA区ではほとんど二雌ずい花の発生が認められなかった(第12表)。それに対して、エスレル区では発生率が6.4%とやや高く、BA区ではさらに11.2-26.5%と高かった。

第2項 サイトカイニンが花芽形成と二雌ずい花の発生に及ぼす影響

前項で、各種植物ホルモン剤を処理した結果、サイトカイニンであるBA処理により

Table 12. Effect of growth regulators on the occurrence of double pistils in 'Satohnishiki' sweet cherry.

Treatment (ppm)	Percentage of flowers with double pistils \pm SE	
	Oct. (Flower bud)	Apr. (Bloom)
1996-97		
Control	25.7 \pm 10.0	15.1 \pm 0.6
GA ₃ 100	17.2 \pm 6.9	7.8 \pm 4.0
ABA 100	7.8 \pm 5.7	7.0 \pm 4.7
NAA 100	11.4 \pm 4.2	4.2 \pm 3.1
Ethrel 100	5.3 \pm 3.1	4.3 \pm 2.7
BA 100	25.6 \pm 10.3	27.2 \pm 12.3
1997-98		
Control	4.3 \pm 1.1	0.3 \pm 0.3
ABA 100	2.8 \pm 2.0	0.0
NAA 100	0.0	0.0
Ethrel 100	6.3 \pm 2.3	6.4 \pm 4.9
BA 100	28.6 \pm 7.9	11.2 \pm 7.6
BA 200	36.1 \pm 10.4	26.5 \pm 10.9

Table 14. Effect of benzyladenine on the occurrence of double pistils in three cultivars of sweet cherry.

Treatment (ppm)	Percentage of flowers with double pistils in		
	'Takasago'	'Satohnishiki'	'Napoleon'
Control	0.9 \pm 0.9 ²	0.9 \pm 0.9	14.6 \pm 10.6
BA (50)	1.0 \pm 1.0	2.4 \pm 2.4	31.1 \pm 4.2
BA (200)	1.0 \pm 1.0	4.0 \pm 2.3	18.3 \pm 7.5

²: SE

二雌ずい花の発生が増加することが示された。そこで、本項では、BAの影響について、花芽分化過程全般への影響も含めて、さらに詳しく調査した。

材料および方法

香川大学農学部の研究圃場に栽植されている‘アオバザクラ’台の甘果オウトウ‘高砂’、‘佐藤錦’、‘ナポレオン’の成木をそれぞれ3個体ずつ供試した。1998年7月9日と7月24日に、6-ベンジルアデニン(BA)を50ppmおよび200ppmで短果枝に噴霧した。展着剤としてTween 20(0.05%)を加えた。対照区として、Tween 20のみを含む蒸留水を散布した。

7月19日から8月19日まで、約10日毎に短果枝上の花芽を各個体から6個ずつ採取し、花芽の分化段階を実体顕微鏡下で観察した。10月8日に各個体から花芽を12個ずつ採取し、二雌ずい花の発生率を調査した。

結果

‘高砂’では、花芽分化の進行において処理による大きな影響は認められず、7月19日にはいずれの処理においても既に30%以上の花原基が雌ずい分化段階に達していた(第13表)。一方、‘佐藤錦’では、BAの濃度が高いほど分化が促進される傾向があり、7月19日にはBA区でのみ雌ずい分化段階に達した花芽がみられ、その割合は高濃度区で高かった。7月29日には、BA50、200ppm区ではそれぞれ76%、95%の花芽が雌ずい分化段階に達していたのに対して、対照区ではその割合はわずか43%であった。‘ナポレオン’でも‘佐藤錦’と同様に、BA処理により花芽分化の進行が促進される傾向が認められた。

‘高砂’では、いずれの処理区でも二雌ずい花の発生率は1%程度であった(第14表)。「佐藤錦」における二雌ずい花の発生率は、対照区ではわずか0.9%であったのに対し、BA50ppm区では2.4%、200ppm区では4.0%であった。「ナポレオン」では、対照区では14.6%の花芽で二雌ずい花が発生しており、BA50ppm処理により発生率は31%に増加した。

第3項 エチレンが花芽形成と二雌ずい花の発生に及ぼす影響

第1項において、エチレンも二雌ずい形成に関係している可能性が示されたことから、エチレンの影響についてもさらに詳しく検討した。

材料および方法

Table 13. Effect of benzyleadenine on the progression of flower bud formation in three cultivars of sweet cherry.

Cultivar	Sampling date	Treatment (ppm)	Flowers (%) at the stage of differentiation of :				
			flower primordium	sepal primordium	petal primordium	stamen primordium	pistil primordium
'Takasago'	Jul. 9	Pre-treatment	7.1	21.4	16.7	54.8	0.0
	Jul. 19	Control	-	-	20.0	40.0	40.0
		BA (50)	-	-	15.4	53.8	30.8
		BA (200)	-	5.0	15.0	20.0	60.0
	Jul. 29	Control	-	-	4.5	27.3	68.2
		BA (50)	-	-	4.8	14.3	81.0
		BA (200)	-	-	-	20.0	80.0
	Aug. 9	Control	-	-	-	26.1	73.9
		BA (50)	-	-	5.0	15.0	80.0
		BA (200)	-	-	4.8	28.6	66.7
	Aug. 19	Control	-	-	-	4.3	95.7
		BA (50)	-	-	-	36.4	63.6
BA (200)		-	-	-	5.0	95.0	
'Satohnishiki'	Jul. 9	Pre-treatment	11.9	42.9	26.2	19.0	0.0
	Jul. 19	Control	-	14.3	42.9	42.9	0.0
		BA (50)	-	14.8	33.3	40.7	11.1
		BA (200)	-	-	10.5	36.8	52.6
	Jul. 29	Control	-	4.8	0.0	52.4	42.9
		BA (50)	-	-	-	23.8	76.2
		BA (200)	-	-	-	5.3	94.7
	Aug. 9	Control	-	-	-	31.6	68.4
		BA (50)	-	-	-	10.5	89.5
		BA (200)	-	-	-	11.1	88.9
	Aug. 19	Control	-	-	-	4.8	95.2
		BA (50)	-	-	-	5.9	94.1
BA (200)		-	-	-	4.3	95.7	
'Napoleon'	Jul. 9	Pre-treatment	12.1	39.4	33.3	15.2	0.0
	Jul. 19	Control	-	28.6	28.6	14.3	28.6
		BA (50)	-	-	-	50.0	50.0
		BA (200)	-	10.5	5.3	42.1	42.1
	Jul. 29	Control	-	-	-	40.0	60.0
		BA (50)	-	-	-	35.7	64.3
		BA (200)	-	-	-	-	100.0
	Aug. 9	Control	-	-	-	40.0	60.0
		BA (50)	-	-	-	-	100.0
		BA (200)	-	-	-	-	100.0
	Aug. 19	Control	-	-	-	6.7	93.3
		BA (50)	-	-	-	-	100.0
BA (200)		-	-	-	-	100.0	

香川大学農学部の研究圃場で栽培しているコンテナ植えの‘アオバザクラ’台の9年生甘果オウトウ‘佐藤錦’3個体を供試した。エスレルを100ppmおよび200ppmの濃度で処理した。展着剤としてTween 20 (0.05%)を加えた。対照区として、展着剤のみを含む蒸留水を与えた。処理は、100ppm区では1999年7月14日、24日、8月3日の3回、200ppm区では7月21日、8月2日の2回、短果枝に噴霧した。

7月14日から8月23日まで約10日毎に花芽を各個体の各処理区から4個ずつ採取し、花芽の分化段階を調査した。9月22日に各個体の各処理区から花芽を15個ずつ採取し、花芽中の二雌ずい花の発生率を調べた。

結果

対照区では8月3日に既に雌ずい分化段階に達した花芽があったが、エスレル処理区ではいずれの濃度でも雄ずい分化段階までであった(第15表)。8月23日には対照区では86%の花芽が雌ずい分化段階に達していたが、エスレル処理ではいずれの濃度でもその割合は20%前後であった。

花芽中の二雌ずい花の発生率は、対照区ではわずか1%であったのに対し、エスレル100ppm区では12%、200ppm区では10%と高い値を示した(第19図)。

第4節 暖地における二雌ずい形成の抑制

前節までに、甘果オウトウの二雌ずい花は、花芽形成の前期において30℃を超える高温に遭遇することにより発生することが明らかになった。このことから、この時期に樹体を高温にさらさないことが、二雌ずい形成の抑制に重要であると考えられる。その方策として、遮光により樹体温の上昇を防ぐことや、作型を変えることにより花芽分化の時期が7月下旬～8月上旬の最も高温となる時期にあたることを回避させることなどが考えられる。本節では、暖地の圃場条件下において、これらの方法を適用し、二雌ずい形成の抑制効果を検討した。

第1項 遮光による二雌ずい形成の抑制効果

前章において、二雌ずい花は、樹冠内の陰の部分よりも直射光の当たる部位で多く発生することが観察された。このことは、強い日射によりもたらされる花芽の温度上昇により、二雌ずい花が増加することを示唆している。逆に、樹体に人工的な遮光を施すことにより、二雌ずい花の発生を抑制できるかもしれない。そこで、本項では、暖地条件下における夏季の遮光が二雌ずい花の発生に及ぼす影響を調査した。

Table 15. Effect of Ethrel on the progression of flower bud formation in 'Satohnishiki' sweet cherry.

Sampling date	Treatment (ppm)	Flowers (%) at the stage of differentiation of:				
		flower primordium	sepal primordium	petal primordium	stamen primordium	pistil primordium
July 14	Pre-treatment	63.6	27.3	9.1		
July 24	Control			27.3	72.7	
	Ethrel (100)			53.8	46.2	
Aug. 3	Control			7.7	61.5	30.8
	Ethrel (100)		6.7	53.3	40.0	
	Ethrel (200)			16.7	83.3	
Aug. 13	Control				27.3	72.7
	Ethrel (100)			41.7	33.3	25.0
	Ethrel (200)		7.7	15.4	53.8	23.1
Aug. 23	Control			7.1	7.1	85.7
	Ethrel (100)		8.3	8.3	66.7	16.7
	Ethrel (200)			7.1	71.4	21.4

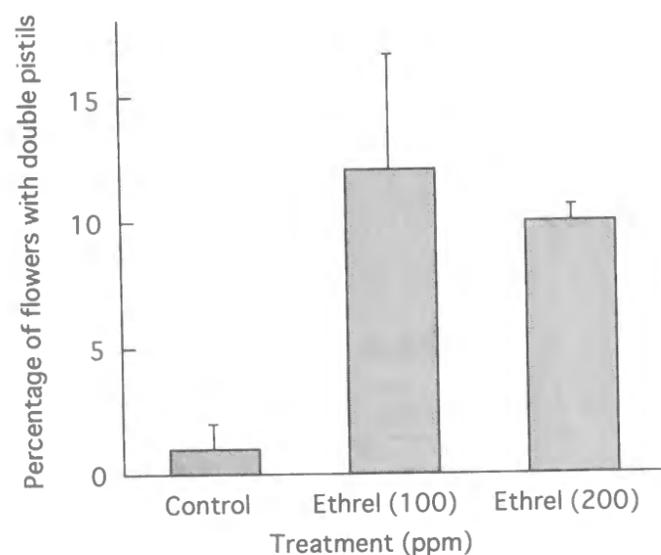


Fig. 19. Effect of Ethrel on the occurrence of double pistils in 'Satohnishiki' sweet cherry. Bars indicate one SE.

材料および方法

1995年

香川大学農学部の研究圃場で栽培している10号鉢植えの「アオバザクラ」台の5年生甘果オウトウ「佐藤錦」を用いた。1995年7月23日に、光透過率の異なる2種類のシルバータイプの遮光ネットで被覆したパイプハウスにそれぞれ3個体ずつを搬入した。これらの遮光下での光合成有効放射束密度(PPFD)を、光量子センサー(LI-190SA、LI-COR社)で測定した結果、PPFDは直射光下で得た値の53%、78%であった。対照区として3個体を直射光下で栽培した。いずれの処理区においても、土壌の水分張力が13kPaに達した時点で水1Lを灌水した。処理期間中の遮光ハウスの内外の気温を、地上1.5mに設置した熱電対で計測した(第20図)。また、日中の葉の水ポテンシャルをプレッシャーチャンバーにより測定した。

10月4日に各個体から花芽を10個ずつ採取し、二雌ずい花の発生率を実体顕微鏡により調査した。さらに、二雌ずい花の形状について、2本の雌ずい原基の大きさの比較により、一方の雌ずいが他よりも著しく短いもの(S)、半分程度のもの(M)、ほぼ等しいもの(L)に分類した(第21図)。その後、全ての個体を圃場条件に戻した。その後、翌春の開花時にも二雌ずい花の発生率を調査した。

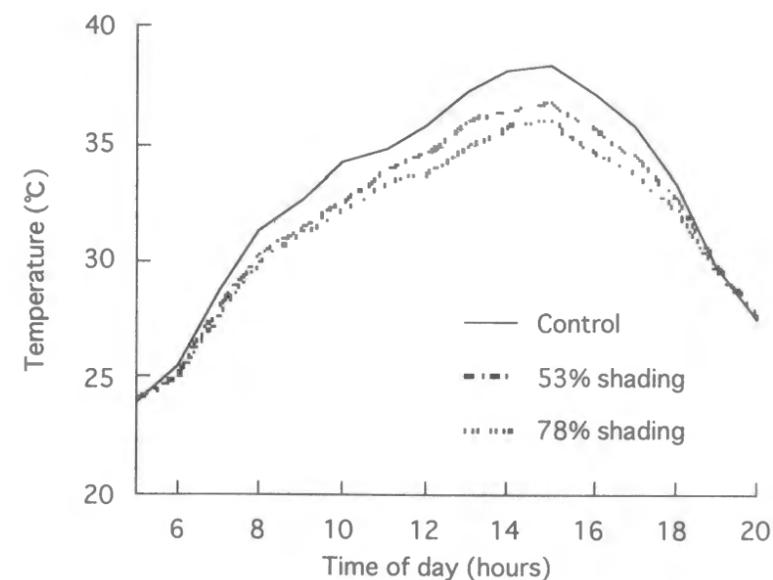


Fig. 20. Diurnal change (August 1, 1995) of air temperature under different levels of shading.

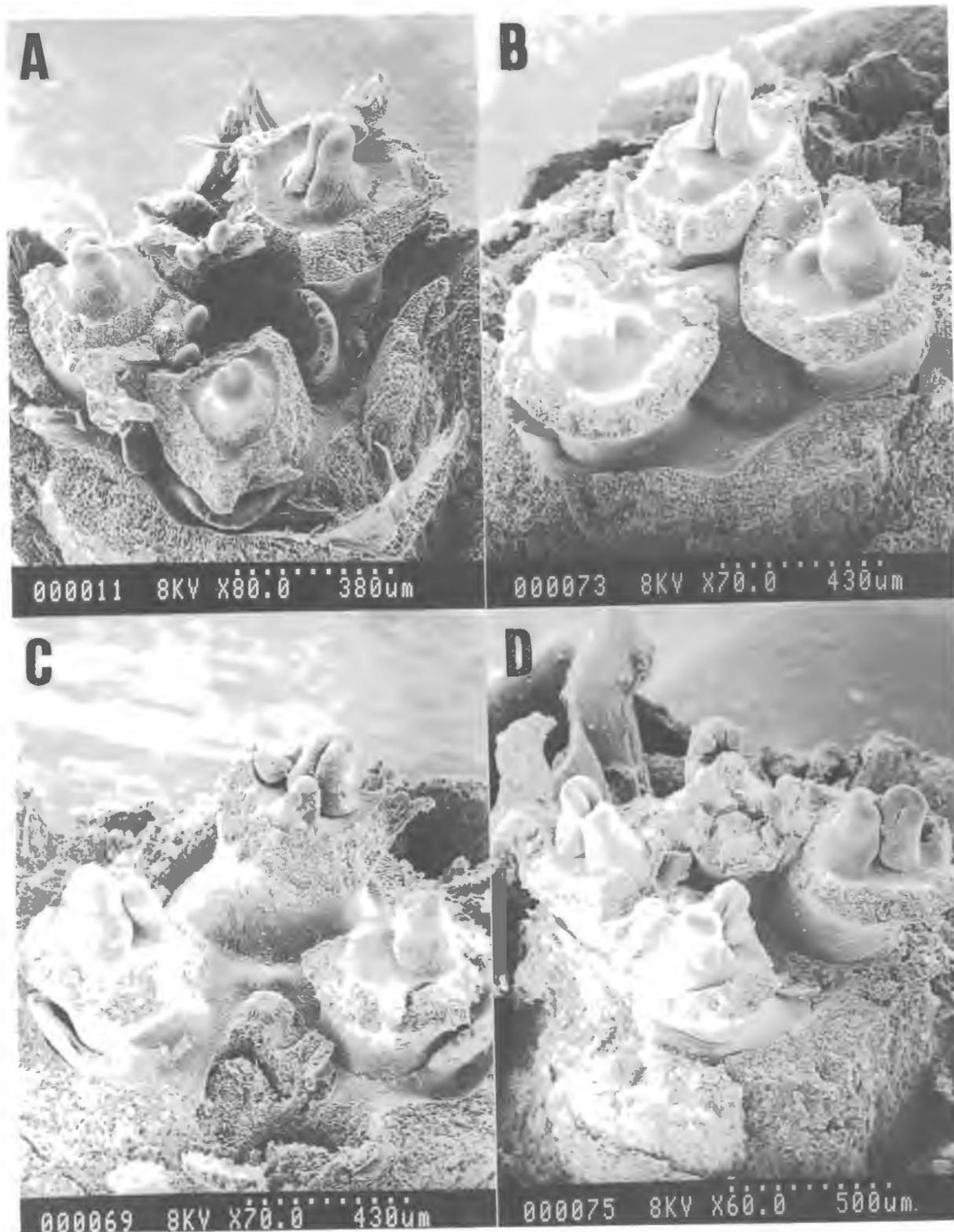


Fig. 21. Classification of flower primordia by the relative size of pistils. Normal flower primordia (Plate A) and abnormal ones with double pistils classified into three groups : (S) one pistil much shorter than the other (Plate B); (M) one pistil about half the length of the other (Plate C); and (L) pistils of approximately equal length (Plate D). Bars : 200 μ m. (Sample date 4 October, 1995)

1997年

同圃場で栽培しているコンテナ植えの‘アオバザクラ’台の9年生‘佐藤錦’を供試した。1997年7月16日から9月16日まで、1995年の実験と同様の遮光処理を行った。各処理区につき3個体を用いた。いずれの処理区においても、土壌の水分張力が13kPaに達した時点で水2Lを灌水した。処理終了後は全ての個体を圃場条件に戻した。10月13日に各個体から花芽を20個ずつ採取し、二雌ずい花の発生率を調査した。二雌ずい花の形状については、1995年の実験と同様に3種類に分類した。翌春の開花時にも二雌ずい花の発生率を調査した。

結果

1995年

7月下旬から8月下旬にかけての日最高気温の平均は33.6℃であり、日最高気温が35℃を超えた日が14日に達した(第22図)。7月23日から8月31日の遮光ハウス内の日最高気温の平均は、外気温と比べて、53%遮光区で1.8℃、78%遮光で3.2℃低下した。同期間中の日中(6:00-18:00)の平均気温は、53%遮光区で1.2℃、78%遮光区で2.1℃低下した。日中の葉の水ポテンシャルは、遮光の影響をほとんど受けなかった(データ略)。

10月4日に採取した花芽において、対照区では二雌ずい花の発生率が47%と比較的高く、53%遮光は発生率に影響しなかった(第16表)。78%遮光では二雌ずい花の発生率は減少する傾向にあったが、有意な差は認められなかった。対照区では花芽の25%が同等の大きさに発達した2つの雌ずいを有していた。53%遮光区では、その割合は対照区と有意には変わらなかったが、78%遮光区では著しく減少した。

翌春の開花時における二雌ずい花の発生率は、同等に発達した2つの雌ずいを有する花芽の割合とほぼ一致しており、78%遮光では対照区に比べて二雌ずい花の発生率が著しく減少した(第16表)。

1997年

7月下旬から8月下旬にかけての日最高気温の平均は31.2℃であり、日最高気温が35℃を超えた日はわずか2日であった(第22図)。

全体的に、二雌ずい花の発生率は、1995年と比べて著しく低い値を示した(第16表)。対照区の花芽では、二雌ずい花の発生率が21%であり、その半数は同等に発達した2つの雌ずいを有していた。遮光によりその割合はさらに減少し、53%遮光区でさえ、2.4%の花芽しか二雌ずいを形成していなかった。翌春の開花時には、対照区では二雌ずい花の発生率はわずか5.5%であり、遮光によりその割合はさらに減少した。

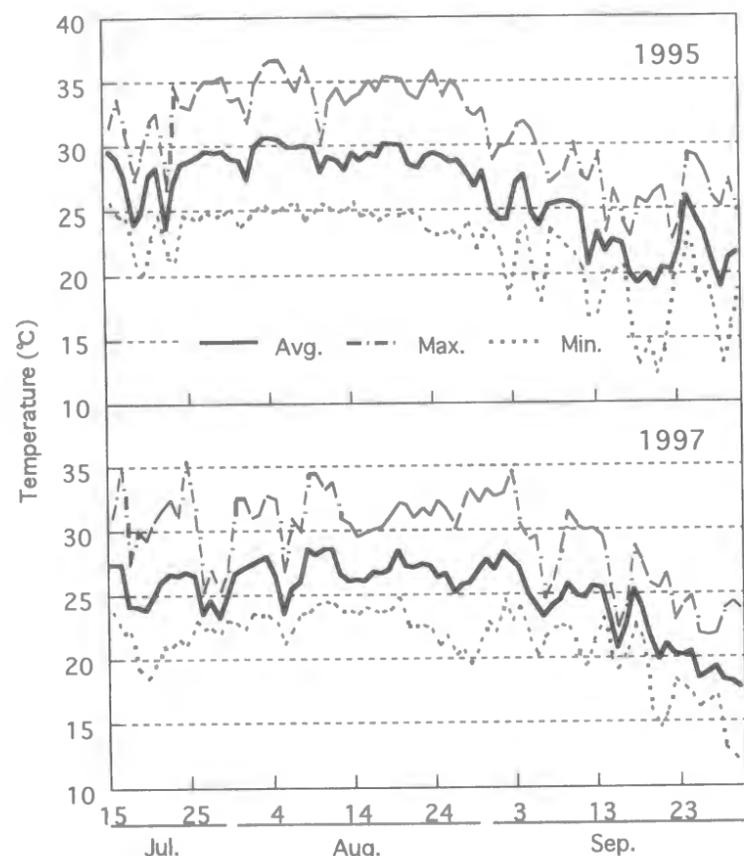


Fig. 22. Daily average, maximum and minimum temperatures in the research field of Kagawa University (1995 and 1997).

Table 16. Effect of shading on the occurrence of double pistils in 'Satohnishiki' sweet cherry.

Shading	Percentage of flowers with double pistils \pm SE				
	Total	In the bud			At anthesis
		S ²	M	L	
Experiment 1 (1995)					
Control	47.0 \pm 14.7	10.9 \pm 9.4	11.0 \pm 6.3	25.1 \pm 3.8	24.2 \pm 2.6
53%	53.3 \pm 4.2	21.1 \pm 9.2	14.6 \pm 7.1	17.6 \pm 6.7	19.4 \pm 6.9
78%	24.4 \pm 17.7	12.2 \pm 8.9	10.2 \pm 7.0	2.0 \pm 2.0	1.5 \pm 0.3
Significance	NS	NS	NS	.	.
Experiment 2 (1997)					
Control	21.4 \pm 4.8	5.5 \pm 2.8	4.9 \pm 1.4	11.0 \pm 1.0	5.5 \pm 5.0
53%	2.4 \pm 1.4	0.8 \pm 0.8	0.8 \pm 0.8	0.8 \pm 0.8	0.3 \pm 0.3
78%	1.1 \pm 1.1	1.1 \pm 1.1	0.0 \pm 0.0	0.0 \pm 0.0	0.3 \pm 0.3
Significance	.	NS	.	.	NS

S: One pistil much shorter than the other (S); one pistil about half the length of the other (M); and pistils of approximately equal length (L).

NS: Nonsignificant or significant at $P < 0.05$ by ANOVA.

第2項 促成栽培による二雌ずい形成の抑制効果

第1節では、花芽分化の前期、特になく片分化段階から雄ずい分化段階にかけての時期の高温遭遇により二雌ずい花が多発することを示した。この時期は、暖地栽培条件では7月下旬から8月中旬にあたり、最も気温の高い時期と一致する。したがって、作型を変更することにより、花芽分化期を二雌ずい花を誘発するような高温期間外に移行すれば、二雌ずい花の発生を抑制することが期待できる。

そこで、本項では、暖地条件下での促成栽培が二雌ずい花の発生に及ぼす影響を調査した。

材料および方法

香川県仲多度郡満濃町の商業農園で、前期加温栽培、後期加温栽培および無加温栽培されている甘果オウトウ '佐藤錦' の成木を供試した。それぞれの作型における加温開始時期、開花開始日および収穫期を第17表に示した。なお、いずれの作型においてもハウスの被覆は果実収穫後には除去した。それぞれの作型から5樹を選び、1996年6月24日から8月26日まで、約10日毎に短果枝上の花芽を各個体から15個ずつ採取し、花芽の発育段階を調査した。10月28日に、各個体より花芽を20個ずつ採取して、二雌ずい花の発生率を調査した。

結果

気温は、梅雨明け後の7月中旬以降急速に上昇し、7月下旬から8月中旬まで最高気温が30℃を超える日が続いた(第23図)。いずれの作型においても、6月24日には既に花芽分化開始の徴候がみられた(第18表)。その後、前期加温栽培では、花卉や雄ずいの分化が急速に進み、7月26日までに70%以上の花芽が雌ずいの原基を形成した。後期加温栽培では分化の進行がやや遅れたが、7月26日には57%の花芽で雌ずいが分化した。一方、無加温栽培では、なく片および花卉の原基は7月中旬から下旬にかけて分化し始め、8月15日においても雌ずいを分化した花芽はわずか23%であった。

両加温栽培では二雌ずい花の発生はほとんど認められなかった(第24図)。一方、無加温栽培では10.3%の花芽が二雌ずいを形成していた。

第5節 考察

1. 温度環境が花芽形成と二雌ずい花の発生に及ぼす影響

本章における実験結果から、暖地における二雌ずい花の発生の原因として、花芽分化

Table 17. Onset of heating, first bloom and harvest under various culture conditions.

Culture condition	Onset of heating	First bloom	First harvest
Early forcing	Jan. 31	Mar. 6	May 1
Late forcing	Mar. 4	Mar. 27	May 26
Non-forcing	—	Apr. 25	June 9

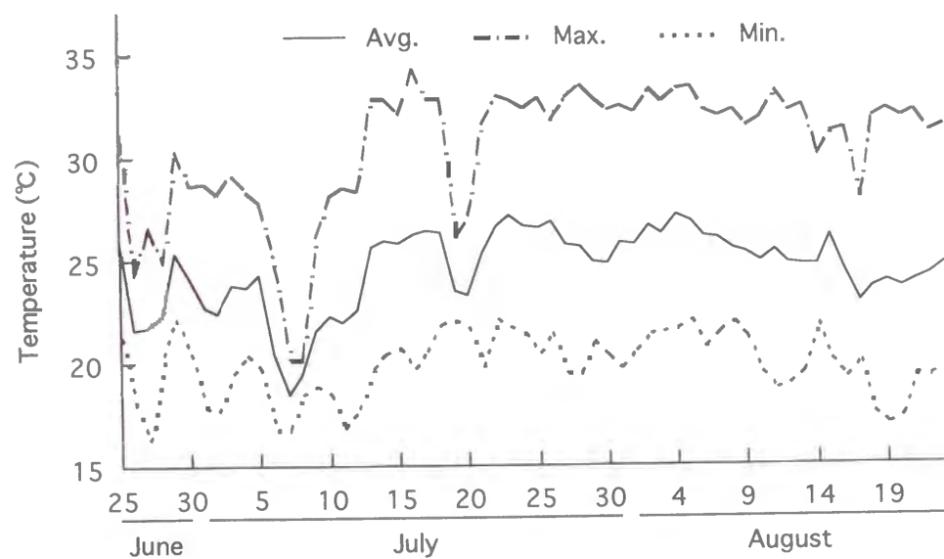


Fig. 23. Changes in daily average, maximum and minimum temperature in a commercial orchard located in Mannou-cho, Kagawa prefecture (1996).

Table 18. Influence of forcing on the progression of flower bud formation in 'Satohnishiki' sweet cherry

Sampling date	Culture condition	Percentage of flowers that had differentiated :					
		Bract primordia	Flower primordia	Sepal primordia	Petal primordia	Stamen primordia	Pistil primordia
June 24	Early forcing	28.6	71.4	-	-	-	-
	Late forcing	100.0	-	-	-	-	-
	Non-forcing	100.0	-	-	-	-	-
July 4	Early forcing	-	-	25.0	62.5	12.5	-
	Late forcing	33.3	11.1	22.2	33.3	-	-
	Non-forcing	57.1	42.9	-	-	-	-
July 15	Early forcing	-	-	7.1	57.1	35.7	-
	Late forcing	7.7	15.4	7.7	46.2	23.1	-
	Non-forcing	-	66.7	33.3	-	-	-
July 26	Early forcing	-	-	-	-	23.1	76.9
	Late forcing	-	-	-	7.1	35.7	57.1
	Non-forcing	-	20.7	42.0	33.6	3.7	-
Aug. 5	Early forcing	-	-	-	7.1	21.4	71.4
	Late forcing	-	-	-	-	9.1	90.9
	Non-forcing	-	6.7	20.0	40.0	33.3	-
Aug. 15	Early forcing	-	-	-	-	-	100.0
	Late forcing	-	-	-	-	-	100.0
	Non-forcing	-	-	7.7	-	69.2	23.1
Aug. 26	Early forcing	-	-	-	-	-	100.0
	Late forcing	-	-	-	-	-	100.0
	Non-forcing	-	-	-	-	-	100.0

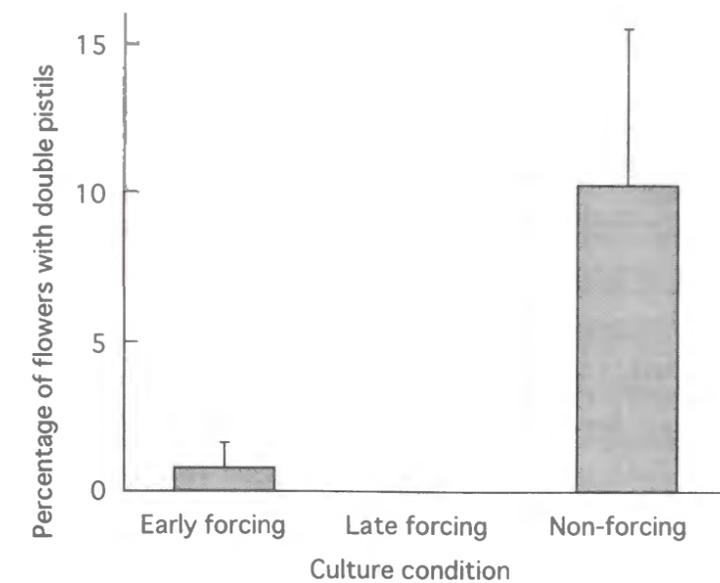


Fig. 24. Influence of forcing on the occurrence of double pistils in 'Satohnishiki' sweet cherry. Bars indicate one SE.

期の高温条件が深く関わっていることが明らかになった。

まず品種間の比較において、主要品種の‘佐藤錦’の二雌ずい形成は、日中 30℃以上の高温にさらされた場合に起こることが示された。また‘高砂’は、日中 35℃に置かれた場合に二雌ずい花が多く発生した。このことから、‘高砂’も潜在的な二雌ずい形成能を有していることが示された。しかし、‘高砂’の二雌ずい形成の温度閾値は‘佐藤錦’より高く、このことが暖地の環境条件下においても二雌ずい花の発生率が低い一因であろう。一方、自然条件下で二雌ずい花の発生が著しかった‘ナポレオン’の二雌ずい形成の温度域は‘佐藤錦’とほぼ同様とみられた。しかし、この温度域に対する‘ナポレオン’の反応性は‘佐藤錦’よりかなり高く、30℃以上の高温に遭遇すると二雌ずい花を多発するものと思われる。

花芽の分化過程における高温遭遇時期の影響については、がく片および花卉の分化段階にある花芽で二雌ずい花の発生が最も多く、それ以前の分化段階にある花芽では二雌ずい花の発生頻度は小さかった。一方、雄ずい分化段階以降にある花芽では、高温処理を行っても二雌ずい花の発生率は増加しなかった。このことから、花芽の高温に対する二雌ずい形成の感受性は、がく片分化段階から花卉分化段階への移行期において最も大きくなるものとみられた。

花芽分化の進行に及ぼす温度条件の影響について、Moss (1969) はスウィートオレンジにおいて、初冬に花芽分化を開始した樹を 30℃以上の高温に遭遇させると、その後の花芽の発達が抑制されたことを報告している。本実験において、‘佐藤錦’や‘高砂’では、高温による花芽分化の進行の遅れが観察され、花芽原基が高温にさらされる期間が拡大される可能性が示された。このこともまた、高温条件下での二雌ずい花の発生を助長する一因となっているのかもしれない。

一方、本実験の結果より、二雌ずい花の 2 個の雌ずい原基の分化は短期間のうちにほぼ同時に進行するものとみられた。このことから、第 1 雌ずいが形成されてある程度発達した後には、第 2 の雌ずいの分化は起こらないものと推察される。このことはさらに詳細な解剖学的な観察により確認する必要があるが、花芽分化の過程の特定の時期に温度条件を制御することで二雌ずい花の発生を制御できる可能性を示唆している。

二雌ずい形成に加えて、35℃に達する日中の著しい高温の下では、‘佐藤錦’と‘ナポレオン’では特に、葯に替わって花糸の先端に雌ずい状の組織が形成された。Ryugo (1988) は、この現象が、雌ずいが花托の内部組織上に集合しているバラの果実のような形態の果実の形成へと向かう進化段階ではないかと推察している。一方、この現象は花の雌性化を反映しているものかもしれない。花の雌・雄性と植物ホルモンとの関係については多くの報告があり (菅, 1980; Chailakhyan・Khrianin, 1987; Sedgley・Griffin, 1989)、甘果オウトウの二雌ずい形成もまた植物ホルモンにより制御されている可能性

が考えられる。

2. 土壌湿度が二雌ずい花の発生に及ぼす影響

二雌ずい形成に及ぼす土壌湿度の影響について、モモでは、生育期間中に 2~3 週間毎の灌水を行った区では翌春の摘果時の双子果の発生率が 5% 以下であったのに対して、6月中旬から 10月中旬まで一度も灌水を行わなかった土壌乾燥区では、その割合が著しく増加し、30%に達したことが報告されている (Johnson ら, 1992)。オウトウにおいても夏季の高温条件下での土壌乾燥が二雌ずい花の発生を助長するものと推察されている (Ryugo, 1988; 深井, 1995)。本実験において、異なる温度条件下で与えた土壌乾燥処理が二雌ずい形成に及ぼす影響をみたところ、低温・土壌乾燥区では、樹は明らかに強い水ストレスの症状を示したにもかかわらず、二雌ずい花の発生は全く認められなかった。このことは、少なくとも低温下での水ストレスは二雌ずい形成を誘導しないことを示唆している。しかし、高温条件では、二雌ずい花の発生率は土壌湿度にかかわらず著しく高かった。高温・土壌湿潤区では、おそらく激しい蒸散により、葉の水ポテンシャルが土壌乾燥区とほぼ同じレベルにまで低下していたものとみられ、水ストレスの二雌ずい形成への関与を明確にすることはできなかった。

一方、圃場条件下では、夏期の高温期間中の土壌乾燥処理により、葉の水ポテンシャルが著しく減少し、植物体の萎凋が時折見られたにもかかわらず、二雌ずい花の発生率は増加しなかった。これらの結果より、甘果オウトウでは、二雌ずい花の発生において、水ストレスは関与せず、高温が主たる要因であると考えられた。スモモでも、収穫後の 5月下旬から 10月まで、灌水量の半減と灌水の一時的な中断の 2 種類の土壌乾燥処理を施した結果、茎の水ポテンシャルはこれらの土壌乾燥処理によりかなり低下したにもかかわらず、翌年の双子果の発生率はいずれの処理区においても 2% 以下であり、土壌乾燥処理による双子果の増加は認められなかったことが報告されている (Johnson ら, 1994)。

3. 植物ホルモンが花芽形成と二雌ずい花の発生に及ぼす影響

各種植物ホルモン処理が二雌ずい形成に及ぼす影響を調べたところ、サイトカイニン活性物質である BA のみが二雌ずい花の発生率を著しく増加させた。サイトカイニンは、ウリ科植物やヤマブドウなどの花の雌性化を促進する植物ホルモンであることが知られており (菅, 1980; Chailakhyan・Khrianin, 1987)、甘果オウトウの二雌ずい形成にも関与しているものと思われる。しかし、BA の処理濃度を高くしても雄ずいの雌ずい化は生じないことや、BA は花芽分化の進行を促進することなどからみると、BA による二雌ずい形成の機構は、高温が誘導するものとはやや異なることも考えられた。

一方、エチレンも、ウリ科の植物で花の雌性化を招くことが知られている (菅, 1980)。1997年と 1999年の実験では、エチレンにより二雌ずい花がやや増加し、花芽分化の

進行が抑制された。しかし、短果枝葉や花芽の脱離が激しく生じるほどエスレルの濃度を高くしても、二雌ずい花の発生頻度は高温処理に比べて著しく低く、雄ずいの雌ずい化も認められなかった。生長調節物質の処理により二雌ずい花発生の抑制法を検討する上でも、高温による二雌ずい花の形成過程における内生ホルモンのレベルの変動について、さらに詳細に調査する必要がある。

4. 暖地における二雌ずい形成の抑制

遮光処理により、最高気温は1.8℃～3.2℃低下した。本実験では花芽の温度を計測していないが、遮光は、バナナの偽茎 (Eckstein ら, 1997) やブドウ (Klenert, 1974)、ユリ (Sorrentino ら, 1997) の葉の温度を低下させることが報告されており、甘果オウトウにおいても芽の温度を低下させ、二雌ずい形成を抑制したものと考えられる。前章において、二雌ずい花の発生は、樹冠の北側や内部の陰になっている結果母枝では南側や頂部よりも少なかったことや、結果母枝上の下向きや北向きに伸長した短果枝では上向きや南向きのものよりも少なかったことについても、同様の理由であると思われる。

本章で行った全ての実験において、開花時における二雌ずい花の発生率は、秋季の花芽中での発生率に比べて著しく減少していた。このことについて、二雌ずい花の雌ずい原基の相対的な大きさを分類して調査した遮光の影響をみた実験から、開花時の二雌ずい花の多くは、同等に発達した2本の雌ずい原基を有する花芽から発達したものとみられた。このことは、おそらく2本の雌ずいのうち発達程度の劣るものは、より発達した雌ずいと競争により、萌芽時に発育を止め、退化することを示唆している。遮光処理は、この同等に発達した2本の雌ずいを有する花芽原基の割合を著しく低下させ、その結果、翌春の開花時における二雌ずい花の割合を減少させることが明らかになった。遮光により同等に発達した雌ずい原基の割合が減少する理由はなお明らかではないが、栄養的あるいはホルモンの要因を介して、雌ずいの分化の遅れをもたらしているのかもしれない。

本実験の結果からみると、盛夏期の一時的な遮光は、特に平年に比べ夏期の気温が高く経過するような年次には、二雌ずい花の発生を抑制できる実際的な手段となりうることを示された。一方で、遮光は、光合成による同化率の低下をもたらす懸念があるが、甘果オウトウの'Bing' や 'Mazzard' では、光合成の光飽和点が $400 \sim 700 \mu \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ とナシやブドウなどの果樹に比べて低いことが報告されている (DeJong, 1983; Roper・Kennedy, 1986)。本実験において、78%の遮光レベルでは、日中の光合成有効放射束密度が $500 \mu \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 前後まで減少したが、これは、少なくとも樹冠外周の葉の光合成速度に大きな低下はもたらさないものと思われる。資材や労力のコストを考慮した上で、遮光処理の商業生産への適用を詳細に検討する必要がある。

暖地条件においても促成栽培では、二雌ずい花はほとんど発生しないことが確認され

た。促成栽培により花芽分化が促進された日数は、開花が促進された日数と比べると短かったものの、花芽の分化開始やその後の進行は著しく促進された。その結果、気温が急激に上昇し始める7月中旬までに、促成栽培では、花弁や雄ずいの原基が既に形成された。これに対して無加温栽培では、この時点ではほとんどの花芽ががく片分化の段階であった。このことは、促成栽培された樹の花芽は、花芽形成の後期、すなわち既に雄ずいや雌ずいが分化した段階において30℃を超える高温に遭遇するが、無加温栽培の樹の花芽は、花芽形成の前期において高温にさらされることを意味している。促成栽培条件下で生じた樹の生理的な変化が二雌ずい花の発生に間接的に影響している可能性もあるが、本章の第1節-第3項で示されたように、雄ずい形成期以降の花芽では、二雌ずい形成における高温感受性は著しく低下するため、促成条件下では二雌ずい花の発生が抑制されたものと考えられる。

このように、促成栽培では、花芽が感受性のある分化段階に高温に遭遇するのを防ぐことにより、二雌ずい形成を抑制することができることが示された。これを実際栽培に適用する場合、甘果オウトウの花芽分化は一般に収穫後すぐに起こることから(渡部・梅津, 1980; Guimond ら, 1998)、施設内が高温となるのを回避するため、被覆資材は収穫後できるだけ早く取り除くべきであろう。また、第4節-第1項で示したように、気温を二雌ずい誘導の閾値より低く維持するために、二雌ずい形成における花芽の感受性の高い期間には短期の遮光を併用することも、二雌ずい形成を抑制するのにさらに効果的であるかもしれない。

第6節 摘要

甘果オウトウの二雌ずい花の発生に関わる環境要因および植物ホルモンの影響を調査するとともに、暖地条件の香川における遮光や作型の調整による二雌ずい形成の抑制効果についても検討した。

1. 7月中旬から9月上旬にかけて、'佐藤錦'を昼温35℃、30℃、25℃(夜温は全て25℃)の人工気象室に搬入し、花芽分化の進行と二雌ずい花の発生頻度を調査した。花芽分化の進行は温度が高いほど遅れる傾向がみられた。25℃区では全く二雌ずい花が認められなかったのに対して、30℃を超えると二雌ずい花の発生率は著しく増加した。

7月上旬から8月中旬にかけて、'佐藤錦'、'高砂'、'ナポレオン'を昼温35℃/夜温25℃、30℃/20℃、25℃/15℃の人工気象室に搬入した。'佐藤錦'や'ナポレオン'では、昼温30℃以上の処理区で二雌ずい花が多発したが、30℃/20℃区における二雌ずい花の発生率は'ナポレオン'で'佐藤錦'よりもかなり高かった。'高砂'

では、30℃/20℃区では二雌ずい花の発生はわずかであったが、35℃/25℃区では二雌ずい花が多発した。35℃/25℃区では、特に‘ナポレオン’や‘佐藤錦’で雄ずいの雌ずい化や花弁化も多くみられた。

6月中旬から9月上旬にかけての花芽分化期間中に一定間隔で‘佐藤錦’に高温処理を行って、二雌ずい花の発生頻度を比較した。がく片および花弁の分化段階にある花芽への高温処理により、二雌ずい花の発生が最も多くなり、それ以前の分化段階にある花芽への高温処理では、二雌ずい花の発生頻度は小さかった。一方、雄ずい分化段階以降にある花芽では、高温処理を行っても二雌ずい花の発生率は増加しなかった。

2. 7月下旬から9月中旬にかけて、‘佐藤錦’を昼温35℃/夜温25℃（高温区）、25℃/15℃（低温区）の人工気象室に搬入し、さらにそれぞれの温度区について、土壌の水分張力が6kPaに達した時点で水1Lを灌水する湿潤区と、32kPaに達した時点で水1Lを灌水する乾燥区を設けた。土壌乾燥区では、葉の水ポテンシャルが著しく低下し、葉のしおれが生じた。高温区では二雌ずい花の発生が著しかったが、発生頻度に土壌湿度の影響は認められなかった。一方、低温区では二雌ずい花は全く発生しなかった。

圃場条件下において、7月下旬から9月中旬にかけて、土壌の水分張力が13kPaに達した時点で水2Lを灌水する湿潤区と、51kPaに達した時点で水1Lを灌水する乾燥区を設けて、これらの土壌湿度条件下で‘佐藤錦’を栽培した。土壌乾燥区では、葉のしおれが頻繁に生じ、葉の水ポテンシャルは土壌湿潤区に比べて著しく低かった。二雌ずい花の発生率は、土壌乾燥区でやや低かった。

3. 7月下旬から8月中旬にかけて、‘佐藤錦’の短果枝にNAA、ABA、GA₃、BA、エスレルをそれぞれ100ppmで3回散布した。BA区でのみ二雌ずい花の発生率が対照区に比べて増加した。翌年にも同様の散布を4回行った結果、BA区では二雌ずい花の発生率が著しく増加した。また、エスレル区でも対照区に比べて二雌ずい花の発生率はやや高かった。

BAを50ppmおよび100ppmで、‘佐藤錦’、‘高砂’、‘ナポレオン’の短果枝に7月上旬および下旬の2回散布した。‘佐藤錦’や‘ナポレオン’ではBA処理により花芽分化が促進され、二雌ずい花の割合が増加した。いずれの品種においても雄ずいの雌ずい化はみられなかった。

エスレルを100ppmおよび200ppmで、‘佐藤錦’の短果枝に7月中旬から8月上旬にかけてそれぞれ3回および2回散布した。エスレル処理により花芽分化の進行がやや遅れた。エスレル処理により二雌ずい花の発生率がやや増加したが、雄ずいの雌ずい化はみられなかった。

4. 7月下旬から10月上旬にかけて、‘佐藤錦’を遮光率53%および78%の遮光ネットで被覆したパイプハウスに搬入した。遮光によりハウス内の日最高気温が1.8～

3.2℃低下した。花芽における二雌ずい花の発生率は、78%遮光区でのみ対照区に比べてやや低かった。遮光により、同等に発達した2本の雌ずいを有する花原基の割合が著しく低下した。開花時の二雌ずい花の発生率は、特に78%遮光区で対照区よりも著しく低かった。同様の遮光処理を2年後の7月中旬から9月中旬にかけて行った。2年前に比べて処理期間中の気温がかなり低く、対照区の二雌ずい花の発生率が低かった。遮光により花芽における二雌ずい花の発生率は著しく低下し、開花時においても同様の結果が得られた。

前期加温栽培、後期加温栽培および無加温栽培されている‘佐藤錦’の花芽分化の様相と二雌ずい花の発生率を調査した。促成栽培により、花芽の分化開始やその後の進行は著しく促進された。その結果、気温が急激に上昇し始める7月中旬までに、促成栽培では、花弁や雄ずいの原基が既に形成された。促成栽培では二雌ずい花の発生がほとんど認められなかった。

第3章 暖地における甘果オウトウの花器の発育と結実の様相

結実の不安定は、前章までにおいて検討した双子果の発生と並ぶ暖地での甘果オウトウ栽培における最も重大な問題である。これまでに西日本の各地において、地域特産化を目的とした甘果オウトウの試作が行われてきたが、年次あるいは樹体による結実量の較差が極めて大きく、栽培を定着させる上での大きな障害となっている。

これらの園地では受粉作業は十分に行われているにもかかわらず、開花後の早い時期に落果が多く生じることから考えると、受粉後の受精過程に問題点があるものと推察される。一般に、受精の成否には、花粉の発芽や花柱内での花粉管の伸長速度、胚珠の発育程度などの樹体要因が関係することから (Thompson, 1996)、暖地栽培における結実にも、これらの要因が関係しているものと思われる。

そこで、本章では、暖地における甘果オウトウの結実性についての基礎的知見を得るため、暖地の自然環境下での花器の発育および結実の様相を調査した。

第1節 暖地における生殖器官の発育と結実

暖地では、主産地である山形県などの冷涼地に比べて発芽から開花期にかけての気温上昇が早く、花器の発育や結実の様相も相当に異なっていることが予想される。そこで本節では、香川県下の暖地の栽培環境下における主要品種の花器の発育および結実の様相を調査し、山形のものと比較した。

材料および方法

香川大学農学部(香川県木田郡三木町)の研究圃場で栽培されている甘果オウトウ‘佐藤錦’、‘高砂’の成木を用いた。また、冷涼地と比較するために、山形大学農学部(山形県鶴岡市)の研究圃場で栽培されている‘佐藤錦’、‘高砂’の成木も供試した。香川において、‘佐藤錦’については、花芽の発芽が始まった1999年3月下旬から開花6日後にかけて、1~4日間隔で花芽または花を20個ずつ採取し、FAAで固定して保存した。子房と葯のそれぞれについてパラフィン包埋を行い、16 μ m厚の縦断切片を作成し、マイヤーの酸性ヘマラウン溶液で染色した。子房の縦径および横径を、光学顕微鏡下でマイクロメーターにより測定した。また、胚珠が発達しているものについては、胚珠、珠心の縦径および横径も測定すると同時に、珠心と胚のうの発育状態を調査した。葯については、花粉粒の発育状態を調査した。また、香川の‘高砂’と山形の両品種については、開花当日および2、4日後に各品種につき20花を採取し、雌ずいのみをFAAで固定し、同様にして胚珠の発育状態を調査した。また、いずれの樹においても、開花

当日に採取した花については、FAAで固定する前に、花重、果梗長、花弁長および雌ずい長を測定した。

結実率を調査するため、開花当日に、約100花について、‘佐藤錦’には‘高砂’の花粉を、‘高砂’には‘佐藤錦’の花粉をそれぞれ人工受粉した。満開より2週間後の初期結実率と収穫時の最終結実率を調査した。

また、雌ずい内での花粉管の伸長を調査するために、同様に人工受粉した雌ずいについて、受粉後、24、48、72時間後に各品種につき20花を採取し、雌ずいのみをFAAで固定した。これを水洗後、8N-NaOHで軟化し、アニリンブルーで染色した後、蛍光顕微鏡により観察した。

ブドウでは、開花直前に小花中の糖濃度が急速に上昇し、開花後急減することから(岡本・小林, 1971)、受粉や受精の過程において多量の糖が必要とされることが考えられ、このことは甘果オウトウにおける結実性にも関与しているものと思われる。そこで、本実験においても、開花時の花器の糖濃度を調査するため、開花当日に花を採取し、花全体を -20°C で保存した。凍結乾燥した後、200mgの乾物試料をとり、80%エタノールで3回抽出した。抽出液を水相にまで減圧濃縮した後、0.3N水酸化バリウムと5%硫酸亜鉛を加えて除タンパクを行い、さらに、陽イオン交換樹脂(アンバーライトCG-120)と陰イオン交換樹脂(アンバーライトCG-400)で精製した。溶出液を濃縮乾固し、蒸留水1mlに溶解した。試料10 μ lを高速液体クロマトグラフィー(ポンプ:日本分光PU980、カラム:ShodexSC1011、溶媒:蒸留水、流量:1ml/分、カラム温度:65 $^{\circ}\text{C}$ 、検出器:日本分光RI-930)に注入し、ショ糖、ブドウ糖、果糖、ソルビトール含量を定量した。

結果

香川では、3月下旬に花芽の発芽が始まり、4月中旬に開花した(第19表)。一方、山形では4月上旬に花芽の発芽が始まり、4月下旬に開花した。いずれの採取地においても、‘高砂’では‘佐藤錦’よりも花器の発育がやや早く進んだ。発芽から開花終了時にかけての日最高気温の平均は、香川で16.3 $^{\circ}\text{C}$ 、山形で16.4 $^{\circ}\text{C}$ であった(第25図)。1999年は、香川では4月の気温が平年よりも1.9 $^{\circ}\text{C}$ 低く、一方、山形では平年よりも1.2 $^{\circ}\text{C}$ 高かった。

香川において‘佐藤錦’で調査した開花までの花器の発達について、子房は開花の約2週間前から徐々に肥大を始め、開花5日前から開花まで急速に発育した(第26図)。胚珠や珠心は、開花5日前から開花2日前にかけて急速に発達した(第27図)。一方、開花20日前頃には、既に胚珠の分化が認められた。開花13日前には50%の胚珠で珠心組織の発生が観察され、開花7日前には92%の胚珠で珠心組織の形成が確認された。

Table 19. Date of bud burst, first bloom and full bloom of 'Satohnishiki' and 'Takasago' sweet cherry in Kagawa and Yamagata (1999).

Cultivar	Location	Bud burst	First bloom	Full bloom
'Satohnishiki'	Kagawa ^z	Mar. 26	Apr. 14	Apr. 21
	Yamagata ^y	Apr. 6	Apr. 22	Apr. 28
'Takasago'	Kagawa	Mar. 18	Apr. 13	Apr. 19
	Yamagata	Apr. 6	Apr. 20	Apr. 27

^z : Kagawa University located in Miki-cho, Kagawa Prefecture.

^y : Yamagata University located in Turuoka city, Yamagata Prefecture.

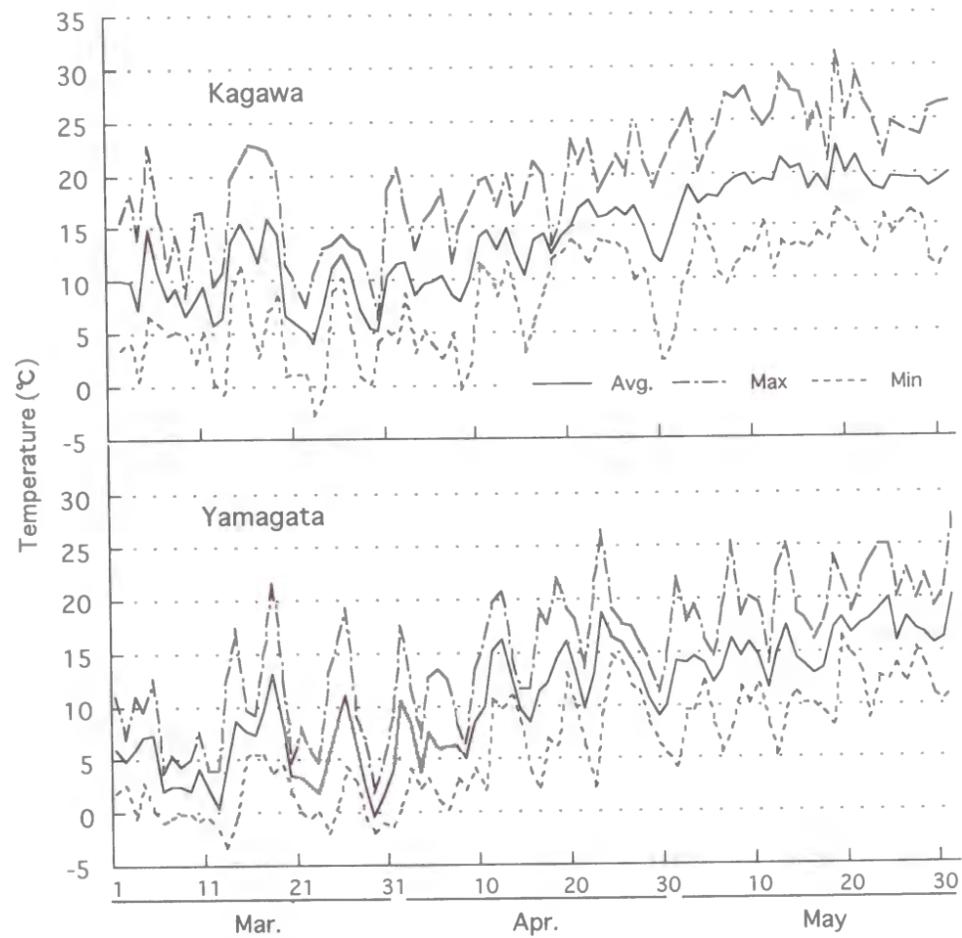


Fig. 25. Changes in daily average, maximum and minimum temperatures in the research fields of Kagawa University and Yamagata University (1999).

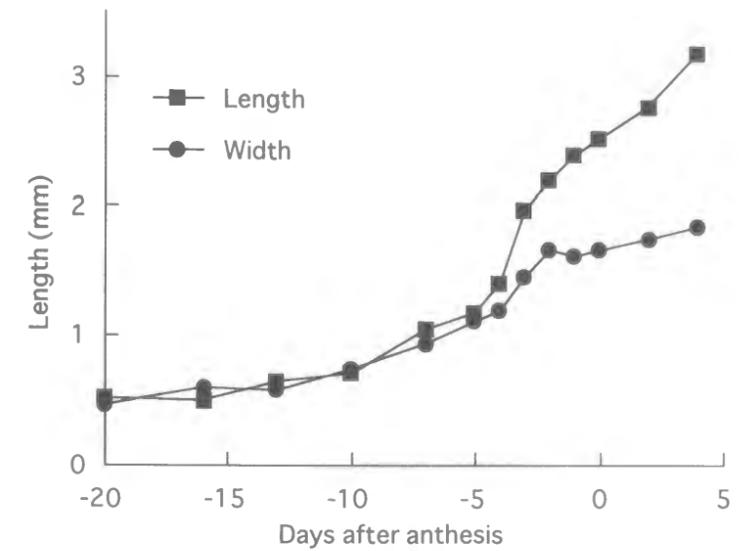


Fig. 26. Development of ovary in 'Satohnishiki' sweet cherry grown in the research field of Kagawa University (1999).

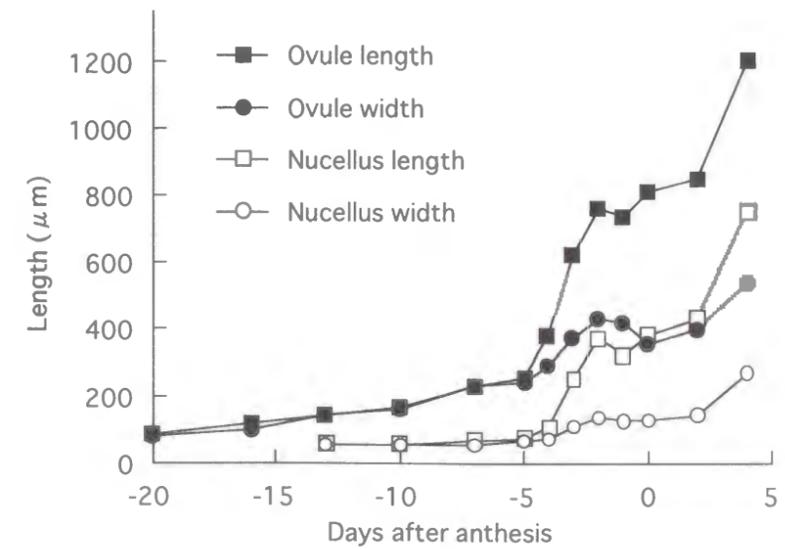


Fig. 27. Development of ovule and nucellus in 'Satohnishiki' sweet cherry grown in the research field of Kagawa University (1999).

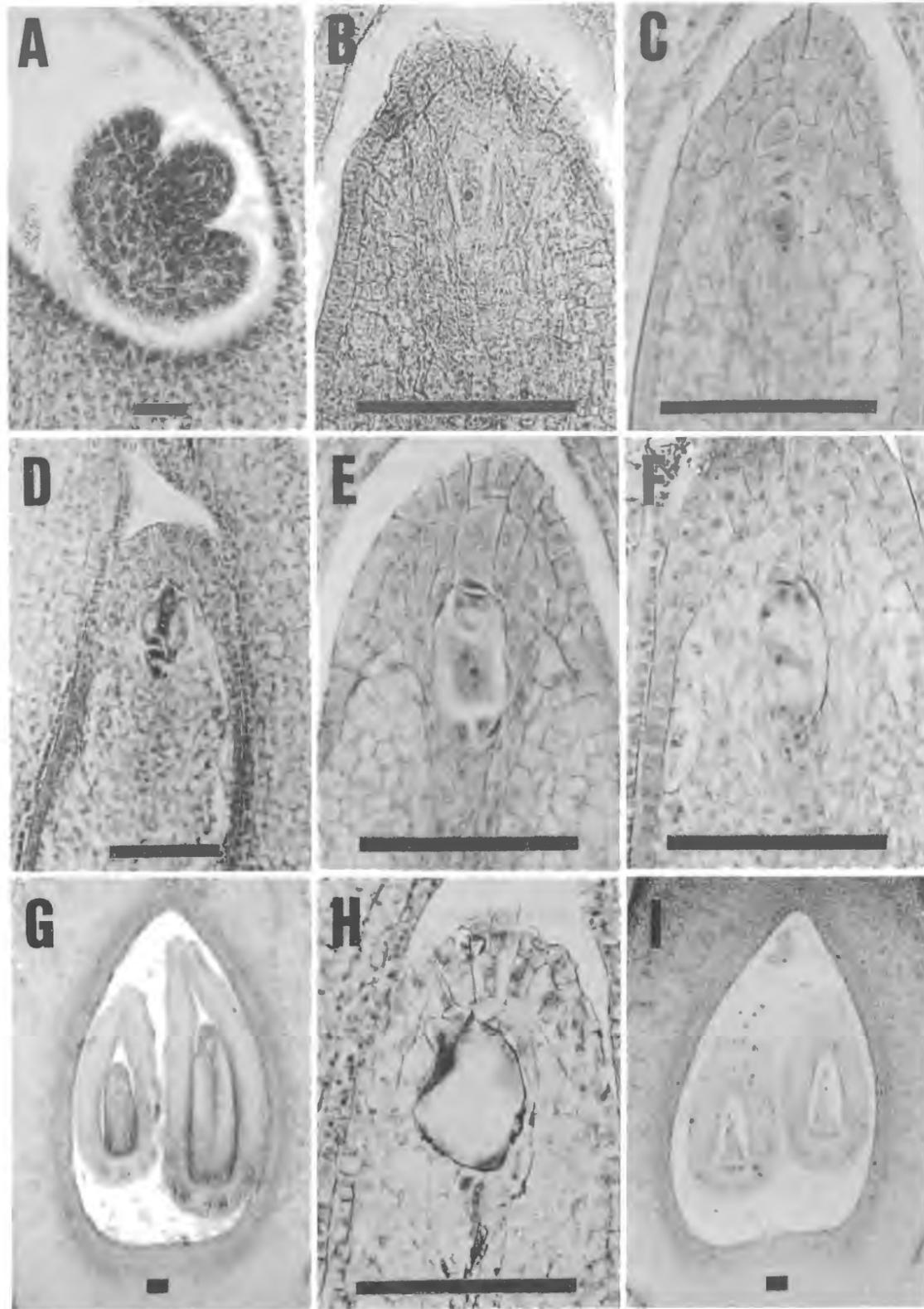


Fig. 28. Development of ovule in 'Satohnishiki' sweet cherry. A: Differentiated nucellus. B: Embryo sac mother cell. C: Two-nucleate embryo sac. D: Eight-nucleate embryo sac without differentiated egg cell. E: Eight-nucleate embryo sac with differentiated egg cell and unfused polar nuclei. F,G: Eight-nucleate embryo sac with differentiated egg cell and fused polar nuclei. H: Degenerated embryo sac. I: Degenerated nucellus. Bars: 100 μ m.

さらに、開花5日前には珠皮が珠心を完全に包み込んでいた。開花3日前に初めて胚のう細胞が観察され、開花前日には8核に分裂した胚のうも一部でみられた(第28図)。開花当日には46%の胚珠で胚のうが8核期に達しており、その多くが卵装置を形成していた(第20表)。一方、開花20日前には既に花粉母細胞が形成され、これは16日前には分裂を開始し、13日前には4分子期に達していた。開花10日前には小孢子形成が確認された。

開花時の花器の発育について、「佐藤錦」では、花重は、香川で山形よりもわずかに大きかったが、花梗長や雌ずい長は、山形で大きかった(第21表)。「高砂」では、いずれの部位も香川より山形でやや大きかった。子房や胚珠の縦横径は、いずれの品種においても山形で香川よりもやや大きい傾向が認められた。

開花後の胚珠の発育について、いずれの品種においても山形では開花2日後以降も4核期以前の未熟な胚のうの割合が香川よりもやや多く認められた(第20表)。「佐藤錦」では、8核期に達した胚珠の割合は、開花2日後まではいずれの地域でも50%前後であったが、開花4日後には、山形では65%と高い値を示したのに対し、香川では20%と著しく減少した。「高砂」では、開花当日には8核期の胚珠の割合が香川でやや高かったが、開花2、4日後には地域間の差異はほとんどなかった。一方、退化した胚珠の割合は、いずれの品種においても開花2日後以降は香川で山形よりも著しく増加し、開花4日後には約80%にも達した。

花柱内における花粉管の伸長は、「佐藤錦」では香川でやや早く、一部の雌ずいでは受粉48時間後に珠孔への到達が確認された(第22表)。一方、「高砂」では、両地域で差はなく、いずれも受粉72時間後には一部の雌ずいで珠孔への到達が観察された。

初期結実率は、いずれの品種においても山形で香川よりも著しく高かった(第29図)。最終結実率は、香川では13~14%であったのに対して、山形では18~19%とやや高かった。

開花時の花器の全糖濃度は、「佐藤錦」では香川で山形よりも著しく低く、「高砂」でもやや低くなった(第30図)。いずれの品種においても、ショ糖含量が香川で著しく少なかった。

第2節 暖地における甘果オウトウの花器の発育と結実の年次変動

暖地における甘果オウトウの栽培においては、結実率が年次により大きく異なり、問題となっている。このような結実率の変動の要因の一つとして、開花期の温度条件との関わりが推察されてきた。そこで、本節では、1996年から4年間にわたって結実率の年次変動を調査し、開花期前後の気温との関係を明らかにした。

Table 20. Ovule development of 'Satohnishiki' and 'Takasago' sweet cherry in Kagawa and Yamagata (1999).

Location	Days after anthesis	Stages of development										Total embryo sac and/or nucellus	
		No mega-sporocyte to dyad	Mega-sporocyte to tetrad	Embryo sac cell	Two-nucleate	Four-nucleate	Egg cell not differentiated	Eight-nucleate		Total			
								Unfused polar nuclei	Fused polar nuclei				
Kagawa ^z	-4	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	-3	83.3	0.0	0.0	8.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	-2	25.0	16.7	0.0	8.3	8.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	-1	50.0	0.0	0.0	8.3	25.0	8.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3
	0	18.6	0.0	0.0	8.5	13.6	8.5	22.0	18.6	40.7	49.2	10.2	8.3
	1	16.7	0.0	0.0	25.0	0.0	0.0	25.0	25.0	50.0	50.0	8.3	8.3
Yamagata ^y	2	8.6	0.0	0.0	5.2	8.6	5.2	29.3	12.1	41.4	46.6	31.0	8.3
	4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6	13.1	19.7	19.7	80.3	8.3
	6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	8.3
Kagawa	0	8.3	0.0	0.0	16.7	12.5	0.0	37.5	20.8	58.3	58.3	4.2	4.2
	2	12.5	0.0	0.0	8.3	8.3	0.0	41.7	16.7	58.3	58.3	12.5	12.5
	4	5.0	0.0	0.0	0.0	10.0	0.0	40.0	25.0	65.0	65.0	20.0	20.0
Yamagata	0	0.0	0.0	0.0	41.7	8.3	0.0	25.0	20.8	45.8	45.8	4.2	4.2
	2	12.5	0.0	0.0	4.2	0.0	0.0	16.7	16.7	33.3	33.3	50.0	50.0
	4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	16.7	20.8	20.8	79.2	79.2

^z : Kagawa University located in Miki-cho, Kagawa Prefecture.

^y : Yamagata University located in Turuoka city, Yamagata Prefecture.

* : Percentage of the ovule with embryo sac or nucellus at different stages of development.

Table 21. Flower development of 'Satohnishiki' and 'Takasago' sweet cherry in Kagawa and Yamagata (1999).

Location	Weight of flower (mg)	Length			Ovary		Ovule	
		Peduncle (mm)	Petal (mm)	Pistil (mm)	Length (μm)	Width (μm)	Length (μm)	Width (μm)
Kagawa ^z	189	19.5	13.5	13.9	'Satohnishiki'			
					2534	1674	814	359
Yamagata ^y	179	26.6	14.4	16.0	'Satohnishiki'			
					2338	1742	890	472
Kagawa	151	24.9	10.6	14.5	'Takasago'			
					2185	1587	980	451
Yamagata	163	26.1	14.0	15.9	'Takasago'			
					2445	1722	872	483

^z : Kagawa University located in Miki-cho, Kagawa Prefecture.

^y : Yamagata University located in Turuoka city, Yamagata Prefecture.

Table 22. Elongation of pollen tubes in pistils of 'Satohnishiki' and 'Takasago' sweet cherry in Kagawa and Yamagata (1999).

Hours after pollination	Location	Percentage of pistils with the most advanced pollen tube reaching				
		Stigma	Middle of style	Bottom of style	Obturator	Micropyle
24	Kagawa ^z	'Satohnishiki'				
		0.0	31.8	63.6	4.5	0.0
48	Yamagata ^y	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
		0.0	0.0	83.3	16.7	0.0
72	Kagawa	0.0	0.0	0.0	60.0	40.0
		0.0	0.0	18.2	63.6	18.2
24	Yamagata	'Takasago'				
		8.3	58.3	25.0	8.3	0.0
48	Kagawa	0.0	25.0	50.0	25.0	0.0
		0.0	0.0	75.0	25.0	0.0
72	Yamagata	0.0	0.0	0.0	92.3	7.7
		0.0	0.0	11.1	77.8	11.1

^z : Kagawa University located in Miki-cho, Kagawa Prefecture.

^y : Yamagata University located in Turuoka city, Yamagata Prefecture.

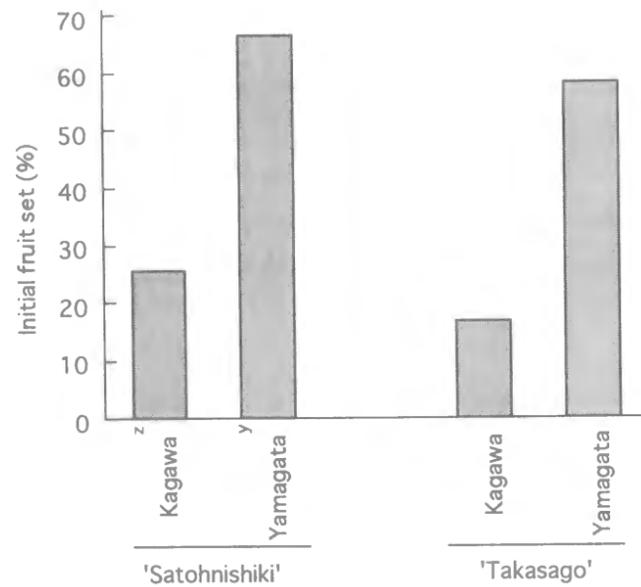


Fig. 29. Initial fruit set of 'Satohnishiki' and 'Takasago' sweet cherry in Kagawa and Yamagata (1999).
 z: Kagawa University located in Miki-cho, Kagawa Prefecture.
 y: Yamagata University located in Turuoka city, Yamagata Prefecture.

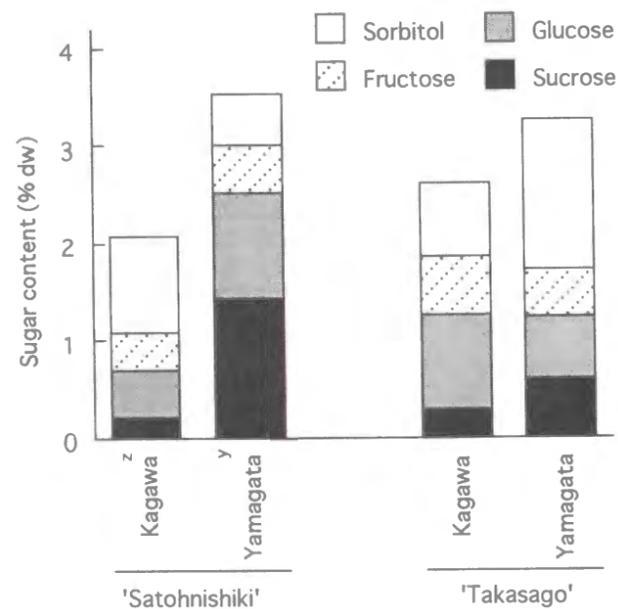


Fig. 30. Sugar content of flowers of 'Satohnishiki' and 'Takasago' sweet cherry in Kagawa and Yamagata (1999).
 z: Kagawa University located in Miki-cho, Kagawa Prefecture.
 y: Yamagata University located in Turuoka city, Yamagata Prefecture.

材料および方法

香川大学農学部の研究圃場で栽培している鉢植えの6~9年生、甘果オウトウ '佐藤錦' を用いた。1996年から1999年の4年間、開花時に全ての花(約150~300花)に対して、十分な発芽率を有していることを予め確認した '高砂' の花粉を人工受粉した。開花期間中の降雨時には、パイプハウスの屋根のみを塩化ビニルで一時的に被覆した。全受粉花数に対する収穫果数から結実率を求めた。1997年から1999年には、開花当日、2日後、4日後に花を採取し、前節と同様に花器の発育を顕微鏡下で調査した。萌芽から収穫期にかけての研究圃場の気温を、地上1.5 mに設置した熱電対で計測した。

結果

各年次における花芽の発芽、開花および収穫の開始日を第23表に示した。1998年には、萌芽後の気温が他の年次に比べてかなり高く推移し、開花までに要する日数が最も少なかった。一方、1996年には萌芽後の気温が比較的低温で推移し、開花までに要する日数が最も多かった。萌芽から開花終了時(花卉落下期)にかけての日最高気温の平均と結実率の関係を第31図に示した。この期間中の日最高気温の平均が15.7℃と最も低かった1996年には、結実率が25.6%と4年間で最大となった。一方、この期間中の日最高気温の平均が20.4℃と最高値を記録した1998年には、結実率が1.9%と著しく低かった。これらの中間的な気温となった1997と1999年には、結実率はそれぞれ16.9%、19.4%となった。このように、萌芽から満開までの日最高気温と結実率には明確な負の相関($r^2=0.98$)が認められた。一方、開花終了時から収穫期にかけての日最高気温の平均値は、4年間でほとんど変動がなく、24.4~24.9℃の範囲内であった。

花器の発達については、花重や花梗長は1998年に採取したものが最も大きかったが、子房や胚珠の大きさには年次間で一定の傾向は認められなかった(第24表)。

胚珠の発育については、開花当日には、1998年に採取した胚珠では8核期以前の胚の割合が他の年次に比べてかなり高く、45%であった(第25表)。8核期に達した胚の割合は、1997年に採取した胚珠で最も高かった。開花2日後には、1998年の胚珠では8核期以前の胚の割合が激減する一方で、退化した胚の割合が著しく増加し、48%にも達した。他の年次では、退化した胚の割合は40%以下であった。開花4日後には、1998年の胚珠では退化した胚の割合が90%にも達し、8核期の正常な胚珠の割合は10%未満であったのに対して、1999年には正常な胚珠が20%も存在していた。

Table 23. Date of bud burst, first bloom and first harvest of 'Satohnishiki' sweet cherry grown in the research field of Kagawa University (1996-99).

Year	Bud burst	First bloom	First harvest
1996	Mar. 25	Apr. 16	Jun. 7
1997	Apr. 1	Apr. 16	Jun. 7
1998	Mar. 28	Apr. 10	May 30
1999	Mar. 24	Apr. 14	May 25

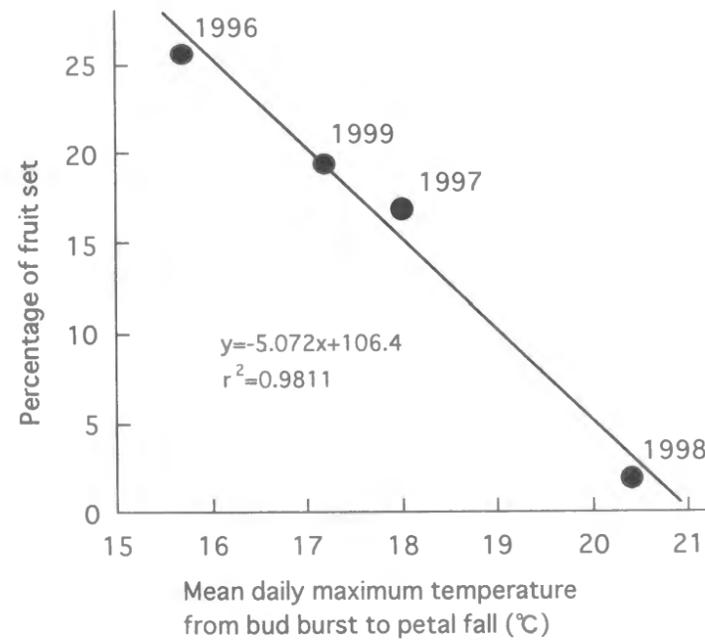


Fig. 31. Relationship between temperature from bud burst to petal fall and fruit set in 'Satohnishiki' sweet cherry between 1996 and 1999.

Table 24. Flower development in 'Satohnishiki' sweet cherry grown in the research field of Kagawa University (1997-99).

Year	Weight of flower (mg)	Length			Ovary		Ovule	
		Peduncle (mm)	Petal (mm)	Pistil (mm)	Length (μ m)	Width (μ m)	Length (μ m)	Width (μ m)
1997	152	15.5	12.4	13.7	2190	1716	775	240
1998	199	20.6	12.6	14.9	2187	1519	695	354
1999	176	18.9	13.1	13.6	2456	1617	683	351

Table 25. Ovule development of 'Satohnishiki' sweet cherry grown in the research field of Kagawa University (1997-99).

Days after anthesis	Year	Stage of development						Degenerated embryo sac and/or nucellus
		Embryo sac mother cell	Two-nucleate	Four-nucleate	Eight-nucleate		Total	
					Egg cell not differentiated	Egg cell differentiated		
0	1997	0.0*	2.5	17.3	24.0	46.9	70.8	9.3
	1998	0.0	3.7	41.4	27.0	26.5	53.4	1.4
	1999	0.0	7.3	12.5	8.3	38.0	46.3	33.9
2	1997	1.5	0.0	16.3	4.8	55.0	59.8	22.4
	1998	0.0	7.3	4.8	11.4	29.0	40.4	47.5
	1999	0.0	5.2	8.6	5.2	41.2	46.4	39.8
4	1998	0.0	0.0	0.0	0.0	9.8	9.8	90.2
	1999	0.0	0.0	0.0	0.0	19.8	19.8	80.2

*: Percentage of the ovule with embryo sac or nucellus at different stages of development.

第3節 考察

1. 暖地における生殖器官の発育と結実

本章において、暖地における甘果オウトウの花器の発達の特性が明らかになった。香川では、発芽や開花の時期は山形と比べて約10日早く、発芽は3月下旬に起こり、その後、4月中旬の開花まで雌・雄性器官の発達が急速に進んだ。特に胚珠や珠心は、開花5日前から急速に発達し、胚のうの分化や発達も開花3日前から開花当日にかけて急速に進行した。雌性器官の発育について、同じサクラ属果樹のモモでは開花当日には胚のうは2核期の状態であり、卵装置を含む8核期の胚のうが完成するのは開花5日後であることが報告されている(石田ら, 1979)。アンズでも開花当日には8核期の胚のうの比率は23%程度で、開花4日後にようやく55%に達することが確認されている(Burgos・Egea, 1993)。本実験ではこれらと比べて、'佐藤錦'などの甘果オウトウ品種の胚のうの発育は開花前はかなり早く進行し、開花当日には半数近くで8核期に達することが示された。Eaton (1959)も、'Windsor'で開花当日にはほとんどの胚珠の胚のうが8核期に達しており、そのうち約2/3が卵装置の完成した胚のうを有していることを観察している。一方、雄性器官については、本実験では、開花13日前には花粉が4分子期に達し、10日前には小胞子を形成しているのが確認された。モモでは開花40日前頃には4分子期に達していることからみると(中川, 1978)、同じサクラ属果樹でも甘果オウトウの花粉は開花前の比較的短期間に発達すると考えられた。

一方、開花後の胚珠の寿命は、モモでは開花後約16日間（石田ら、1979）、アンズでは8～10日間（Burgos・Egea, 1993）とみられている。それに対して、本実験において暖地条件で栽培している甘果オウトウ‘佐藤錦’では、開花2日後には既に胚のうの退化が認められ、胚珠の寿命は開花後4日間程度と極めて短いことが明らかとなった。Eaton（1959）も、甘果オウトウ‘Windsor’では、開花4日後には80%の胚のうが退化し、開花6日後にはすべての胚のうが退化することを観察している。本実験で示されたように、受粉後雌ずい内で花粉管が胚珠に到達するまでに2～3日を要することから考えると、有効受粉期間は開花後1～2日程度とかなり短いことが推察される。したがって、甘果オウトウでは、この間の胚のうの機能がいかに維持されるかが結実の可否を決定する重要な要因になっているものとみられた。

主要品種の結実と花器の発育についての香川と山形との比較では、‘佐藤錦’および‘高砂’の両品種ともに香川において初期結実率がかなり低かったことから、香川では不受精による落果が多く生じているものと推察される。これに関して、花柱内における花粉管の伸長は、‘佐藤錦’ではむしろ香川でやや早く、‘高砂’では両地域で差がなかったことから、このことは暖地における結実不良の原因とはならないものと思われる。一方、これらの品種では暖地において胚のうの発育が速く進行する一方で、開花後早期に退化しており、胚のうの寿命の短縮が暖地における低い結実率の主因となっていることが示唆された。

調査年（1999年）の萌芽から開花終了時にかけての日最高気温の平均値でみる限り、地域間の差異はほとんどなく、この年次における胚のうの生存期間の地域差には、他の要因が関与しているものと考えられる。胚のうの寿命に関連して、Williams（1965）は、リングで前年夏の窒素施肥により花器が充実し、胚のうの寿命が延長されることを確認しており、樹体の栄養とのかかわりを示唆している。本実験において、香川では山形に比べて花器組織の糖濃度が低いことが示唆された。甘果オウトウは、花器の発育に必要な炭水化物を主に貯蔵養分に依存しており（Flore, 1994）、この地域間の胚のうの生存期間の差には樹の栄養条件の違いが関係していた可能性がある。

2. 暖地における甘果オウトウの花器の発育と結実の年次変動

暖地では、発芽から開花終了時にかけて気温と結実率間に明確な負の相関が認められ、この時期の気温が結実の良否に深く関わっている可能性が示唆された。開花期の高温による結実率の低下は、ブドウ（Kliwer, 1977）やカキ（Georgeら, 1994）、オリーブ（Cuevasら, 1994）などでも報告されている。本実験ではさらに、気温が高い年次には胚珠の寿命が短くなる傾向が観察され、このことが結実率の低下をもたらしている可能性が示された。Thompson・Liu（1973）は、プルーンにおいて、開花期の平均気温に5℃以上の差のあった2年間の調査で、気温が高く推移した年には胚珠の発育不良が

増加したことを報告している。一方、開花終了時から収穫期にかけての気温と結実率には直接的な関係はみられなかった。

第4節 摘要

暖地における甘果オウトウの生殖器官の発育と結実の様相を調査した。

1. 香川県下の暖地の栽培環境下における‘佐藤錦’と‘高砂’の花器の発育および結実の様相を調査し、山形のものと比較した。香川では、発芽や開花は山形よりも10日ほど早く、発芽は3月下旬、開花は4月中旬であった。香川では、発芽から開花にかけて‘佐藤錦’の雌・雄性器官の発達が進み、特に胚珠や珠心は、開花5日前から急速に発達した。胚のうの分化や発達も開花3日前から開花当日にかけて急速に進行し、開花当日には半数の胚のうが8核期に達していた。開花時の‘佐藤錦’や‘高砂’の雌ずいや胚珠は香川で山形よりもやや小さい傾向が認められた。胚のうの発育は、香川では山形に比べて速く進行する一方で、開花後の退化が早く、開花4日後にはいずれの品種においても約80%の胚のうが既に退化していた。花柱内の花粉管伸長は、‘佐藤錦’では香川でやや早く、‘高砂’では両地域で差はなかったが、いずれも受粉72時間後までには一部の雌ずいで珠孔への到達が観察された。花器の糖濃度は両品種ともに香川で山形よりも低かった。調査年次には、発芽から開花終了時にかけての気温に地域間の差異はほとんどなかった。初期結実率は、いずれの品種においても香川で山形よりも著しく低かった。

2. 暖地条件の香川で栽培されている‘佐藤錦’について、結実率を4年間にわたって調査し、結実率の年次変動と開花期前後の温度環境との関係を探った。発芽から開花終了時にかけての日最高気温の平均値と結実率に明確な負の相関が認められた。さらに、この時期の気温が高い年次には胚珠の寿命が短くなる傾向が観察された。一方、開花終了時から収穫期にかけての日最高気温の平均値には、年次による変動はみられなかった。

第4章 甘果オウトウの結実性に係わる要因

前章において、暖地条件下での甘果オウトウの結実の不安定には、開花期前後の温度環境や樹体の栄養条件が関与している可能性が示唆された。そこで、本章では、これらの点を明らかにするために、温度環境や樹の栄養状態を人為的に制御し、花器の発育や結実に及ぼす影響を調査した。さらにこれらの知見をもとに、暖地条件下における結実向上の可能性について検討した。

第1節 制御環境下における温度条件と結実性の関係

前章において、暖地においては開花期前後の温度条件が結実の良否を決定づける重要な要因となっているものと推察された。開花前および開花期間中の温度条件は、花器の雌・雄性器官の発育、花粉の発芽や花粉管の伸長、胚のうの寿命などに影響を及ぼすことが、アンズ (Burgosら, 1991) や酸果オウトウ (Furukawa・Bukovac, 1989)、プルーン (Thompson・Liu, 1973) など報告されており、これらは暖地における甘果オウトウの結実性にも関与しているものとみられる。

本節では、開花期前後の温度環境が甘果オウトウの結実に及ぼす影響を人工気象室を用いて調査し、雌・雄性器官の発育との関係を中心に検討した。

材料および方法

実験1. 開花期前後の温度環境が甘果オウトウ‘佐藤錦’の結実に及ぼす影響

香川大学農学部の研究圃場で栽培している鉢植えの‘アオバザクラ’台の5年生甘果オウトウ‘佐藤錦’を用いた。自然開花より約1カ月前の3月16日から日中(9:00~16:30)のみ植物体を25℃、20℃、15℃、10℃の人工気象室にそれぞれ2個体ずつ搬入し、夜間は室外に搬出した。温度処理は各区の開花終了時(花弁落下期)まで継続し、それ以後は室外に搬出し、自然温度条件とした。処理期間中(3月16日~5月5日)の室外の日最低気温の平均は7.7℃であった。

すべての花に対して、開花当日に、あらかじめ人工培地において発芽力(発芽率約70%)を確認した‘高砂’の花粉を人工受粉した。各区の満開時に全花数を調査し、その後収穫期まで経時的に着果数を調査して、全花数に対する着果数の割合から結実率を求めた。

各処理区から、最も早く開花した花から順に30花ずつを開花当日に採取し、花重、果梗長、花弁長および雌ずい長を測定した。

実験2. 開花期前後の温度環境が甘果オウトウ‘佐藤錦’の花柱内での花粉管伸長と

胚のうの発育に及ぼす影響

同圃場で栽培しているコンテナ植えの‘アオバザクラ’台の7年生甘果オウトウ‘佐藤錦’を用いて、開花より約1カ月前の3月18日から温度処理を行った。3月18日から3月31日までの間は、高温区では、日中(9:00~17:00)20℃、夜間10℃に設定した人工気象室に植物体を搬入し、低温区では、日中10℃に設定した人工気象室に植物体を搬入し、夜間は室外に移した。この期間中の日最低気温の平均は、2.9℃であった。4月1日からは高温区を25℃/15℃(昼温/夜温)、低温区を15℃/外気温に設定した。この期間中(4月1日~4月28日)の日最低気温の平均は、6.6℃であった。すべての花に対して、開花当日に‘高砂’の花粉を人工受粉した。温度処理は、各区の開花終了時(高温区は4月21日、低温区は4月28日)まで継続し、それ以後は室外に搬出し、自然温度条件とした。

受粉後、24、48、72時間後に各処理区につき10花を採取し、前章と同様の方法で、花粉管の最深到達部位を調査した。

開花当日および2日後に、各処理区につき30花を採取し、前章と同様の方法で、胚珠の発育状態を調査した。

結果

実験1.

開花は、温度の高い処理区から順に始まり、調査した30花の開花日の平均は、25℃区では4月3日、20℃区では4月7日、15℃区では4月12日、10℃区では4月16日であった。開花期間は、温度が高いほど短くなる傾向があり、25℃、20℃、15℃、10℃区で、それぞれ4月2日~4月8日、4月6日~4月16日、4月10日~4月21日、4月12日~4月30日であった。

25℃区では、満開より13日後には既に多くの子房が落下し、着果率は36.0%であった(第32図)。それに対して、20℃以下の処理区では、満開より17日後でも60%以上の着果が認められ、特に温度が低い処理区ほど高い結実率を示した。その後、いずれの処理区も着果数は徐々に減少し、最終的な結実率は、15℃区で49.6%と最も高く、次いで10℃区で36.0%、20℃区で28.5%であったが、25℃区はこれらの処理区に比べて著しく低く、わずか2.1%であった。

開花時における花重、花の各器官の大きさとともに、温度が高くなるにしたがって、小さくなる傾向が見られた(第26表)。特に25℃区では、花器の発育が著しく抑制された。

実験2.

開花は、高温区で4月16日、低温区では3日後の4月19日から始まり、満開日は高

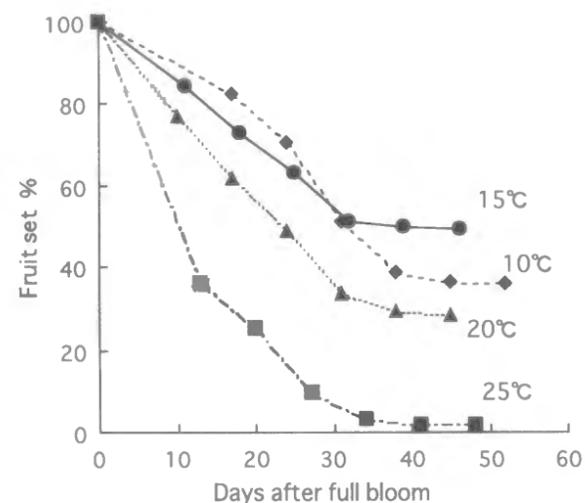


Fig. 32. Effect of day temperature on fruit set of 'Satohnishiki' sweet cherry. Trees were grown at each temp. in growth chambers / field temp. (day / night) from Mar.16 to petal fall, then grown at field temp.

Table 26. Effect of day temperature on flower weight and length of peduncle, petal and pistil of 'Satohnishiki' sweet cherry.

Treatment ^a (Day temp.)	Weight of flower(mg)	Length(mm)		
		Peduncle	Petal	Pistil
10°C	244.7 ± 4.7 ^y	28.77 ± 0.64	15.34 ± 0.22	13.43 ± 0.21
15°C	181.8 ± 3.9	26.10 ± 0.46	13.61 ± 0.21	12.55 ± 0.21
20°C	177.6 ± 3.4	20.60 ± 0.46	14.83 ± 0.15	12.50 ± 0.16
25°C	138.7 ± 4.3	16.60 ± 0.47	13.38 ± 0.22	11.51 ± 0.18

^a: Trees were grown at each temp. in growth chambers / field temp. (day / night) from Mar. 16 to petal fall.
^y: Mean ± SE

Table 27. Effect of temperature on the elongation of pollen tubes in pistils of 'Satohnishiki' sweet cherry.

Hours after pollination	Treatment	No. of pistils with the most advanced pollen tube reaching					No. of pistils examined
		Stigma	Middle of style	Bottom of style	Obturator	Micropyle	
24	Low temp. ^a	0	3	4	3	0	10
	High temp. ^y	0	2	8	0	0	10
48	Low temp.	0	0	6	4	0	10
	High temp.	0	0	4	6	0	10
72	Low temp.	0	0	1	8	1	10
	High temp.	0	0	2	7	1	10

^a: Trees were grown at 10°C/field temp. (day/night) from Mar. 18 to Mar. 30, then grown at 15°C/field temp. from Apr. 1 to Apr. 28.

^y: Trees were grown at 20°C/10°C from Mar. 18 to Mar. 30, then grown at 25°C/15°C from Apr. 1 to Apr. 21.

温区では4月19日、低温区では4月23日であった。また、開花期間は、高温区では6日間、低温区では10日間であった。

低温区では、受粉24時間後には、花粉管が既に子室内の柔組織へ到達している雌ずいが見られたが、高温区では、花粉管が花柱基部までしか達していなかった(第27表)。しかし、48時間後には高温区でも半数以上の雌ずいで花粉管は柔組織に到達し、72時間後には両処理区ともほとんどの雌ずいで花粉管は柔組織に到達していた。また、72時間後には花粉管が珠孔に到達した雌ずいも各処理区1個ずつ存在した。花柱の中央部を越えて伸長している花粉管数は、高温区に比べて、低温区でやや多かった。

開花当日においては、子房、胚珠および珠心の縦横径ともに低温区の方が高温区よりも大きかった(第28表)。しかし、開花2日後には処理区間で大きな差異は認められなかった。

胚のうおよび珠心の発育段階については、開花当日には、処理間の差は小さく、両温度区とも8核期に達した胚のうの割合は25%程度であり、胚のうや珠心が退化したものはわずか6%程度であった(第29表)。開花2日後には両処理区とも8核期に達していない胚のうの割合は減少し、低温区では8核期に達した胚のうが半数を占め、胚のうや珠心が退化した胚珠はわずか10.3%であった。これに対し、高温区では、46.7%の胚珠で胚のうや珠心の退化が見られ、8核期に達した胚のうの割合は16.7%にとどまった。

第2節 結実性におけるジベレリンの関与

一般に、生殖器官の発達や退化は、植物ホルモン処理の影響を強く受けることが知られている。特に、ジベレリン(GA)は、胚のうの発達を抑制し、寿命を短縮することがブドウにおいて報告されている(杉浦, 1969; 高木, 1980; 小松, 1987; Okamoto・Omori, 1991)。甘果オウトウにおいても、Stösser・Anvari(1982)は、'Teickners'や'Grosse Schwarze Knorpel'の胚珠の退化がGA処理により助長されることを、アニリンブルー染色した胚珠の蛍光顕微鏡観察により認めている。したがって、暖地における甘果オウトウの結実性にも、ジベレリンが関与している可能性が考えられる。

そこで、異なる温度条件下で育成した樹の胚のうの発育と内生GAレベルを比較するとともに、GAおよびGAの生合成阻害剤であるパクロブトラゾール(PBZ)の処理が胚のうの発育に及ぼす影響について調査した。

第1項 異なる温度条件下で栽培した樹の花器の内生ジベレリン様物質濃度の比較

Table 28. Effect of temperature on the sizes of ovary, ovule and nucellus of 'Satohnishiki' sweet cherry.

Days after anthesis	Treatment	Ovary		Ovule		Nucellus	
		Length (μm)	Width (μm)	Length (μm)	Width (μm)	Length (μm)	Width (μm)
0	Low temp. ^a	2506 \pm 41	1752 \pm 26	797 \pm 25	452 \pm 15	391 \pm 22	146 \pm 6
	High temp. ^b	2204 \pm 30	1653 \pm 21	714 \pm 15	402 \pm 10	335 \pm 10	127 \pm 4
2	Low temp.	2593 \pm 54	1854 \pm 32	805 \pm 24	435 \pm 16	404 \pm 21	140 \pm 6
	High temp.	2375 \pm 57	1776 \pm 42	797 \pm 42	419 \pm 21	400 \pm 38	122 \pm 1

^a: Trees were grown at 10°C/field temp. (day/night) from Mar. 18 to Mar. 30, then grown at 15°C/field temp. from Apr. 1 to Apr. 28.

^b: Trees were grown at 20°C/10°C from Mar. 18 to Mar. 30, then grown at 25°C/15°C from Apr. 1 to Apr. 21.

^{*}: Mean \pm SE

Table 29. Effect of temperature on the development of ovule in 'Satohnishiki' sweet cherry.

Days after anthesis	Treatment	Stage of development						Degenerated embryo sac and/or nucellus	No. of ovules examined
		Embryo sac mother cell	Two-nucleate	Four-nucleate	Eight-nucleate				
					Unfused polar nuclei	Fused polar nuclei	Total		
0	Low temp. ^a	25.5 [*]	15.7	25.5	21.6	5.9	27.5	5.9	51
	High temp. ^b	23.7	30.5	15.3	16.9	6.8	23.7	6.8	59
2	Low temp.	8.6	13.8	19.0	27.6	20.7	48.3	10.3	58
	High temp.	8.3	10.0	18.3	13.3	3.3	16.7	46.7	60

^a: Trees were grown at 10°C/field temp. (day/night) from Mar. 18 to Mar. 30, then grown at 15°C/field temp. from Apr. 1 to Apr. 28.

^b: Trees were grown at 20°C/10°C from Mar. 18 to Mar. 30, then grown at 25°C/15°C from Apr. 1 to Apr. 21.

^{*}: Percentage of the ovule with embryo sac or nucellus at different stages of development.

材料および方法

香川大学農学部の研究圃場で栽培している鉢植えの 'アオバザクラ' 台の 8 年生甘果オウトウ '佐藤錦' を用いた。自然開花より約 1 カ月前の 1997 年 3 月 18 日から 25°C および 15°C の人工気象室にそれぞれ 5 個体ずつ搬入した。温度処理は各区の開花終了時 (花弁落下期) まで継続し、それ以後は室外に搬出し、自然温度条件とした。

結実率、花器の発育、胚珠の発育の調査は前節と同様に行った。

開花当日に花を大量に採取し、ただちに液体窒素で凍結し、その後 -85°C で保存した。新鮮重で 5 g の試料について、尾形ら (1996) の方法により GA の精製、分画を行った。試料を 80% メタノール中でホモジナイザーにより磨砕し、24 時間 5°C 暗黒下で抽出し濾過した。ろ液は 40°C 減圧下で水相にまで濃縮し、希塩酸で pH を 2.5 に調整した後、酢酸エチルで 3 回抽出した。この酢酸エチル層を 0.5 M リン酸カリウム緩衝液 (pH 8.3) で 3 回抽出して水層を得た。この水層を pH 2.5 に調整して酢酸エチルで 3 回抽出し、抽出液を硫酸マグネシウムで脱水後、濃縮乾固した。得られた粗精製物を PVP カラムクロマトグラフィーで精製した。約 7 g の PVP をガラスカラムに充填し、試料を 0.2 M リン酸ナトリウム緩衝液に溶解してカラムに注入し、同緩衝液約 100 ml で溶出した。溶出液は pH 2.5 に調整後、酢酸エチルで抽出・回収した。次に、試料を Sephalyte DEA 樹脂で精製した。約 7 g のセプラライト樹脂をガラスカラムに充填し、試料をメタノールに溶解してカラムに注入し、約 120 ml の 0、0.25、0.6% の酢酸含有メタノールをカラムに流し、0.25~0.6% の酢酸分画を得た。この精製物を HPLC (ポンプ: 日本分光 PU980、カラム: Develosil ODS-5 10mm 径×150mm 長、溶媒: 0.1% 酢酸含有 30~80% メタノールで 25 分間の直線勾配、その後 80% メタノールで 15 分間、流量 2ml/分) で分画し、20 画分 (4ml/画分) を得た。各画分を乾固した後、Nishijima・Katsura (1989) による矮性イネ改良点滴テストを行い、各画分に含まれる GA 活性を検定した。全画分の GA 活性の総和を GA₃ 当量に換算して、全内生 GA 様物質含量とした。

結果

開花は、高温区で先に始まり、調査した花の開花日の平均は、25°C 区では 3 月 27 日、15°C 区では 4 月 7 日であった。開花時の花重や果梗長は高温区で低温区よりも有意に小さくなったが、他の部位の大きさには処理間で有意な差は認められなかった (第 30 表)。

開花当日には、8 核期に達した胚の割合は低温区で 51%、高温区で 39% であり、胚のうや珠心が退化した胚珠の割合は両処理区とも 5% 以下であった (第 31 表)。開花 2 日後には高温区では 8 核期以前の胚の割合が著しく減少し、逆に、珠心や胚の

Table 30. Effects of temperature on the development of flower and content of GA-like substances in 'Satohnishiki' sweet cherry.

Treatment (Temperature)	Weight of flower (mg)	Length (mm)			GA (GA_3 equiv.) concentration ($\mu g \cdot g^{-1}$ FW)
		Peduncle	Petal	Pistil	
15°C	194.9	20.07	13.61	13.64	427
25°C	156.9	12.87	13.38	12.63	744
Significance	*	*	NS	NS	*

NS,* : Nonsignificant or significant at $P < 0.05$ by ANOVA.

Table 31. Effect of temperature on the development of the ovule in 'Satohnishiki' sweet cherry.

Days after anthesis	Treatment (Temperature)	Stages of development						Degenerated embryo sac and/or nucellus
		Embryo sac mother cell	Two- nucleate	Four- nucleate	Eight-nucleate		Total	
					Egg cell not differentiated	Egg cell differentiated		
0	15°C	6.4 [‡]	2.2	38.6	34.2	16.4	50.5	2.2
	25°C	13.1	4.4	38.6	21.8	17.1	38.9	5.0
2	15°C	0.0	5.3	14.7	13.3	28.0	41.3	38.7
	25°C	0.0	0.0	2.5	0.0	30.7	30.7	66.8

[‡] : Percentage of ovules with embryo sac or nucellus at different stages of development.

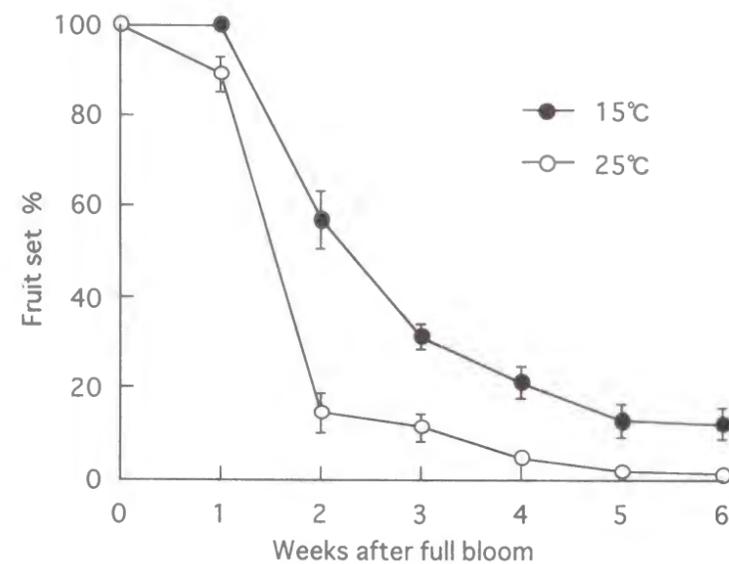


Fig. 33. Effect of temperature on fruit set of 'Satohnishiki' sweet cherry. Bars mean SE.

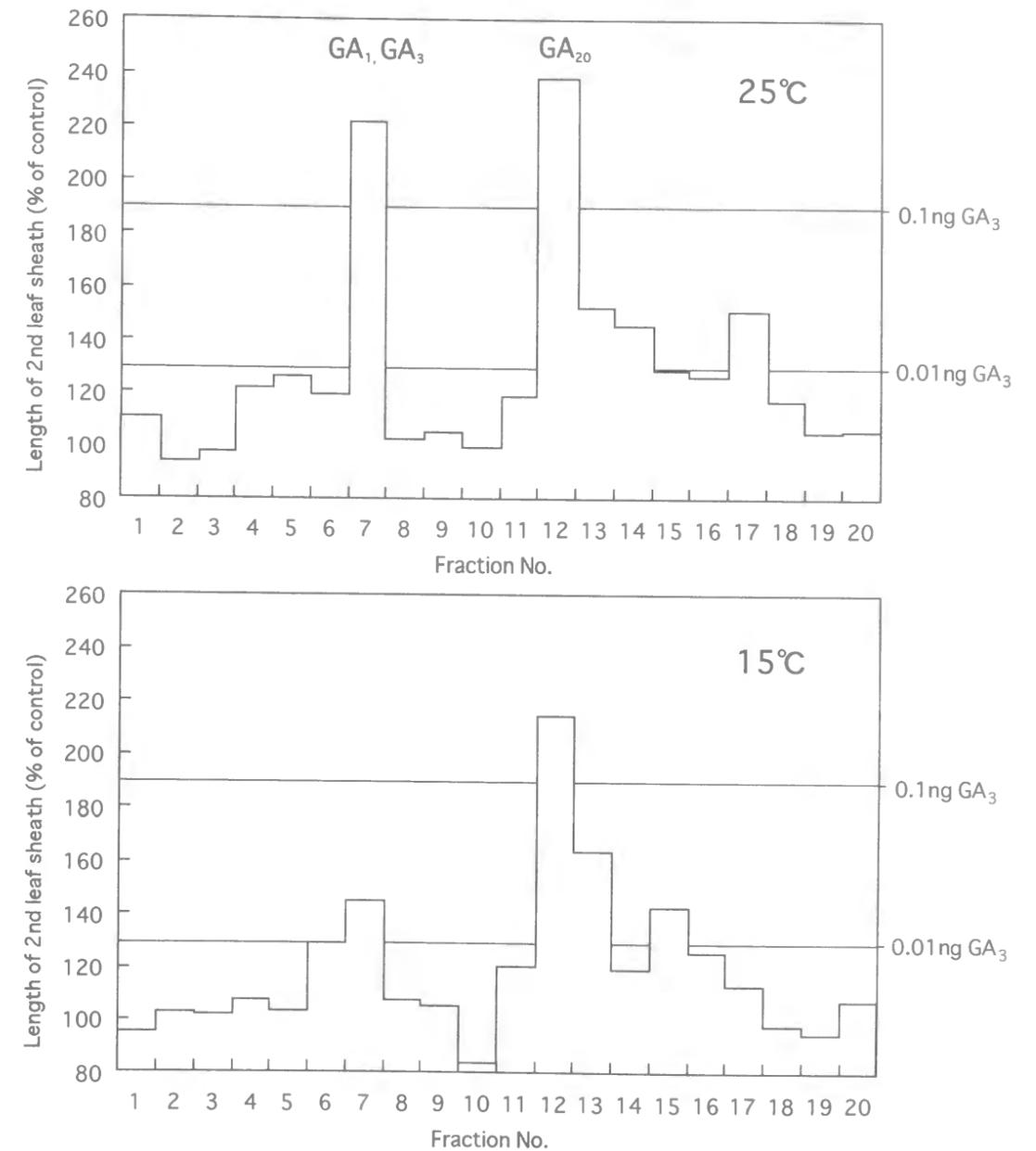


Fig. 34. Histogram of Tan-ginbozu dwarf rice bioassay of HPLC fractions of purified acid ethyl acetate-soluble extract from flowers of 'Satohnishiki' sweet cherry.

うが退化した胚珠の割合が67%にまで増加した。一方、低温区では退化した胚珠の割合は40%以下であった。

高温区では、満開2週間後には既に多くの子房が落下し、6週間後には着花率はわずか1%となった(第33図)。一方、低温区でも、子房の落果が多く認められたものの、その割合は高温区に比べて少なく、満開より6週間後においても12%の着果が認められた。

花器組織から抽出・精製したHPLC画分の、矮性イネの生物検定によるGA様活性のヒストグラムを第34図に示した。強いGA様の活性が、画分7(標品のGA₁、GA₃画分と一致)と画分12(標品のGA₂₀画分と一致)で検出された。全内生GA様物質濃度は、高温区で低温区よりも有意に高かった(第30表)。

第2項 開花前のジベレリン処理が胚のうの発育と結実に及ぼす影響

材料および方法

香川大学農学部の研究圃場で栽培している‘アオバザクラ’台の8年生甘果アウトウ‘佐藤錦’を供試した。花芽が膨らみ、先端からがく片の先端が見え始めた1997年4月8日に、Tween 20 (0.05%)を含むGA₃(ナカライテスク社)10 ppm、100ppm水溶液を短果枝に散布した。また、対照区としてTween 20のみを含む蒸留水を散布した。4樹について、それぞれの樹から20~30個の短果枝をもつ枝を3本ずつ選び、各処理区を無作為に割り当てた。開花時に、全ての花に‘高砂’の花粉を受粉した。

花器の各部位の大きさ、胚珠の発育段階、結実率について、前項と同様の調査を行った。

結果

萌芽から満開時までの日最高気温の平均は15.3℃であった。対照区では4月16日頃に開花が始まった。GA処理は、開花開始日には影響しなかった。

開花時の花器の大きさには、処理間に大きな差異は認められなかった(第32表)。開花当日にはいずれの処理区でも8核期に達した胚のうの割合が50%以上に達していたが、GA処理は胚のうの発育に影響しなかった(第33表)。一方、珠心や胚のうが退化した胚珠の割合は、対照区やGA 10ppm区では10%以下であったが、GA 100ppm区では23%とやや高い値を示した。対照区では、8核期の胚のうの割合が開花2日後においても比較的高く維持されていたのに対して、GA 10 ppm、100ppm区ではそれぞれ35%、28%と著しく低下した。一方、珠心や胚のうが退化した胚珠の割合は、対照区ではわずか22%であったのに対し、GA区ではいずれも50%以上にまで増加した。

Table 32. Effects of GA₃ on the development of flower and fruit set in ‘Satohnishiki’ sweet cherry.

Treatment (ppm)	Weight of flower (mg)	Length (mm)			Initial fruit set (%)	Final fruit set (%)
		Peduncle	Petal	Pistil		
Control	152.5	15.45	12.41	13.71	42.8	16.9
GA ₃ (10)	163.2	15.67	12.72	13.67	15.9	12.2
GA ₃ (100)	146.7	16.94	12.04	13.93	18.2	8.9
Significance	NS	NS	NS	NS	*	NS

NS, * : Nonsignificant or significant at P<0.05 by ANOVA.

Table 33. Effect of GA₃ on the development of the ovule in ‘Satohnishiki’ sweet cherry.

Days after anthesis	Treatment (ppm)	Stages of development						Degenerated embryo sac and/or nucellus
		Embryo sac mother cell	Two-nucleate	Four-nucleate	Eight-nucleate		Total	
					Egg cell not differentiated	Egg cell differentiated		
0	Control	0.0 [*]	2.5	17.3	24.0	46.9	70.8	9.3
	GA ₃ (10)	0.0	12.3	24.4	15.2	39.6	54.9	8.5
	GA ₃ (100)	3.9	2.1	8.7	13.2	49.3	62.4	22.9
2	Control	1.5	0.0	16.3	4.8	55.0	59.8	22.4
	GA ₃ (10)	4.5	2.4	2.4	0.0	34.8	34.8	55.8
	GA ₃ (100)	6.0	6.0	6.3	2.6	25.2	27.8	53.9

^{*} : Percentage of ovules with embryo sac or nucellus at different stages of development.

GA 処理により、結実率は著しく低下した (第 32 表)。満開 1 週間後には、対照区の着果率が約 40%であったのに対して、GA 区ではわずか 20%以下であった。満開 5 週間後には、対照区では 17%の着果が維持されていたのに対して、GA10ppm、100ppm 区ではそれぞれ 12%、9%に低下した。

第 3 項 開花前のパクロブトラゾール処理が胚のうの発育と結実に及ぼす影響

材料および方法

香川大学農学部の研究圃場で栽培している鉢植えの‘アオバザクラ’台の 5 年生甘果オウトウ‘佐藤錦’を供試した。3 樹について、花芽が膨らみ、がく片の先端が見え始めた 1998 年 3 月 31 日にパクロブトラゾール (バウンティフロアブル; 日産化学工業社) 懸濁液 500ppm を全ての短果枝に散布した。他の 3 樹を無処理の対照区とした。花器の発育、胚珠の発達段階および結実率について、前節と同様の調査を行った。

結 果

対照区、PBZ 区ともに開花は 4 月 10 日に始まった。萌芽から満開までの日最高気温の平均は 20.1℃であった。

PBZ 処理は、開花時の花器の大きさに影響しなかった (第 34 表)。開花当日には、PBZ 区で胚のうの発育がやや進んでおり、8 核期の胚のうを有する胚珠の割合は PBZ 区で高かった (第 35 表)。退化した胚珠の割合はいずれの処理区でもわずか 4%未満であった。その後、胚のうや珠心が退化した胚珠の割合が急増した。開花 4 日後には、対照区では約 90%の胚珠が退化しており、正常な胚珠の割合はわずか 10%未満であったのに対して、PBZ 区では 30%以上の胚珠が正常であった。

対照区では、開花後、着果率が急激に減少し、満開 4 週間後にはわずか 2%にまで低下した。一方、PBZ 処理により落果の割合が著しく低下し、満開より 4 週間後においても着果率は 11%を維持した (第 34 表)。

第 3 節 樹体の同化産物の蓄積と結実性

落葉果樹では一般に、開花から結実期にかけての花器の発育は主に貯蔵養分に依存している。甘果オウトウなどのサクラ属果樹では、開花の時点では展葉が開始したばかりで、葉は同化産物のソースとなり得ないばかりかシンクとして存在している。したがって、花器の発育に必要な炭水化物は完全に前年からの貯蔵養分によりまかなわれるものと考えられる。しかしながら、暖地の栽培環境下では、夏季の高温や乾燥による同化能

Table 34. Effects of paclobutrazol on the development of flower and fruit set in ‘Satohnishiki’ sweet cherry.

Treatment	Weight of flower (mg)	Length			Final fruit set %
		Peduncle (mm)	Petal (mm)	Pistil (mm)	
Control	198.9	20.56	12.64	14.91	1.9
Paclobutrazol	182.0	18.46	12.57	14.23	11.2
Significance	NS	NS	NS	NS	*

NS,* : Nonsignificant or significant at P<0.05 by ANOVA.

Table 35. Effect of paclobutrazol on the development of the ovule in ‘Satohnishiki’ sweet cherry.

Days after anthesis	Treatment	Stages of development						Degenerated embryo sac and/or nucellus
		Embryo sac mother cell	Two-nucleate	Four-nucleate	Eight-nucleate		Total	
					Egg cell not differentiated	Egg cell differentiated		
0	Control	0.0 ²	3.7	41.4	27.0	26.5	53.4	1.4
	Paclobutrazol	0.0	0.0	22.9	30.2	42.9	73.1	3.9
2	Control	0.0	7.3	4.8	11.4	29.0	40.4	47.5
	Paclobutrazol	0.0	2.9	1.9	1.9	56.3	58.2	37.1
4	Control	0.0	0.0	0.0	0.0	9.8	9.8	90.2
	Paclobutrazol	0.0	0.0	0.0	0.0	30.4	30.4	69.6

² : Percentage of ovules with embryo sac or nucellus at different stages of development.

力の低下、さらに葉焼けや病害虫の発生等による早期落葉により、貯蔵養分の不足を招く恐れがあり、このことが暖地での甘果オウトウ栽培における結実不良の一因となっている可能性が考えられる。

そこで本節では、まず甘果オウトウの貯蔵炭水化物の蓄積と結実性の関係を調査した。次いで、暖地の環境条件が同化産物の蓄積に及ぼす影響を調査するとともに、暖地での栽培における樹体の同化能力の向上の方策についても検討した。

第1項 秋季の摘葉処理が花器の発育と結実に及ぼす影響

樹体の貯蔵炭水化物の減少が甘果オウトウの結実性に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、秋季に摘葉処理を行い、翌春の花器の発育と結実を調査した。

材料および方法

香川大学農学部の研究圃場で栽培している10号鉢植えの‘アオバザクラ’台の10年生甘果オウトウ‘佐藤錦’を供試した。1997年9月17日に、樹上の全ての葉を摘葉する全摘葉区、短果枝や中長果枝毎に約半数の葉を摘葉する半摘葉区および対照区の3区を設けた。各区につき3樹を用いた。実験期間中の栽培管理は慣行に従った。全摘葉区では、一部の花芽で摘葉後まもなく発芽がみられたが、これらはすべて除去した。翌春の開花当日に、各個体の全ての花について、あらかじめ発芽力（発芽率約70%）を確認した‘高砂’の花粉を人工受粉した。花器の各部位の大きさ、花柱内における花粉管の伸長、胚珠の発育、結実率について、第1節と同様の方法で調査した。また、開花当日の花から得られた葯を20℃の恒温器に一晩おいて充分開やくさせた上で、花粉を、シヨ糖（15%）とホウ素（5ppm）を添加した1%寒天培地（pH5.5）上で、20℃、6時間培養し、発芽率と花粉管の伸長量を調査した（別府・片岡, 1999）。

結果

調査した20花の平均開花日は、対照区では4月9日であったが、半摘葉区では2日、全摘葉区では3日遅れた。1樹あたりの平均開花数は、対照区で558であったのに対し、半摘葉区で169、全摘葉区で101と、摘葉処理により著しく減少した（第36表）。さらに、摘葉区では、花柱が退化した不完全花の割合が著しく高く、葯の退化も多くみられた。

1花重や果梗長は全摘葉区で他の区よりもやや小さくなった（第37表）。花卉や雌ずい長には処理間の差異はほとんど認められなかった。

人工培地上での花粉の発芽率や花粉管伸長には、摘葉の影響は認められなかった（第

Table 36. Effects of defoliation in the previous autumn on blossoms and fruit set in ‘Satohnishiki’ sweet cherry.

Treatment	Number of flower	Percentage of flowers without style	Fruit set (%)	
			Initial	Final
Control	558	2.0	27.0	23.2
Defoliation ^z (50%)	169	15.5	20.6	11.7
Defoliation (100%)	101	22.3	15.8	5.6

^z: Defoliation was conducted in the previous autumn (Sep. 17).

Table 37. Effects of defoliation in the previous autumn on the development of flower in ‘Satohnishiki’ sweet cherry.

Treatment	Weight of flower \pm SE (mg)	Length \pm SE		
		Peduncle (mm)	Petal (mm)	Pistil (mm)
Control	213 \pm 7	20.3 \pm 0.6	14.6 \pm 0.2	14.2 \pm 0.3
Defoliation ^z (50%)	207 \pm 10	20.8 \pm 1.1	14.4 \pm 1.0	15.8 \pm 1.9
Defoliation (100%)	178 \pm 29	15.3 \pm 2.3	13.2 \pm 0.9	14.0 \pm 0.9

^z: Defoliation was conducted in the previous autumn (Sep. 17).

Table 38. Effects of defoliation in the previous autumn on pollen germination and tube growth of ‘Satohnishiki’ sweet cherry.

Treatment	Percentage of germination \pm SE	Length of pollen tube (μ m) \pm SE
Control	68.5 \pm 1.0	712 \pm 19
Defoliation ^z (50%)	69.5 \pm 5.1	691 \pm 44
Defoliation (100%)	78.9 \pm 4.1	693 \pm 95

^z: Defoliation was conducted in the previous autumn (Sep. 17).

Table 39. Effect of defoliation in the previous autumn on the elongation of pollen tubes in pistils of 'Satohnishiki' sweet cherry.

Hours after pollination	Treatment	Percentage of pistils with the most advanced pollen tube reaching				
		Stigma	Middle of style	Bottom of style	Obturator	Micropyle
24	Control	0.0	0.0	80.0	20.0	0.0
	Defoliation ^z (50%)	0.0	66.7	33.3	0.0	0.0
	Defoliation (100%)	0.0	10.0	60.0	30.0	0.0
48	Control	0.0	0.0	22.2	66.7	11.1
	Defoliation (50%)	0.0	0.0	11.1	77.8	11.1
	Defoliation (100%)	0.0	0.0	22.2	33.3	44.4
72	Control	0.0	0.0	10.0	50.0	40.0
	Defoliation (50%)	0.0	0.0	0.0	40.0	60.0
	Defoliation (100%)	0.0	0.0	0.0	70.0	30.0

^z: Defoliation was conducted in the previous autumn (Sep. 17).

38表)。

雌ずい内における花粉管の伸長については、いずれの処理区においても受粉48時間後には多くの雌ずいで花粉管が子室内柔組織に達しており、一部の雌ずいでは珠孔に到達しているのが確認された(第39表)。

開花当日の胚のうの発育には摘葉の影響は認められなかった(第40表)。いずれの処理区においても、半数以上の胚珠が8核期の胚のうを有しており、珠心や胚のうが退化したものはわずかであった。開花2日後には、対照区では8核期以前の胚のうの割合が比較的高く維持されていたが、摘葉処理区ではその割合が著しく減少した。一方、退化した胚珠の割合がやや増加して22~35%に達したが、処理間で大きな差はなかった。開花4日後には、両摘葉区では退化した胚珠の割合が著しく増加し、60%以上に達したのに対して、対照区では、その割合はわずかに増加したのみで、57%は正常な8核期の胚のうを有していた。

開花終了後、いずれの処理区においても、着果率は急激に減少したが、落果の割合は摘葉により増加した。満開4週間後の結実率は、対照区で23.2%、半摘葉区で11.7%、全摘葉区で5.6%であった(第36表)。

第2項 夏季の温度環境および土壌湿度が光合成と貯蔵炭水化物の蓄積に及ぼす影響

前項では、秋季の摘葉処理により翌春の花器の発育や結実が不良になることが明らかとなり、結実の確保のためには同化産物の十分な蓄積が必要であることが示された。一方、甘果オウトウの葉の光合成特性(Roper・Kennedy,1986)から考えて、西南暖地における夏季の高温や土壌乾燥は同化能力の低下を招くことが推察されるが、これらが長期的な同化産物の蓄積に及ぼす影響までは明らかにされていない。そこで、本項では、環境制御下での実験により、夏季の温度や土壌湿度が甘果オウトウの葉の光合成能や貯蔵炭水化物の蓄積に及ぼす影響を調査した。

材料および方法

'アオバザクラ'台の甘果オウトウ'佐藤錦'12個体を供試した。1年生樹を、花崗土とバーク堆肥を2:1の割合で配合した培養土で満たした10号鉢に植え付け、処理を行うまで、香川大学農学部の研究圃場で自然条件下で栽培した。1997年7月1日に、昼温(8:30-17:30)25℃/夜温15℃と35℃/25℃の人工気象室(相対湿度70%)にそれぞれ6個体ずつ搬入した。それぞれの温度区について、土壌の水分張力が6kPaに達した時点で水1lを灌水する湿潤区と、40kPaに達した時点で水1lを灌水する乾燥区を設けた。また、樹体の水分状態を評価するために、夜明け前の葉の水ポテンシャル

Table 40. Effect of defoliation in the previous autumn on the development of ovule in 'Satohnishiki' sweet cherry.

Days after anthesis	Treatment	Stage of development						Degenerated embryo sac and/or nucellus
		Embryo sac mother cell	Two-nucleate	Four-nucleate	Eight-nucleate		Total	
				Egg cell not differentiated	Egg cell differentiated			
0	Control	2.6 ^z	14.0	30.4	11.0	42.0	53.0	0.0
	Defoliation ^y (50%)	8.9	8.9	15.8	21.8	38.0	59.8	6.7
	Defoliation (100%)	6.1	16.1	15.5	38.4	24.0	62.4	0.0
2	Control	7.5	2.4	20.2	13.1	34.1	47.2	22.6
	Defoliation (50%)	0.0	9.9	9.1	16.3	30.2	46.4	34.5
	Defoliation (100%)	0.0	0.0	8.1	18.6	49.7	68.3	23.6
4	Control	0.0	0.0	7.9	12.1	45.2	57.3	34.8
	Defoliation (50%)	0.0	0.0	0.0	0.0	34.8	34.8	65.2
	Defoliation (100%)	0.0	0.0	0.0	0.0	36.4	36.4	63.6

^z: Percentage of the ovule with embryo sac or nucellus at different stages of development.

^y: Defoliation was conducted in the previous autumn (Sep. 17).

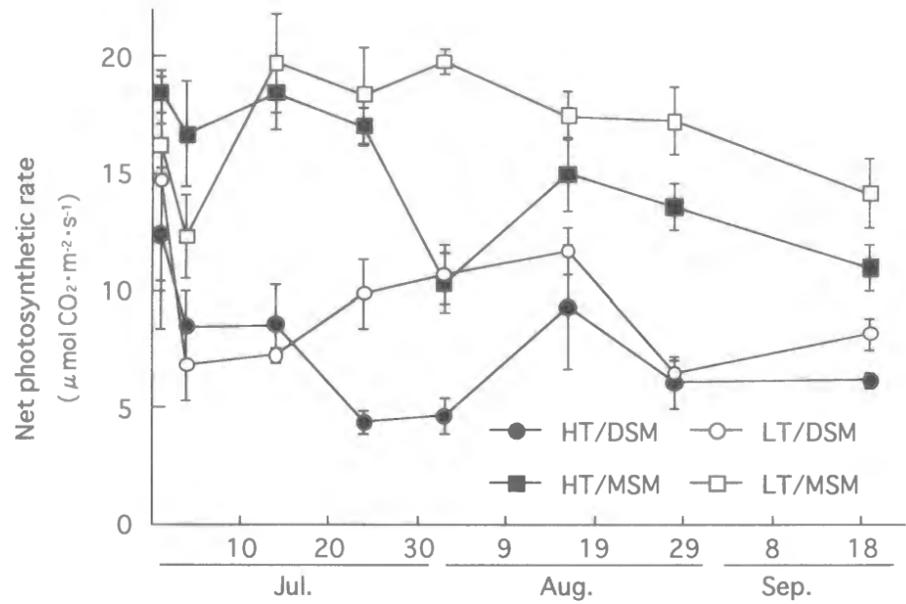


Fig. 35. Effect of temperature and soil moisture condition on midday leaf apparent photosynthesis in 'Satohnishiki' sweet cherry. HT and LT mean high (35°C/25°C) and low (25°C/15°C) temperature, respectively. DSM and MSM mean dry [soil moisture tension (SMT)<40kPa] and moist (SMT<6kPa) soil moisture, respectively. Bars mean SE.

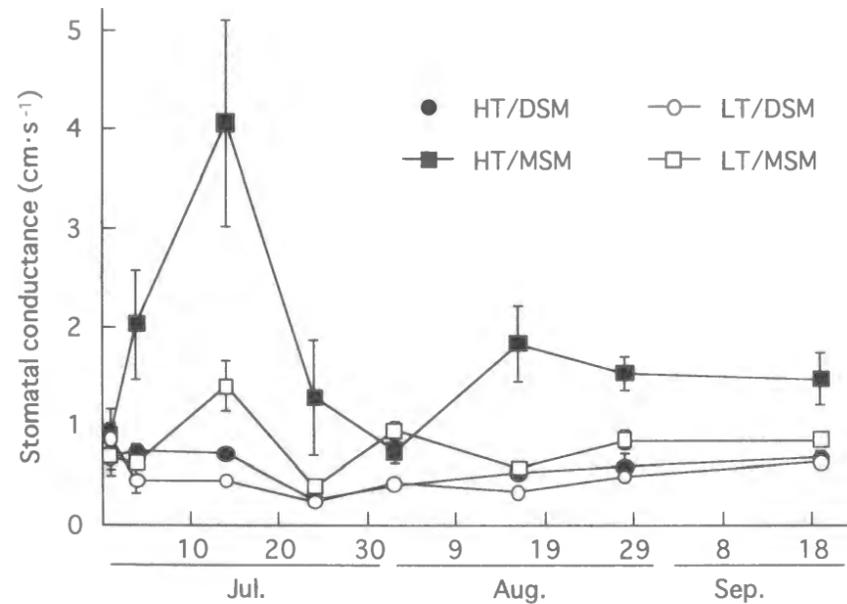


Fig. 36. Effect of temperature and soil moisture condition on midday leaf stomatal conductance in 'Satohnishiki' sweet cherry. HT and LT mean high (35°C/25°C) and low (25°C/15°C) temperature, respectively. DSM and MSM mean dry (SMT<40kPa) and moist (SMT<6 kPa) soil moisture, respectively. Bars mean SE.

ルをプレッシャーチャンバーにより測定した。

よく晴れた日の日中の葉の光合成速度、気孔コンダクタンスを光合成測定装置 LI-6200 により測定した。さらに、葉を固定した LI-6200 のチャンバー全体を黒い布で一時的に覆って、暗呼吸速度を測定した。8月25日には、光合成の温度順応性を調査するため、15°C~35°Cに5°C刻みで温度設定されている人工気象室に高温・土壤湿潤区と低温・土壤湿潤区の樹を15°C室から順にそれぞれ3個体ずつ搬入した。それぞれの人工気象室に搬入してから約5分後に、葉の光合成速度を LI-6200 により測定し、直ちに樹を次の温度区に移した。9月15日に、全ての個体を自然条件下に戻し、十分な灌水を行った。

11月まで経時的に各個体の葉数を調査して、7月2日の時点の着葉数に対する落葉数の割合から落葉率を求めた。

翌年の1月20日に樹を掘り上げ、新梢、主幹、根幹、太根(直径約2mm以上)、細根(直径約2mm未満)に解体し、70°Cで2日間通風乾燥した後、各器官の乾物重を測定した。さらに試料を細かく粉碎し、乾物試料200mgを80%エタノールで3回反復抽出して、上澄み液を糖の分析に、残渣をデンプンの分析に用いた。前章と同様の方法で糖の分析を行い、ショ糖、ブドウ糖、果糖、ソルビトール含量を定量し、これらの合計を全糖含量とした。デンプンの分析は、糖抽出後の残渣をまず50°Cで温浴振盪してエタノールを揮発させた。蒸留水5mlを加えて熱湯で10分間加熱した後、60%過塩素酸を加えて20分間置いた。さらに20mlの蒸留水を加え、遠心分離し、上澄み液を回収した。残渣について、これらの操作をもう一度繰り返し、上澄みをまとめて100mlに定容した。この加水分解された溶液の糖含量を、アンスロン法により定量した後、デンプン含量に換算した(大崎, 1990)。

結果

葉の水ポテンシャルは、灌水制限により著しく低下した(データ略)。高温・土壤乾燥区では、灌水前に葉が激しくしおれ、低温・土壤乾燥区でも軽度の葉のしおれが生じたのに対して、土壤湿潤区では、葉のしおれは全く認められなかった。

葉のみかけの光合成速度は、処理期間を通じて、土壤乾燥区に比べて土壤湿潤区で著しく高く推移し、いずれの土壤湿度区においても、高温区に比べて低温区で比較的高く推移した(第35図)。葉の気孔コンダクタンスは、高温・土壤湿潤区で最も大きく、次いで、低温・土壤湿潤区、高温・土壤乾燥区の順に大きかった(第36図)。葉の呼吸速度は、処理期間の前半には、土壤湿度に関係なく高温区で低温区よりも大きくなる傾向が認められた(第37図)。8月25日に調査した温度に対する葉の光合成特性は、低温区の樹と高温区の樹で大きく異なった(第38図)。低温区の樹では、30°C以上で

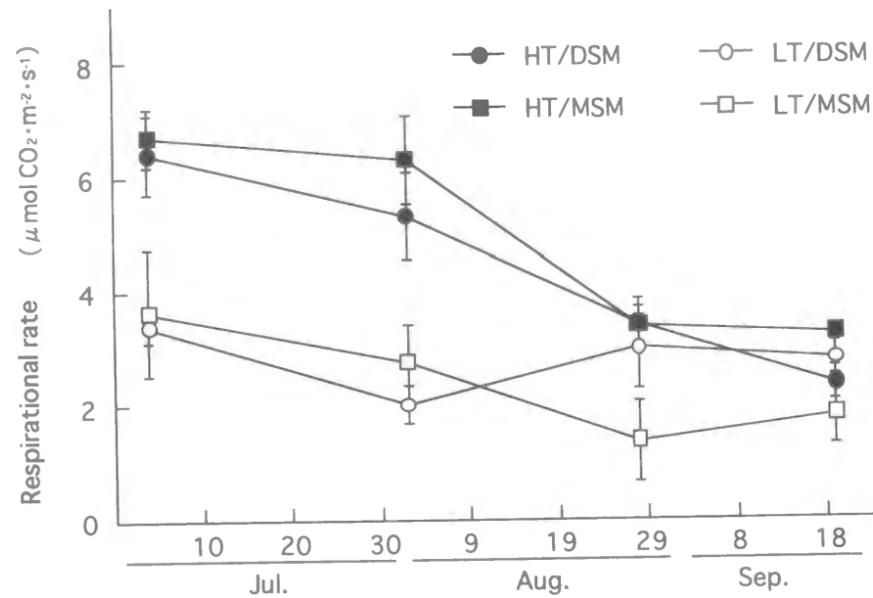


Fig. 37. Effect of temperature and soil moisture condition on leaf dark respiration in 'Satohnishiki' sweet cherry. HT and LT mean high (35°C/25°C) and low (25°C/15°C) temperature, respectively. DSM and MSM mean dry (SMT<40kPa) and moist (SMT<6 kPa) soil moisture, respectively. Bars mean SE.

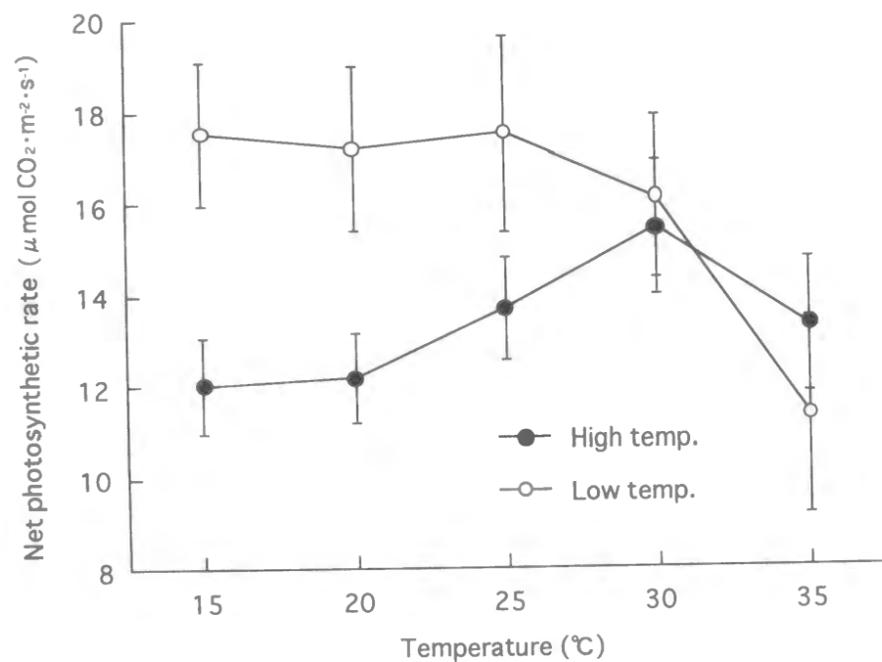


Fig. 38. Relationship between net photosynthetic rate and temperature for 'Satohnishiki' sweet cherry trees grown at high temperature (35°C day/25°C night) and low temperature (25°C/15°C) for 55 days before the measurement.

光合成速度が低下し、35°Cでは著しく低い値を示したが、高温区の樹では、30°Cで光合成速度が最大となり、35°Cでも比較的高い値を示した。

高温・土壤乾燥区では、処理開始数日後から多くの葉で葉焼けが発生した。低温・土壤乾燥区および高温・土壤湿潤区でも7月下旬には一部の葉で葉焼けが生じた。それに対して、低温・土壤湿潤区では、葉焼けはほとんどみられなかった。

さらに、高温・土壤乾燥区では、9月上旬から落葉が急速に進行した(第39図)。高温・土壤湿潤区や低温・土壤乾燥区でも9月中旬より落葉が進んだ。一方、低温・土壤湿潤区では落葉が他区よりも遅延し、11月中旬においても多くの葉が維持されていた。

1月に採取した各器官の乾物重は、いずれの器官においても低温・土壤湿潤区で他区よりも著しく大きかった(第41表)。高温・土壤湿潤区と低温・土壤乾燥区の比較では、地上部には明確な差異がみられなかったが、根重は高温・土壤湿潤区でやや小さかった。高温・土壤乾燥区では乾物重が全体的に最も小さかった。地上部と地下部の重量比すなわちT-R率は、高温区では低温区に比べて有意に高かった(第41表)。

各部位のデンプン濃度は、地上部に比べて根、特に根幹や太根で著しく高かった(第42表)。根のデンプン濃度は、高温・土壤乾燥区に比べて低温区と高温・土壤湿潤区で比較的高かった。糖濃度は、デンプン濃度と比べて根でかなり低かった。高温・土壤湿潤区の糖濃度は、地上部や根幹では他区よりも著しく低かったが、細根ではかなり高かった。

第3項 暖地条件における夏季の遮光が光合成と貯蔵炭水化物の蓄積に及ぼす影響

前項では、夏季の著しい高温や土壤乾燥は、光合成速度の低下を招くとともに、落葉を早め、貯蔵養分の蓄積を抑制することが示された。このことは第1項において認められたように春季の花器の発育不良をもたらし、暖地における甘果オウトウの結実性低下の一因となることが推察された。

そこで、本項では、夏季の高温・高日射による葉へのストレスを軽減し、光合成能の低下や葉の老化を妨げる手段として遮光処理を試み、その効果を明らかにした。

材料および方法

1995年

香川大学農学部の研究圃場で栽培している10号鉢植えの'アオバザクラ'台の5年生甘果オウトウ'佐藤錦'を用いた。1995年7月23日から10月4日まで、遮光率53%、78%の遮光ネットで被覆したパイプハウスでそれぞれ3個体ずつを栽培した。対照区

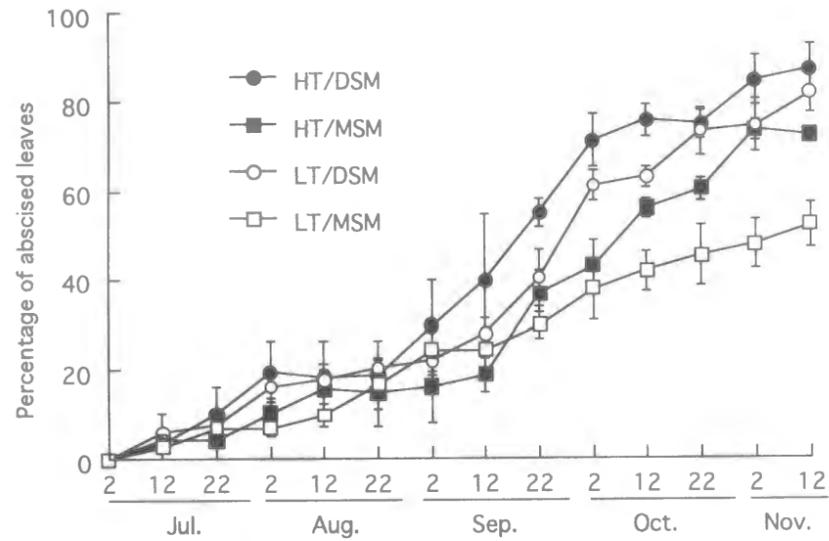


Fig. 39. Effect of temperature and soil moisture condition on the leaf abscission in 'Satohnishiki' sweet cherry. HT and LT mean high (35°C/25°C) and low (25°C/15°C) temperature, respectively. DSM and MSM mean dry (SMT<40kPa) and moist (SMT<6 kPa) soil moisture, respectively. DSM and MSM mean dry and moist soil moisture, respectively. Bars mean SE.

Table 41. Effects of temperature and soil moisture condition on dry weight of 'Satohnishiki' sweet cherry.

Treatment		Dry wight (g) ± SE						T R ratio ± SE
Temperature	Soil moisture condition	Shoots	Trunk	Rootstump	Roots		Total	
					≥2mm in diameter	<2mm in diameter		
High (35/25°C)	Dry (SMT<40kPa)	24.1 ± 1.8	99.9 ± 7.7	51.1 ± 9.6	31.0 ± 10.0	31.1 ± 4.9	237.2 ± 4.3	1.11 ± 0.14
	Moist (SMT<6kPa)	30.5 ± 4.2	100.4 ± 17.2	53.3 ± 6.3	34.4 ± 12.9	45.0 ± 8.2	263.5 ± 38.6	0.98 ± 0.03
Low (25/15°C)	Dry (SMT<40kPa)	27.7 ± 3.4	98.6 ± 10.2	53.4 ± 0.4	45.0 ± 0.6	63.1 ± 6.8	287.8 ± 18.7	0.78 ± 0.07
	Moist (SMT<6kPa)	40.9 ± 3.3	125.4 ± 4.0	84.1 ± 3.1	54.3 ± 6.4	98.3 ± 18.7	403.0 ± 33.7	0.71 ± 0.05
Significance		.	NS	.	NS	.	.	.

NS, *: Nonsignificant or significant at P<0.05 by ANOVA.

Table 42. Effects of temperature and soil moisture condition on reserve carbohydrate levels of 'Satohnishiki' sweet cherry.

Treatment		Parts					
Temperature	Soil moisture condition	Shoots	Trunk	Rootstump	Roots		
					≥2mm in diameter	<2mm in diameter	
Starch (% DW) ± SE							
High (35/25°C)	Dry (SMT<40kPa)	2.19 ± 0.31	2.10 ± 0.39	8.95 ± 0.79	9.66 ± 1.50	4.39 ± 0.43	
	Moist (SMT<6kPa)	2.55 ± 0.25	2.67 ± 0.18	10.95 ± 1.05	11.98 ± 2.23	6.95 ± 0.10	
Low (25/15°C)	Dry (SMT<40kPa)	1.81 ± 0.09	2.94 ± 0.20	12.15 ± 0.36	14.18 ± 0.40	6.91 ± 0.69	
	Moist (SMT<6kPa)	3.09 ± 0.66	2.87 ± 0.15	12.52 ± 0.23	12.69 ± 0.97	5.97 ± 0.50	
Significance		NS	NS	.	NS	.	
Sugar (% DW) ± SE							
High (35/25°C)	Dry (SMT<40kPa)	1.66 ± 0.11	1.28 ± 0.43	2.98 ± 0.65	2.93 ± 0.60	1.42 ± 0.54	
	Moist (SMT<6kPa)	1.03 ± 0.35	0.37 ± 0.03	0.64 ± 0.09	2.88 ± 0.23	3.40 ± 0.50	
Low (25/15°C)	Dry (SMT<40kPa)	1.67 ± 0.12	1.42 ± 0.34	2.72 ± 1.10	2.56 ± 0.23	1.60 ± 0.13	
	Moist (SMT<6kPa)	1.94 ± 0.25	1.08 ± 0.30	1.50 ± 0.54	2.56 ± 0.30	1.67 ± 0.28	
Significance		NS	NS	NS	NS	.	

NS, *: Nonsignificant or significant at P<0.05 by ANOVA.

として3個体を直射光下で栽培した。処理期間中の好天日に、日中の葉の光合成速度と蒸散速度を光合成測定装置 (LI-6200) により測定した。このうち、8月9日には、前項と同様の方法で葉の暗呼吸速度を測定した。8月2日から11月16日まで経時的に各個体の葉数を調査して、8月2日の着葉数に対する落葉数の割合を落葉率とした。

1996年

香川大学農学部の研究圃場で栽培している10号鉢植えの'アオバザクラ' 台の1年生甘果オウトウ'佐藤錦'を用いた。1996年7月29日から9月11日まで、前年の実験と同様の遮光処理を行った。各区につき3樹を用いた。

好天日の8月16日に6時から18時まで2時間毎に、葉のみかけの光合成速度、気孔コンダクタンス、葉温およびPPFDをLI-6200により測定した。好天日の8月26日には、一定面積の葉からアセトンでクロロフィルを抽出し、常法によって定量を行った。

9月11日に処理を終了し、直ちに全ての樹を前項と同様に解体し、各器官の乾物重、デンプン濃度、糖濃度を測定した。

結果

1995年

葉の光合成速度は、対照区に比べ53%遮光区で比較的高く推移したが、78%遮光区では対照区との間に大きな差異は認められなかった(第40図)。葉の蒸散速度は対照区に比べ遮光区でやや低く推移した(第41図)。8月9日において葉の暗呼吸速度は、対照区では $6.1 \mu \text{molCO}_2 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 、53%遮光区では $5.2 \mu \text{molCO}_2 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 、78%遮光区では $3.6 \mu \text{molCO}_2 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ であった。

対照区では8月中旬以降、一部の葉の周縁部が褐変し、落葉に至るものもあった。遮光程度が強いほど落葉は遅延された(第42図)。

1996年

対照区では日中の葉温が40°Cにも達した(第43図)。53%、78%遮光区では対照区に比べて10~14時の葉温がそれぞれ平均して4.0°C、5.4°Cも低かった。葉の光合成速度は、6時には対照区では $2.3 \mu \text{molCO}_2 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ であったが、遮光区では $1 \mu \text{molCO}_2 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 未満であった(第44図-A)。8時にはいずれの処理区でも光合成速度は急激に上昇し、対照区および78%遮光区ではすでにその日の最高値に達していた。その後、53%遮光区では、光合成速度が12時まで上昇を続け、対照区よりも日中には高く推移した。一方、78%遮光区では対照区と同程度のレベルで推移した。しかし、16時には遮光区では光合成速度が急減したのに対して、対照区では高く維持されていた。葉の気孔コンダクタンスは日中、遮光区で対照区よりもかなり高く推移し、特に78%遮光区で最も高かった(第44図-B)。朝夕は気孔コンダクタンスに処理間の差異は認めらな

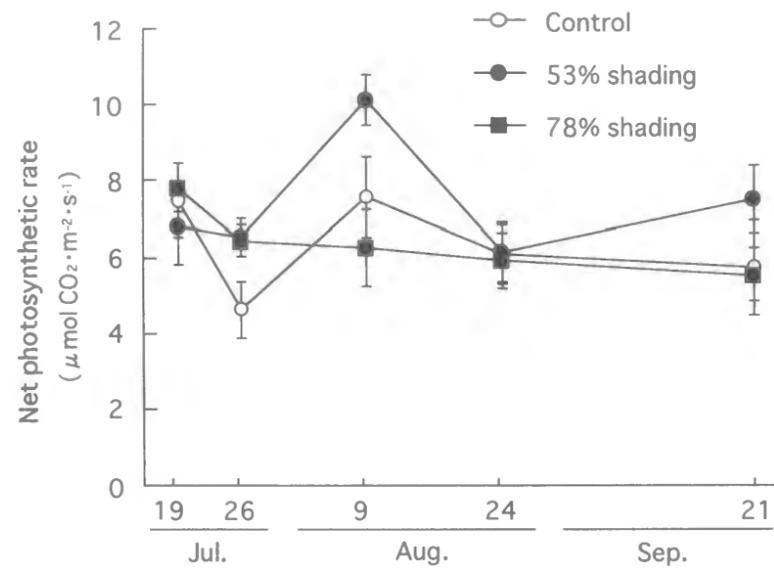


Fig. 40. Effect of shading on the rate of midday net photosynthesis of 'Satohnishiki' sweet cherry leaves (1995). Bars mean SE.

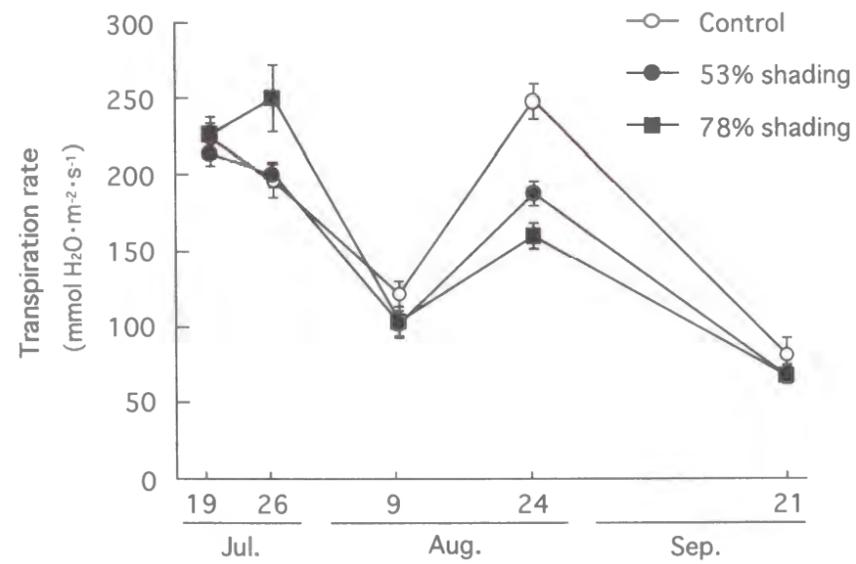


Fig. 41. Effect of shading on the rate of midday transpiration of 'Satohnishiki' sweet cherry leaves (1995). Bars mean SE.

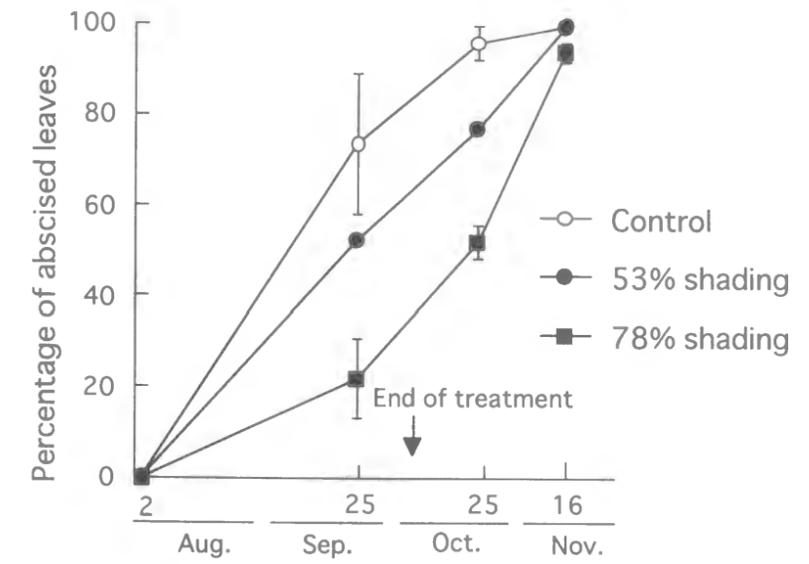


Fig. 42. Effect of shading on the leaf abscission in 'Satohnishiki' sweet cherry (1995). Bars mean SE.

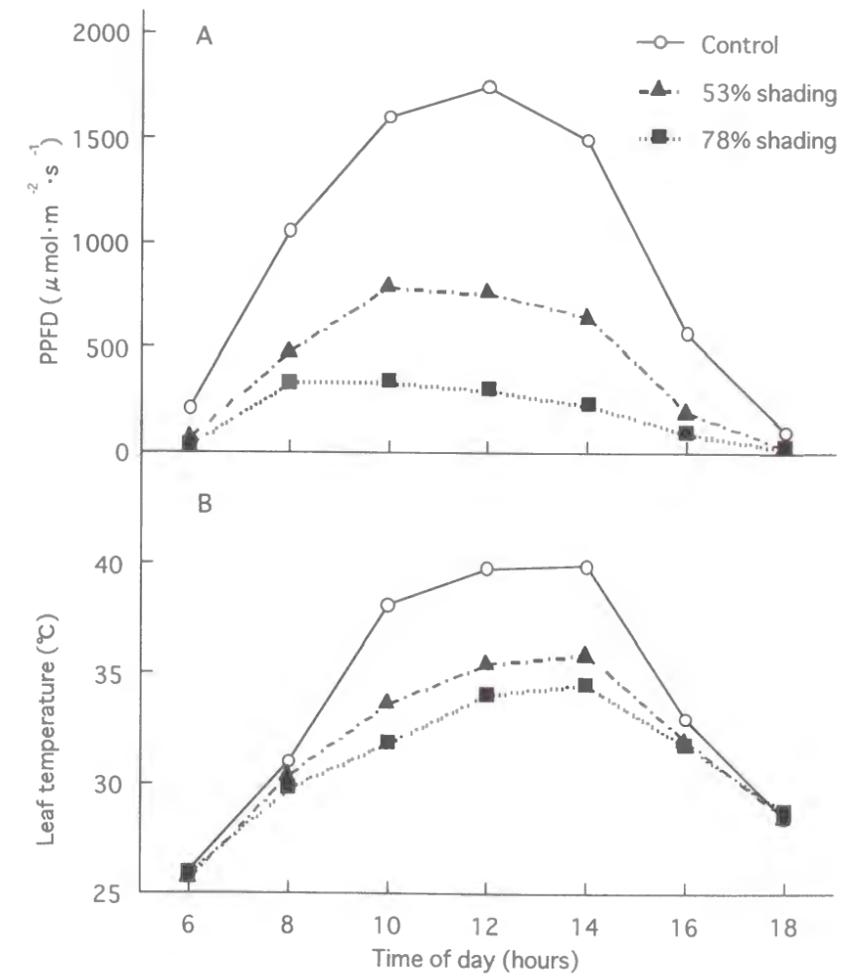


Fig. 43. Diurnal changes (16 August 1996) of photosynthetic photon flux density (PPFD) (A) and leaf temperature (B) under different levels of shading.

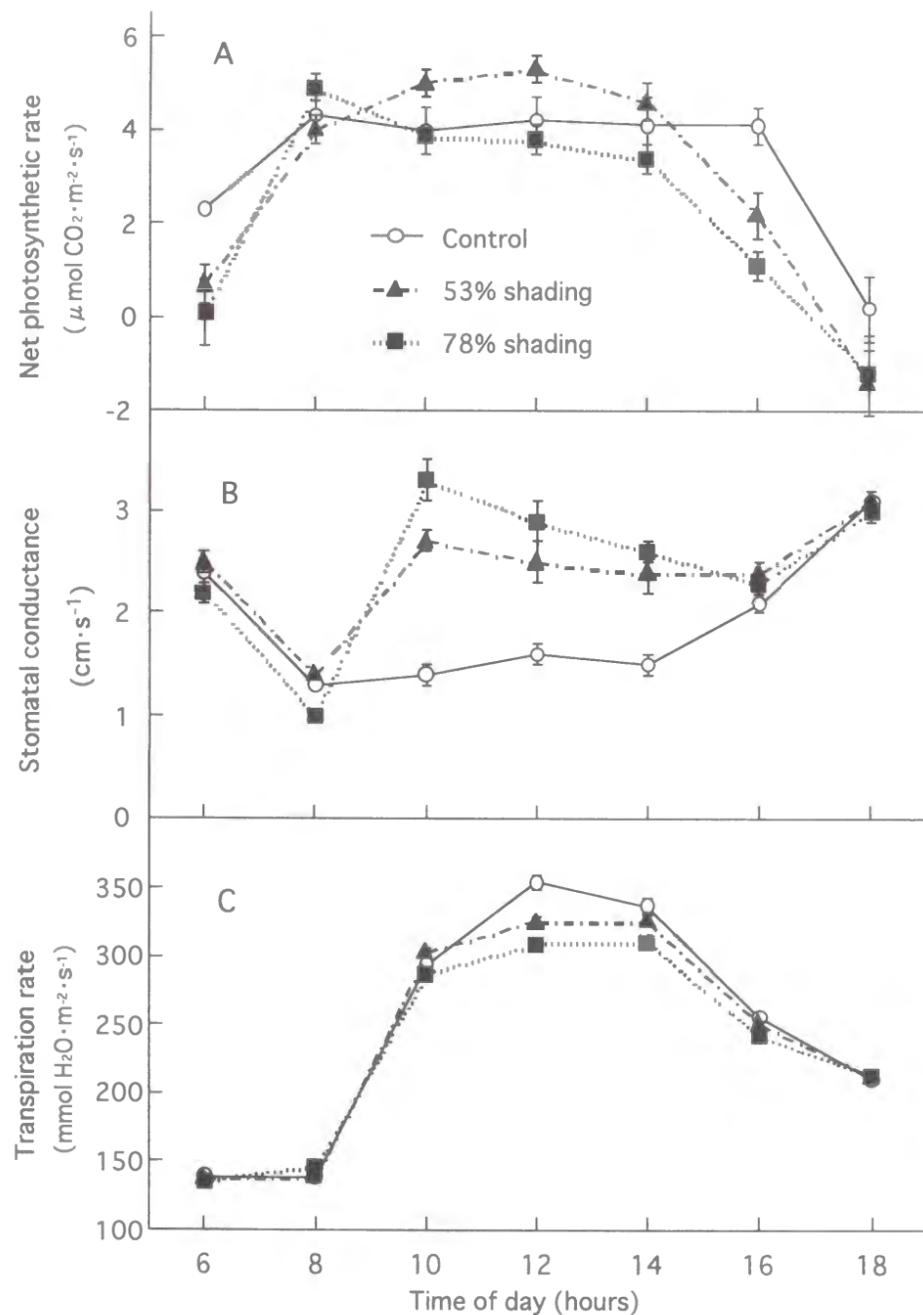


Fig. 44. Effect of shading on the net photosynthesis (A), stomatal conductance (B) and transpiration (C) of 'Satohnishiki' sweet cherry leaves (16 August 1996). Bars mean SE.

かった。葉の蒸散速度は、朝夕は低いレベルであったが、日中はいずれの処理区も著しく上昇した（第44図-C）。12時から16時にかけては、遮光区で対照区よりも蒸散速度がやや低かった。

葉のクロロフィル含量は、遮光により増加し、特に78%遮光区では対照区に比べて著しく大きかった（第43表）。

処理後の乾物重は、地上部には処理間で大きな差異はみられなかったが、根幹や細根では78%遮光区で他区よりもやや大きかった（第44表）。その結果、T-R率は、78%遮光区でやや小さい値を示した。デンプン濃度は、全体的に、根幹で他の部位よりもかなり高かった（第45表）。53%遮光区では、樹全体のデンプン濃度が他区よりも有意に高く、特に新梢や根幹で他区よりも高いデンプン濃度を示した。78%遮光区では、太根のデンプン濃度が他区よりも有意に高かった。一方、糖濃度は、葉で他の部位よりも著しく大きかった。葉や主幹の糖濃度は53%遮光区でやや高く、根では両遮光区で対照区よりもやや高かった。

第4節 ホウ素散布が結実性に及ぼす影響

一般に果樹の受精や結実には、微量元素のうち、ホウ素が重要な役割を持つことが知られている。別府・片岡（1999）は花粉発芽培地へのホウ素の添加により甘果オウトウの花粉の発芽率や花粉管長が著しく増加することを認めており、甘果オウトウの結実性においてもホウ素が関与していることが推察される。生育期の高温乾燥条件は根からのホウ素の吸収を妨げることが知られており（Hobbs・Bertramson, 1949）、特に暖地においては梅雨明け後の急激な気温上昇と土壤乾燥により、このような事態を招きやすいものと思われる。一方、秋季のホウ素の葉面散布により翌春の結実が向上することが、プルーン（Chaplinら, 1977; Callanら, 1978; Hanson・Breen, 1985）、アーモンド（Nyomora・Brown, 1997）、酸果オウトウ（Hanson, 1991）などの他のサクラ属果樹でも報告されており、甘果オウトウにおいても結実の向上に効果をもつ可能性がある。そこで、本項では秋季のホウ素の葉面散布が甘果オウトウ '佐藤錦' の翌春の雌・雄性器官の発育および結実に及ぼす影響を調査した。

材料および方法

香川大学農学部の研究圃場で栽培されている鉢植えの 'アオバザクラ' 台の8年生 '佐藤錦' 4個体を供試した。ホウ素濃度500ppmのホウ酸溶液に展着剤としてTween 20 (0.05%)を加え、これを1998年9月2日に全葉に噴霧処理した。対照区として、他の4個体について展着剤のみを含む蒸留水を全葉に噴霧した。翌春の開花当日に、あら

Table 43. Effect of shading on the content of chlorophyll in leaves of 'Satohnishiki' sweet cherry (1996).

Treatment	Chlorophyll content ($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)		
	a	b	Total
Control	14.8 ± 0.9	5.6 ± 0.4	20.4 ± 1.3
53% shading	18.7 ± 0.9	7.0 ± 0.3	25.7 ± 1.2
78% shading	27.0 ± 1.5	9.9 ± 0.6	36.9 ± 2.1
Significance	*	*	*

* : Significant at P<0.05 by ANOVA.

Table 44. Effects of shading on dry weight and T-R ratio in 'Satohnishiki' sweet cherry (1996).

Treatment	Dry wight (g) ± SE							T-R ratio ±SE
	Leaves	Shoots	Trunk	Rootstump	Roots		Total	
					≥2mm in diameter	<2mm in diameter		
Control	43.0 ± 5.9	63.3 ± 7.4	65.1 ± 10.6	55.3 ± 6.4	19.0 ± 7.5	67.9 ± 11.2	313.6 ± 37.0	1.25 ± 0.23
53% Shading	44.0 ± 4.2	68.8 ± 4.7	70.8 ± 3.2	52.2 ± 6.2	18.4 ± 3.4	61.1 ± 20.3	315.3 ± 30.0	1.51 ± 0.31
78% Shading	41.3 ± 2.8	61.2 ± 3.3	61.8 ± 9.6	65.1 ± 10.2	14.3 ± 5.1	81.2 ± 14.7	325.0 ± 18.9	1.09 ± 0.23
Significance	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NS : Nonsignificant at P<0.05 by ANOVA.

Table 45. Effects of shading on reserve carbohydrate levels of 'Satohnishiki' sweet cherry (1996).

Treatment	Parts							Tree
	Leaves	Shoots	Trunk	Rootstump	Roots			
					≥2mm in diameter	<2mm in diameter		
Starch (% DW) ± SE								
Control	4.7 ± 0.4	3.8 ± 1.2	4.9 ± 0.4	10.5 ± 1.7	2.2 ± 0.4	4.2 ± 1.0	5.3 ± 0.4	
53% Shading	4.6 ± 0.6	5.1 ± 0.6	4.8 ± 0.2	18.3 ± 1.5	6.9 ± 1.9	3.0 ± 0.5	6.8 ± 0.2	
78% Shading	4.3 ± 0.3	2.7 ± 1.1	6.1 ± 1.6	12.3 ± 2.7	14.9 ± 0.5	1.3 ± 0.4	5.5 ± 0.3	
Significance	NS	NS	NS	NS	*	NS	*	
Sugar (% DW) ± SE								
Control	10.1 ± 1.5	2.0 ± 0.3	1.3 ± 0.0	1.9 ± 0.5	1.6 ± 0.1	1.2 ± 0.2	2.8 ± 0.2	
53% Shading	13.5 ± 0.7	1.8 ± 0.2	1.9 ± 0.3	2.4 ± 1.4	1.8 ± 0.5	2.0 ± 0.5	3.5 ± 0.2	
78% Shading	11.1 ± 0.7	2.3 ± 0.4	1.7 ± 0.5	2.6 ± 0.7	2.0 ± 0.4	2.2 ± 0.4	3.3 ± 0.3	
Significance	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	

*, NS : Significant or nonsignificant at P<0.05 by ANOVA.

かじめ発芽力を確認した'高砂'の花粉を全ての花に人工受粉した。花器の各部位の大きさ、花柱内における花粉管の伸長、胚珠の発育、結実率について、第1節と同様の方法で調査した。花粉の発芽力については前節と同様の調査を行った。また、開花当日の花を採取して冷凍保存した。試料を凍結乾燥した後、500℃で灰化し、クルクミン法によりホウ素を定量した。残りの乾燥試料については、前章と同様の方法で糖濃度を分析した。

結果

調査した20花の開花日の平均は、対照区で4月21日、ホウ素処理区で4月20日であった。花器の重さや各部位の大きさには処理間で有意な差は認められなかった(第46表)。花のホウ素濃度は、ホウ素処理により有意に高くなったが、糖濃度には有意な差は認められなかった(第47表)。

ホウ素処理により、花粉の人工培地上での発芽率はやや高くなり、花粉管の伸長量は著しく大きくなった(第48表)。花柱内における花粉管伸長については、受粉24時間後には、対照区では52%の雌ずいで花粉管が花柱基部に達しており、ホウ素処理によりその割合が89%にまで増加した(第49表)。受粉48時間後には、いずれの処理区でも一部の雌ずいで花粉管が珠孔に到達していたが、受粉48、72時間後の花粉管伸長には処理間の差異は認められなかった。

8核期に達した胚の割合は開花当日から開花4日後まで常にホウ素処理区で高く維持され、開花4日後には対照区ではその割合が34%であったのに対して、ホウ素処理区では51%であった(第50表)。一方、退化した胚珠の割合は対照区で常に高い値を示した。結実率は、対照区の22.7%に対して、ホウ素処理区では28.4%とやや高かった。

第5節 考察

1. 制御環境下における温度条件と結実性の関係

開花期の高温による結実率の低下は、ブドウ(Kliwer, 1977)やカキ(Georgeら, 1994)、オリーブ(Cuevasら, 1994)などで報告されている。本実験では、開花期前後の温度が20℃以下であれば、甘果オウトウの結実率は30%以上であるのに対し、25℃では2%に低下したことから、開花期前後の20℃を超える高温は著しい結実不良を招くことが明らかになった。西南暖地では開花期前後の気温が高く推移し、高松市では4月中に日最高気温が20℃を超えた日が14日(1991~2000年の平均)観測されている。これらのことから、西南暖地における甘果オウトウの結実不良の一因として、

Table 46. Effects of fall-applied foliar spray of B on the development of flower in 'Satohnishiki' sweet cherry.

Treatment	Weight of flower (mg)	Length			Ovary		Ovule	
		Peduncle (mm)	Petal (mm)	Pistil (mm)	Length (mm)	Width (mm)	Length (μ m)	Width (μ m)
Control	185	13.1	22.4	13.6	3.07	1.64	775	441
B	172	12.8	19.4	13.7	3.35	1.65	829	402
Significance	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NS : Nonsignificant at $P < 0.05$ by ANOVA.

Table 47. Effects of fall-applied foliar spray of B on B and sugar contents in flowers of 'Satohnishiki' sweet cherry.

Treatment	B \pm SE (μ g \cdot g ⁻¹ DW)	Sugar \pm SE (% DW)
Control	47.3 \pm 1.2	2.46 \pm 0.62
B	67.8 \pm 7.7	2.34 \pm 0.33
Significance	*	NS

*, NS : Significant or nonsignificant at $P < 0.05$ by ANOVA.

Table 48. Effects of fall-applied foliar spray of B on pollen germination and tube growth of 'Satohnishiki' sweet cherry.

Treatment	Percentage of germination \pm SE	Length of pollen tube (μ m) \pm SE
Control	48.9 \pm 3.1	754 \pm 77
B	59.5 \pm 3.1	1043 \pm 53
Significance	NS	*

*, NS : Significant or nonsignificant at $P < 0.05$ by ANOVA.

Table 49. Effect of fall-applied foliar spray of B on the elongation of pollen tubes in pistils of 'Satohnishiki' sweet cherry.

Hours after pollination	Treatment	Percentage of pistils with the most advanced pollen tube reaching					
		Stigma	Upper of style	Middle of style	Bottom of style	Obturator	Micropyle
24	Control	0.0	29.6	18.5	51.9	0.0	0.0
	B	0.0	5.6	5.6	88.9	0.0	0.0
48	Control	0.0	0.0	0.0	15.2	78.8	6.1
	B	0.0	0.0	0.0	11.5	80.8	7.7
72	Control	0.0	0.0	0.0	6.3	71.9	21.9
	B	0.0	0.0	0.0	12.5	68.8	18.8

Table 50. Effect of fall-applied foliar spray of B on the development of ovule in 'Satohnishiki' sweet cherry.

Days after anthesis	Treatment	Stage of development						Degenerated embryo sac and/or nucellus
		Embryo sac mother cell	Two-nucleate	Four-nucleate	Eight-nucleate		Total	
Egg cell not differentiated	Egg cell differentiated							
0	Control	0.0 ²	8.8	12.9	1.0	44.4	45.4	32.9
	B	0.0	8.2	20.5	4.7	45.6	50.3	20.9
2	Control	0.0	2.2	13.0	2.2	49.3	51.5	33.4
	B	0.0	3.1	5.9	8.3	55.1	63.5	27.5
4	Control	0.0	0.0	3.4	0.0	33.6	33.6	63.0
	B	0.0	0.0	1.4	1.4	49.3	50.7	47.9

² : Percentage of the ovule with embryo sac or nucellus at different stages of development.

開花期前後の高温がかかわっていることが示された。なお、温度処理間の結実率の差異は受粉後 2 週間以内に生じていることから、25℃区での結実不良の主因が、不受精による落果であると考えられた。

一般に、受精の成否には、花粉の発芽や花柱内での花粉管の伸長速度、胚珠の発育程度などの樹体要因が関係するとみられるが、本実験において、低温区に比べ、高温区では花柱内に伸長した花粉管数はやや少なかったものの、伸長速度には大きな差異が見られず、高温区でも受粉 3 日後には多くの雌ずいで花粉管が子室内の柔組織に達しており、一部は珠孔にも達しているのが確認された。人工培地上での甘果オウトウの花粉の発芽適温が 25℃前後と比較的高い(渡部, 1993; 別府・片岡, 1999) ことを合わせて考えると、高温条件下における低い結実率は、花柱内での花粉管の伸長速度の低下に起因するものではないと思われる。このことに関連して、オリーブでも同様に高温により柱頭での花粉の発芽率は減少するが、花粉管の伸長速度は影響を受けないことが報告されている(Cuevasら, 1994)。

一方、温度と胚珠の発育との関係については、Postweilerら(1985)は、開花前日に採取したオウトウの枝を 5~20℃の恒温器に置くと、温度が高いほど開花後の胚珠の寿命が短縮されたことを、アニリンブルー染色した胚珠の蛍光顕微鏡観察により認めている。また、Thompson・Liu(1973)は、プルーンにおいて、開花期の平均気温が 5℃以上異なった 2 年間の調査で、気温が高く推移した年には胚珠の発育不良が増加したことを報告している。本実験では、開花当日には高温区、低温区とも胚のうや珠心が退化している胚珠はわずかであったが、花粉管が子室内に到達すると見られる開花 2 日後には、高温区では胚のうや珠心が退化した胚珠が低温区に比べて著しく多くなり、8 核期に達した胚のうを有する正常な胚珠の割合は 20%にも満たなかった。このことから、開花期前後の高温による甘果オウトウの結実率の低下は、開花後の胚のうや珠心の急激な退化が主因となっていることが示唆された。アンズ(Egea・Burgos, 1994)やアーモンド(Pimienta・Polito, 1983)では、開花時には未完成の胚のうが多く、開花後、さらに発達することが知られている。甘果オウトウにおいても、開花時には未完成の胚のうが多く存在し、開花後も発達が続いていることが、本実験で確認された。しかし、高温条件下では開花 2 日後においても完成した胚のうは少なく、退化した胚のうが急増していたことから、開花時に完成していた胚のうの退化に加え、開花時に未完成であった胚のうが、その後も十分に発達せず、そのまま急速に退化していると考えられる。近年、主産地において増加している施設内での加温栽培においても、結実不良の問題が生じており、特に 25℃以上の条件では、人工受粉を行っても結実が不良となる(遠藤, 1993) ことから、加温栽培における結実不良についても、高温による胚のうや珠心の退化が関与していることが推察される。

2. 結実性におけるジベレリンの関与

高温条件下で発達した花では、低温条件下で発達したものに比べ内生 GA のレベルが高く、開花後の珠心や胚のうの急速な退化との関係が示唆された。一般に、内生 GA は主に植物体の根や若葉で生成され、他の部位へ移動することが知られており(Sembdnerら, 1980)、環境条件がこの過程に影響を及ぼしていることが考えられる。実際に、高温条件下で栽培されたトマトの茎頂や若葉では、GA 様物質が多く生成されることが認められている(Abdul・Harris, 1977, 1978)。また、ブドウでは、根圏温度を高く維持すると、シュートの GA 様物質の活性が著しく高くなったと報告されている(久保田ら, 1986)。さらに、ウンシュウミカンでは、根およびシュートの温度を高くすると、葉の内生 GA レベルが増加したと報告されている(Poerwanto・Inoue, 1990)。本実験では、鉢植個体を用いて樹全体を温度処理したことから、花器の GA レベルの変化は、地上部だけでなく地下部の温度条件の影響を受けたのかもしれない。

GA の胚のうの発育への影響に関して、杉浦(1969)は開花前の GA 処理によりブドウ‘デラウェア’で胚のうの発達が遅れたことを報告している。Okamoto・Omori(1991)もブドウ‘マスカット・オブ・アレキサンドリア’や‘ピオーネ’において、切除した小花を人工培地で培養したところ、培地への GA の添加により、胚のうの発達が抑制されたことを認めている。しかし、本実験では、GA₃処理は胚のうの発達に影響しなかった。一方、GA₃処理により、開花後の胚のうの退化は著しく早まった。‘マスカット・ベリー A’(高木, 1980)や‘巨峰’(小松, 1987)において、開花前の GA 処理により、開花当日から数日後にかけて退化した胚のうの割合が増加したことが報告されている。甘果オウトウについても、Stösser・Anvari(1982)は、GA₃を開花直前に処理した花では、アニリンブルー染色で蛍光発色する活性のない胚珠の割合が、開花後 3 日以内に 50%以上になるが、対照区では開花 6 日後でもわずか 30%以下であったと報告している。

一方、開花前に GA の生合成阻害剤である PBZ を処理して、花器の発育や結実への影響を調べたところ、PBZ 処理により、胚のうの寿命が延長し、その結果、結実率が著しく増加した。これまでも PBZ の甘果オウトウの結実への影響が調査されてきたが、効果は必ずしも一定していない(Websterら, 1986; Looney・McKellar, 1987; Webster, 1990; 尾形ら, 1991; 高橋ら, 1995)。これには、処理時期や濃度、品種の違いだけでなく、開花期前後の温度条件の違いも関係しているのかもしれない。本実験の調査年(1998 年)には開花期前後の気温が平年よりも著しく高かったために、対照区の結実率が極めて低くなり、PBZ の効果がより顕著に現れたことも考えられる。これらのことは、暖地栽培における結実性の向上に PBZ のような GA 生合成阻害剤の利用が有効であることを示唆している。今後、PBZ 処理のより効果的な処理時期や濃度についてさらに検討する

とともに、他のGA生合成阻害剤の効果についても調査する必要があると思われる。

3. 樹体の同化産物の蓄積と結実性

樹体栄養と結実の関係について、遠山ら(1957)はニホンナシで、平田ら(1974)はカキで、秋季に摘葉処理を行い、人為的に樹体の貯蔵養分を減少させた結果、翌春に結実不良が生じたことを報告している。本実験の結果から、甘果オウトウにおいても、秋季の摘葉処理により翌春の結実率が低下することが示された。摘葉処理により開花2週間後には結実率が大きく低下したことから、これは不受精による落果によるものとみられた。花粉の発芽や花粉管の伸長には処理間に差異がなかったのに対して、胚珠の寿命は摘葉処理により短縮され、摘葉による不受精の主因が胚珠の急速な退化にあることが示唆された。

一方、摘葉処理区では、不発芽により開花数が激減したが、同様の現象が酸果オウトウにおいても報告されている(Kennard, 1949; Howell・Stackhouse, 1973)。落葉果樹では、晩秋から初冬にかけてデンプンが糖に加水分解され、液胞の浸透圧が増加するが、高濃度の糖は氷点を低下させることによって液胞内での氷の形成を防ぎ、凍害から樹を保護する(Ryugo, 1988)。しかし、摘葉処理はデンプンの蓄積を妨げることから、花芽においても糖濃度の低下による耐凍性の低下のために、凍害を被った可能性が考えられる。さらに、摘葉処理区では、花柱のない異常花の割合が増加したが、摘葉処理を行った9月中旬には、まだ分化初期の雌ずい原基をもつ花芽が存在しており、摘葉によりこのような花芽ではその後の発育が停止した可能性も考えられる。

これらのことから、前年の秋季の葉数の減少は、甘果オウトウの花器の発育や結実の不良を招くことが明らかになった。したがって、暖地栽培における結実の確保には、収穫後の葉の保持が重要であることが示された。

一方、夏季の温度や土壌湿度が葉の光合成能や同化産物の蓄積に及ぼす影響について環境制御下で調査した結果、夏季の高温や土壌乾燥はいずれも処理期間中の葉の光合成速度を低下させることが示された。特に土壌乾燥は、多くの植物で認められているように(石原, 1981)、葉の光合成速度の著しい低下を招いた。Harrisonら(1989)は同じサクラ属果樹であるモモの実生苗において土壌水分と葉の光合成との関係を調べており、光合成速度は、土壌水分張力50kPaでは20kPaに比べて約20%低下し、500kPaでは半分程度にまで低下したことを認めている。本実験では、乾燥区でも土壌水分張力が50kPaを超えないように維持したにもかかわらず、葉の光合成速度は湿潤区の半分程度にまで減少していたことから、甘果オウトウはモモに比べて乾燥ストレスに対する感受性が強いことが示唆された。土壌乾燥による光合成の低下は、葉の水ポテンシャルの低下により気孔が閉じてしまうために生じることが一般に知られており(石原, 1981)、本実験においても、乾燥区では葉の水ポテンシャルが低く、気孔コンダクタ

ンスが小さかったことから、同様の機構で光合成の低下が生じたものと思われる。

高温も葉のみかけの光合成速度をやや低下させた。高温によるみかけの光合成速度の低下は、多くの落葉果樹で報告されており、これは、主に高温による呼吸量の増加によって生じていると考えられている(天野ら, 1972; Lakso, 1994)。本実験においても、高温による呼吸量の増加が認められた。しかし、Roper・Kennedy(1986)は甘果オウトウ'Bing'の光合成特性の調査において、35℃では光合成速度が25℃の半分程度にまで低下することを認めているのに対して、本実験では高温による光合成の減少幅は比較的小さかった。このことに関連して、両温度区の樹を15~35℃の人工気象室に一時的に移して光合成速度を測定したところ、低温区の樹では25℃を超えると光合成速度は急激に低下したが、高温区の樹では30℃で光合成速度は最大となり、35℃でも減少幅は小さかったことから、甘果オウトウの葉においても光合成の温度順応性(沢田, 1981)の機能が認められ、この影響で温度処理間の光合成速度の差が比較的小さかったものとみられる。

同化能力の低下に加え、高温や土壌乾燥はいずれも早期落葉を招いた。早期落葉に対する温度と土壌湿度の影響を比較すると、特に土壌湿度の影響が大きかった。Hanson・Proebsting(1996)は、ワシントン州の乾燥地域において、十分に灌水を施した樹では、11月上旬から中旬にかけて落葉が進行したのに対して、夏季に蒸発量の15%しか灌水しなかった樹では、9月上旬に既に落葉が始まり、10月下旬までにほとんどの葉が落葉したことを報告している。

高温や土壌乾燥は休眠時の乾物重を著しく減少させた。これは先に述べた光合成速度の低下や早期落葉によって生じたものと考えられる。特にその影響は当年生根で顕著に現れた。オウトウの新梢の伸長は6月上旬にはほとんど停止するが、根は9月上旬まで伸長を続けることを観察している(データ未発表)ことから、7月以降の高温や土壌乾燥処理による乾物重への影響は、地上部よりも当年生根に大きく現れたものと思われる。温度と土壌湿度の影響の強さを比較すると、高温・土壌湿潤区の乾物重が、低温・土壌乾燥区のものよりも小さかったことから、乾物重には温度の影響がより強く現れているものと思われる。このことは、光合成や落葉に及ぼす影響とは必ずしも一致しなかったが、これには呼吸量の違いが影響しているのかもしれない。リンゴやアンズでは、シーズンを通じての同化量に対する樹の全呼吸量の割合が、40%以上に達することが認められており(Lakso, 1994)、乾物生産に影響を及ぼす一因として、呼吸消費が関与している可能性も十分に考えられる。本実験では高温により葉の呼吸量が増えることを認めており、この増加は、葉だけでなく、非同化部でも生じていたと思われる。このことについて、リンゴでは、根の呼吸量も地上部同様に大きいことや、気温の高い時期には根の呼吸量が増加することが報告されている(Proctorら, 1976)。これらのことから、甘果

オウトウにおいても高温条件に置かれた場合、乾物生産に関して、呼吸による炭水化物の消費が、光合成による同化を上回った可能性が考えられる。

糖に比べて地下部で著しく濃度の高かったデンプンについては、高温・土壤乾燥区のみ他区よりも低い値を示しており、他の処理区では大きな差異は認められなかった。このことから、高温・土壤乾燥区のような同化産物の供給が著しく少ない場合にはその影響がデンプンの蓄積の不足に現れ、逆に同化産物の供給が十分にあり一定のデンプン濃度に達した場合には、さらに供給される同化産物は各器官特に根の肥大に利用されると推察される。

以上の結果から、高温や土壤乾燥は光合成の低下や早期落葉を招き、その結果、乾物生産や貯蔵養分の蓄積を抑制することが示された。しかし、その一方で高温条件下でも土壤を湿潤に保つことにより、葉の光合成能を比較的高く維持し、樹のデンプン濃度を低温条件下のものと近いレベルに保てることが示唆された。

一方、夏季の遮光栽培が葉の光合成や落葉、貯蔵養分の蓄積に及ぼす影響を調査したところ、日中の葉のみかけの光合成速度は、53%遮光下では、直射光下に比べて、やや高く推移した。この遮光のレベルでは、透過した光量は光飽和点に十分達していると考えられ、遮光による葉温の低下によると思われる葉の呼吸速度の減少が、みかけの光合成速度の増加をもたらしたと考えられる。また、遮光により、葉の気孔コンダクタンスが著しく増加したことや、Kappel・Flore (1983) のモモでの報告と同様に葉のクロロフィル含量が増加したことも、53%遮光区における光合成速度の増加の一因であるかもしれない。一方、78%遮光区では、日中の葉のみかけの光合成速度に对照区との差異は認められなかった。このレベルの遮光では、日中においても透過する光量が光飽和点に達していなかったことが考えられ、そのことによる光合成速度の低下が、前述の要因による遮光下でのみかけの光合成速度の増加分を相殺していたのかもしれない。

処理終了直後の貯蔵炭水化物濃度は、遮光区で对照区よりも高かった。朝夕の光合成速度は遮光区でやや低かったにもかかわらず、処理期間を通じての同化産物の生産力は、直射光下よりも遮光下で栽培した樹で大きかった。このことには、光合成だけでなく、遮光による樹体温の低下による樹全体の呼吸量の減少も関係しているのかもしれない。この分析は処理終了直後の9月上旬のものであるが、この後の落葉が遮光処理によりかなり遅れることから、休眠時の貯蔵炭水化物含量は、遮光区でより大きくなることが推察される。

これらの結果から、夏季の軽度の遮光は、葉の同化能力を高め、樹体の貯蔵炭水化物濃度を増加させる効果があることが示された。さらに、遮光には落葉を遅延する効果もあることが認められた。したがって暖地における夏季の遮光栽培は、貯蔵養分の蓄積を促し、翌春の結実を向上させる手段となりうるものと考えられる。さらに、この時期の

遮光は、二雌ずい花の発生を抑制する効果があることも第2章で認められており、この点からの効果も期待できる。今後、実際栽培への適用を図るため、樹冠内の光環境の大きく異なる成木についても、遮光の時期やレベルについて詳細に検討する必要がある。

4. ホウ素散布が結実性に及ぼす影響

秋季のホウ素の葉面散布により、翌春の花器のホウ素レベルは、对照区よりも有意に高く、葉面から吸収されたホウ素は、その後、花芽に移行したことを示している(Callanら, 1978; Hanson・Breen, 1985; Hanson, 1991; Nyomora・Brown, 1997)。ホウ素処理区では、完成した胚の割合が増加し、胚珠の寿命が延長されたことから、ホウ素が胚のうの発育に重要な役割を果たしていることが示された。本実験では花器の糖濃度にホウ素処理による影響は認められなかったが、このことについて岡本・小林(1971)は、ブドウの花の糖含量は、開花直前に高まって満開期に著しく低下したことから、開花・受粉に伴い多量の糖が消費されることを示唆しており、また、ホウ素散布によりその減少が著しくなったことから、ホウ素により糖の代謝・利用が促進されたものと推察している。胚のうの発育に加えて、花柱内の花粉管伸長もホウ素処理により促進された。培地へのホウ素の添加により甘果オウトウの花粉の発芽率や花粉管長が増加することが認められている(別府・片岡, 1999)。秋季のホウ素処理により柱頭や花柱のホウ素濃度も高められたものとみられ、このことも受精に有利に働いたものと思われる。以上の結果から、ホウ素処理は、暖地における結実確保のための実践的な方策の一つとなるものと考えられた。ホウ素処理の最適な時期や濃度について、Nyomoraら(1999)はアーモンドで、収穫2週間後、休眠期、開花前にそれぞれホウ素処理を行った結果、収穫後処理(9月)が最も効果的で、濃度は0.8-1.7kg/haが最適であったと報告している。暖地における甘果オウトウ栽培においても、今後、処理時期や処理濃度についてさらに検討する必要があると思われる。

第6節 摘要

甘果オウトウ‘佐藤錦’の花器の発育や結実に関わる環境要因、ジベレリンおよび樹体栄養の影響を暖地条件の香川で調査した。

1. 開花1カ月前から開花終了時にかけて、樹体を昼温25℃、20℃、15℃、10℃(夜温は全て外気温)の人工気象室で栽培し、花器の発育と結実率を調査した。温度が高い処理区ほど開花時期が早く、花器が小さくなる傾向がみられた。25℃区では、結実率が10~20℃区に比べて著しく低かった。

低温区(昼温10℃~15℃/夜温 外気温)と高温区(昼温20℃~25℃/夜温10℃~15℃)における花柱内での花粉管伸長と胚のうの発育を調査した。花柱内での花粉管

第5章 総合考察

の伸長速度には温度の影響はほとんど認められなかった。高温区では、開花後に珠心および胚のうの急速な退化が生じた。

2. 開花1カ月前から開花終了時にかけて、樹体を25℃および15℃の人工気象室で栽培し、花器の内生GAレベルを調査した。25℃区では、開花時の花器の内生GAレベルは15℃区に比べて著しく高かった。

開花前にGA₃を10 ppm、100ppmで短果枝に散布し、花器の発育と結実率を調査した。GA₃処理により、開花後の珠心および胚のうの退化が著しく早まった。結実率は、GA₃処理によりかなり低下した。

開花前にPBZを500ppmで短果枝に散布し、花器の発育と結実率を調査した。PBZ処理により、胚珠の寿命が延長され、結実率が著しく増加した。

3. 9月中旬に、樹上の全ての葉を摘葉する全摘葉処理と、短果枝や中長果枝毎に約半数の葉を摘葉する半摘葉処理を行い、翌春の花器の発育と結実を調査した。摘葉処理により、翌春の開花数が著しく減少し、さらに花柱のない異常花の割合が増加した。摘葉処理により、胚珠の寿命が短縮され、結実率が著しく低下した。

7月上旬から9月中旬にかけて、樹体を昼温35℃/夜温25℃(高温区)、25℃/15℃(低温区)の人工気象室に搬入し、さらにそれぞれの温度区について、土壤の水分張力が6kPaに達した時点で水1Lを灌水する湿潤区と、40kPaに達した時点で水1Lを灌水する乾燥区を設け、葉の光合成能と樹体の貯蔵炭水化物の蓄積を調査した。高温や土壤乾燥はいずれも葉の光合成速度の低下や葉焼けの発生を招き、落葉を助長した。休眠時の樹体の乾物重は、高温や土壤乾燥により著しく減少した。デンプン濃度は、高温・土壤乾燥区に比べて低温区と高温・土壤湿潤区で比較的高かった。

7月下旬から10月上旬にかけて、樹体を遮光率53%および78%の遮光ネットで被覆したパイプハウスに搬入し、葉の光合成能と落葉時期を調査した。53%遮光区では、日中の葉のみかけの光合成速度は対照区や78%遮光区よりもやや高く推移した。遮光により葉焼けの発生が抑制され、落葉が遅延した。同様の遮光処理を翌年の7月下旬から9月中旬にかけて行い、樹体の貯蔵炭水化物濃度を調査した。遮光区では、処理終了直後の樹体の貯蔵炭水化物濃度は対照区に比べてやや高かった。

4. 9月上旬にホウ素濃度500ppmのホウ酸溶液を全葉に噴霧処理し、翌春の花器の発育と結実率を調査した。ホウ素処理により、胚珠の寿命が延長し、花柱内での花粉管伸長がやや速まった。ホウ素処理区では対照区に比べて結実率がやや高まった。

本研究において、暖地での甘果オウトウ栽培の安定化における最も重大な障害である二雌ずい花の多発および結実不良の原因が、いずれも、冷涼地と異なる暖地特有の環境条件に帰因することが明らかとなった。

甘果オウトウの結実性に関して、開花期前後の20℃を超える高温は、胚のうや珠心の急激な退化を引き起こし、その結果、著しい結実不良をもたらすことが示された。西南暖地では、萌芽期から開花期にかけての気温上昇が早く、開花期前後の気温が高く推移し、日中の気温は20℃を超える場合も多く、このために結実性の低下が生じているものとみられる。また樹体栄養と結実性の関係について、受精に必要な胚のうの生存期間の確保には、貯蔵養分の十分な蓄積が必要であることが示された。一方、夏季の著しい高温や土壤乾燥は光合成の低下や早期落葉を招き、その結果、乾物生産や貯蔵養分の蓄積を大きく抑制することが明らかになった。暖地では、梅雨明け後から8月下旬にかけての長期間、日最高気温は30℃を超え、降水量の減少により著しい土壤乾燥が生じやすく、このことが結実不良のもう一つの原因となっているものとみられた。

一方、甘果オウトウの二雌ずい形成は、花芽分化期の日中30℃以上の高温条件により生じることが明らかになった。さらに、高温に対する二雌ずい形成の感受性は、がく片や花卉の分化段階にある花芽において最も大きいことが示された。暖地では、花芽分化の初期徴候は6月上中旬に認められ、気温が急激に上昇する梅雨明け時の7月上中旬にがく片や花卉の分化段階に達していた。これらのことから、暖地では、夏季の著しい気温上昇に加えて、花芽における二雌ずい形成の高温に対する感受性が最大となる時期が高温期間と一致することが、二雌ずい花の多発の原因となっていることが示唆された。

これらの知見をもとに、暖地条件下における結実向上および二雌ずい花形成の抑制の可能性について考えてみると、結実不良および二雌ずい花形成のいずれにおいても、直接的な要因が特定の生育段階における高温遭遇にあることから、この時期に樹体を閾値を超える高温にさらさないことが重要である。このための具体的な方策として、作型の選択や、遮光による樹体温の上昇回避などが考えられる。

まず、前者については、加温促成栽培が実践的な方策としてあげられる。結実促進を目的とする場合、日中の気温が結実不良を招く20℃以上に上昇するのは4月上中旬以降であることから、この時期までに開花が終了することが望ましく、このためには約2週間以上の開花期の前進が得られるような作型が求められる。当然のことながら、促成栽培において、開花期間中は施設内の換気を十分行い20℃以下の気温に保つ必要がある。一方、二雌ずい花形成の抑制のためには、気温が急激に上昇し始める7月上中旬までに、花芽が二雌ずい形成における高温感受性が著しく低下する雄ずい分化段階に達し

ていることが望ましく、このためには露地栽培に比べて花芽分化の進行が約3週間以上早まるような作型が必要である。このような促成栽培を適用する際に、甘果オウトウの花芽分化は収穫後直ちに開始することから、被覆資材は収穫後できるだけ早く取り除き、施設内が高温となるのを回避しなければならない。暖地栽培においては、降雨による裂果の防止のために雨よけハウスが導入されている園地が多く、このような施設を利用して促成栽培に移行可能と思われる。加温開始の目安となる低温要求量は、甘果オウトウでは7.2℃以下の積算時間で1,100～1,300時間とされており（Ryugo, 1988）、また丹沢（1991）は、促成栽培においては低温遭遇時間が最低でも1,000時間以上経過してから加温することが望ましいとしている。暖地条件の香川では1月下旬から2月上旬に低温遭遇時間が1,100時間に達することから、この時期からの加温が可能であると考えられる。

次に、樹体の高温遭遇回避については、開花期前後および盛夏期における一時的な遮光が実践的な方策の一つとなり得るものと考えられる。まず、開花期前後の遮光について、遮光の開始は、発芽後、日中の気温が20℃に達し始める前が望ましく、受精がほぼ完了すると予想される満開数日後まで遮光を継続すべきであろう。この時期の葉は十分に展葉しておらず、光合成による同化率の低下の影響は小さいとみられることから、植物体の温度上昇の抑制により有効な強度の遮光レベルを適用することが可能である。一方、夏季の遮光は、二雌ずい形成の抑制に有効であり、さらに、落葉の遅延や貯蔵炭水化物の増加をもたらすことから、翌春の結実性の向上にも寄与するものと考えられる。遮光の時期は、二雌ずい形成の抑制のためには、花芽の高温感受性が大きい片分化段階から雄ずい分化段階への移行期にあたる7月中旬から8月上旬が最も効果的であると思われる。しかし、落葉の遅延や貯蔵養分の増加のためには、日中30℃以上の高温が続く8月下旬まで遮光を継続すべきであろう。この場合、遮光のレベルは、二雌ずい花形成の抑制や落葉の遅延のためにはより強いものが望まれるが、一方で光合成による同化率の低下をもたらす懸念がある。甘果オウトウの光飽和点は他の落葉果樹に比べて低く、本実験において、78%の遮光レベルでは、鉢植え個体の葉の日中の光合成速度に大きな低下はみられなかった。また、高温に加えて土壌乾燥によるストレスも光合成の低下や早期落葉による貯蔵養分の減少を招くことが示され、収穫後においても適切な灌水を施すことが翌春の結実の確保に結びつくものと考えられる。

一方、結実性に関して、高温による結実不良には、内生GAの増加が関与していることが示唆され、開花前にGAの生合成阻害剤であるPBZを散布することで、胚のうの寿命が延長し、結実率が增加することが示された。また、秋季のホウ素の葉面散布により、花柱内での花粉管伸長が速まり、胚のうの寿命が延長し、結実率が增加することが認められた。これらのことから、GA生合成阻害剤の利用やホウ素の散布は、暖地における

結実確保のための補助的な手段となり得るものと期待された。

総 摘 要

本研究では、暖地での甘果オウトウ栽培における主要な問題である二雌ずい形成および結実不良の発生要因を形態学および生理学的観点から明らかにし、その知見をもとにこれらの課題についての改善の可能性を検討した。

1. 暖地における花芽分化の時期と二雌ずい花の発生の実態を調査した。

暖地条件の香川では、花芽分化の初期兆候は6月上中旬に認められ、8月上旬から下旬にかけて雌ずいの原基が形成された。山形に比べて、香川では花芽分化の開始およびその後の進行が2週間ほど早かった。

暖地において、主要品種の‘佐藤錦’や‘ナポレオン’では二雌ずい花の発生が多かったが、‘高砂’では発生はわずかであった。樹冠外周の頂部や南側に位置する結果母枝で二雌ずい花の発生が多く、局所的には、結果母枝上の上向きや南向きに伸びた短果枝で発生が多かった。7月中旬から8月中旬の気温が高い年次に二雌ずい花の発生頻度が大きい傾向が認められた。香川では山形に比べて二雌ずい花の割合が高かった。

2. 甘果オウトウの二雌ずい花の発生に関わる環境要因および植物ホルモンの関わりを調査するとともに、二雌ずい形成の抑制法についても検討した。

花芽分化期の高温処理により、その後の分化の進行が抑制された。‘佐藤錦’や‘ナポレオン’では、30℃以上の高温処理により二雌ずい花が発生した。‘高砂’では35℃区でのみ二雌ずい花が発生した。35℃区では雄ずいの雌ずい化や花弁化もみられた。花芽分化の前期、特になが片および花弁の分化段階にある花芽への高温処理により二雌ずい花の発生が増加した。一方、雄ずい分化段階以降にある花芽では、高温処理を行っても二雌ずい花の発生率は増加しなかった。

低温条件下では、樹体に乾燥ストレスを与えても、二雌ずい花は全く発生しなかった。一方、高温条件下では、土壌湿度に関係なく二雌ずい花が多発した。圃場条件下では、樹体に強い水ストレスを与えても二雌ずい花の割合は増加しなかった。

BA処理により花芽分化が促進され、二雌ずい花の割合が著しく増加したが、雄ずいの雌ずい化はみられなかった。エスレル処理も二雌ずい花をやや増加させたが、雄ずいの異常はみられなかった。

夏季の遮光栽培により、同等に発達した2本の雌ずいを有する花原基の割合が著しく低下し、その結果、開花時の二雌ずい花の割合が著しく減少した。促成栽培により、花芽分化期も促進され、気温が急上昇する7月中旬には既に花弁や雄ずいを形成していた。促成栽培では、二雌ずい花の割合が無加温栽培と比べて著しく減少した。

3. 暖地における甘果オウトウの生殖器官の発育と結実の様相を調査した。

暖地条件の香川では、発芽や開花の時期は山形と比べて10日ほど早く、発芽は3月

下旬、開花は4月中旬であった。香川では、発芽から開花にかけて雌・雄性器官の発達は急速に進み、特に胚のうの分化や発達は開花3日前から開花当日にかけて急速に進行した。香川では、山形に比べて開花時の胚のうの発育が進んでいたが、一方で開花後の退化が早く、開花4日後には約80%の胚のうが既に退化していた。いずれの地域においても受粉72時間後までには一部の雌ずいで花粉管の珠孔への到達が観察された。香川では、山形に比べて開花時の雌ずいや胚珠がやや小さく、花器の糖濃度が低かった。初期結実率は、香川で山形よりも著しく低かった。

香川における結実率の年次変動に関して、発芽から開花終了時にかけて気温と結実率間に明確な負の相関が認められた。さらに、この時期の気温が高い年次には、珠心や胚のうの退化が早まる傾向がみられた。

4. 甘果オウトウの花器の発育や結実に関わる温度環境、ジベレリンおよび樹体栄養の影響を調査した。

開花1カ月前から開花終了時にかけての高温処理により、開花時期が早まり、花器が小さくなる傾向が認められた。20℃を超える高温処理により結実率は著しく低下した。花柱内における花粉管の伸長速度には温度の影響は認められなかった。高温処理により、珠心および胚のうの急速な退化が生じた。

25℃の高温条件下で栽培した樹の花器の内生GAレベルは、15℃の低温下のものに比べて著しく高かった。開花前のGA₃処理により、胚珠の退化はかなり早まり、その結果、結実率は著しく低下した。一方、開花前のPBZ処理により、胚珠の寿命が延長され、結実率が著しく増加した。

同化産物の蓄積を阻害する秋季の摘葉処理により、翌春に不発芽や花柱のない異常花の割合が増加した。さらに、処理樹では、胚珠の寿命が短縮し、結実率が著しく低下した。夏季の高温処理や土壌乾燥処理はいずれも葉の光合成速度の低下を招き、落葉を助長した。その結果、休眠時の樹体の乾物重は、高温や土壌乾燥により著しく減少した。デンプン濃度は、高温・土壌乾燥区に比べて低温区と高温・土壌湿潤区で比較的高い値を示した。暖地条件下における夏季の遮光（遮光率53%）により、日中の葉のみかけの光合成速度は対照区よりもやや高く推移した。遮光により葉焼けの発生が抑制され、落葉が遅延した。遮光により樹体の貯蔵炭水化物濃度はやや増加した。

秋季のホウ素葉面散布により、翌春の胚珠の寿命が延長され、花柱内の花粉管伸長がやや早まり、結実率もやや増加した。

引用文献

- Abdul, K. S. and G. P. Harris 1977. An agar-diffusion technique applied to the study of gibberellins in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants. *Ann. Bot.* 41: 369-374.
- Abdul, K. S. and G. P. Harris 1978. Control of flower number in the first inflorescence of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.): The role of gibberellins. *Ann. Bot.* 42: 1361-1367.
- 天野勝司・日野昭・大東宏・倉岡唯行. 1972. 果樹の光合成作用に関する研究(第1報) 環境条件が光合成速度に及ぼす影響. *園学雑.* 41: 144-150.
- Bargioni, G. 1996. Sweet cherry scions: Characteristics of the principal commercial cultivars, breeding objectives and methods. p.73-112. In: A. D. Webster and N. E. Looney (Eds.). *Cherries: Crop physiology, production and uses.* CAB International, Wallingford, UK.
- 別府賢治・片岡郁雄. 1999. 甘果オウトウ (*Prunus avium* L.) 花粉の発芽特性. *香川大学農学部学術報告* 51: 5-14.
- 別府賢治・片岡郁雄. 1998. 甘果オウトウの裂果発生と果実形質の関係. *香川大学農学部学術報告* 50: 41-48.
- Burgos, L., J. Egea and F. Dicenta. 1991. Effective pollination period in apricot (*Prunus armeniaca* L.) varieties. *Ann. Appl. Biol.* 119: 533-539.
- Burgos, L. and J. Egea. 1993. Apricot embryo-sac development in relation to fruit set. *J. Hort. Sci.* 68: 203-208.
- Callan, N. W., M. M. Thompson, M. H. Chaplin, R. L. Stebbins and M. N. Westwood. 1978. Fruit set of 'Italian' prune following fall foliar and spring boron sprays. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 103: 253-257.
- Chailakhyan, M. K. and V. N. Khrianin. 1987. Sexuality in plants and its hormonal regulation (V. Loroche, Trans.). p.33-58. Springer-Verlag, New York (original work published 1982).
- Chaplin, M. H., R. L. Stebbins and M. N. Westwood. 1977. Effect of fall-applied boron sprays on fruit set and yield of 'Italian' prune. *HortScience* 12: 500-501.
- Cuevas, J., L. Rallo and H. F. Rapoport. 1994. Initial fruit set at high temperature in olive, *Olea europaea* L. *J. Hort. Sci.* 69: 665-672.
- DeJong, T. M. 1983. CO₂ assimilation characteristics of five *Prunus* tree fruit species. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108: 303-307.
- Diaz, D. H., H. P. Rasmussen and F. G. Dennis, Jr. 1981. Scanning electron microscope examination of flower bud differentiation in sour cherry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 106: 513-515.
- Eaton, G. W. 1959. A study of the megagametophyte in *Prunus avium* and its relation to fruit setting. *Can. J. Plant Sci.* 39: 466-476.
- Eckstein, K., J. C. Robinson and C. Fraser. 1997. Physiological responses of banana (*Musa* AAA; Cavendish sub-group) in the subtropics. VII. Effects of windbreak shading on phenology, physiology and yield. *J. Hort. Sci.* 72: 389-396.
- Egea, J. and L. Burgos. 1994. Year-to-year variation in the developmental stage of the embryo sac at anthesis in flowers of apricot (*Prunus armeniaca* L.). *J. Hort. Sci.* 69: 315-318.
- 遠藤久. 1993. オウトウ基本技術編. ハウス栽培. p.81-84. 農業技術体系 果樹編 4 カキ ビワ オウトウ. 農山漁村文化協会. 東京.
- Flore, J. A. 1994. Stone fruit. p.234-270. In: B. Schaffer and P. C. Andersen (eds.). *Handbook of environmental physiology of fruit crops. Volume I. Temperate crops.* CRC Press, USA.
- 深井尚也. 1995. オウトウ. 品種. p.12-29, 結実・適正着果. p.63-87, 生理障害. p.115-117. 深井尚也編著. オウトウ・西洋ナシの栽培技術. 養賢堂. 東京.
- Furukawa, Y. and M. J. Bukovac. 1989. Embryo sac development in sour cherry during the pollination period as related to fruit set. *HortScience* 24: 1005-1008.
- George, A. P., R. J. Nissen and R. J. Collins. 1994. Effects of temperature and pollination on growth, flowering and fruit set of the non-astringent persimmon cultivar 'Fuyu' under controlled temperatures. *J. Hort. Sci.* 69: 225-230.
- Guimond, C. M., P. K. Andrews and G. A. Lang. 1998. Scanning electron microscopy of floral initiation in sweet cherry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 123: 509-512.
- Hanson, E. J. and P. J. Breen. 1985. Effects of fall boron sprays and environmental factors on fruit set and boron accumulation in 'Italian' prune flowers. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110: 389-392.
- Hanson, E. J. 1991. Sour cherry trees respond to foliar boron applications. *HortScience* 26: 1142-1145.
- Hanson, E. J. and E. L. Proebsting. 1996. Cherry nutrient requirements and water relations. p. 243-257. In: Webster, A. D. and Looney, N. E. (eds.). *Cherries: Crop physiology, production and uses.* CAB International, Wallingford, UK.
- Harrison, R. D., J. W. Daniell and J. M. Cheshire, Jr. 1989. Net photosynthesis and stomatal conductance of peach seedlings and cuttings in response to changes in soil water

- potential. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114: 986-990.
- Hirai, J., S. Nakagawa, Y. Nanjo and N. Hirata. 1961. Effects of the environmental factors upon the differentiation and development of fruit buds of the peach trees. Bull. Univ. Osaka Pref., Ser. B. 11: 85-98.
- 平田尚美・黒岡浩. 1974. カキ果実の発育ならびに成熟に関する生理学的研究 (第2報) 翌年の果肉細胞の分裂と肥大および成熟果実の大きさと品質におよぼす秋季摘葉の影響. 鳥取大農研報. 26: 15-27.
- Hobbs, J. A. and B. R. Bertramson. 1949. Boron uptake by plants as influenced by soil moisture. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 14: 257-261.
- Howell, G. S. and S. S. Stackhouse. 1973. The effect of defoliation time on acclimation and dehardening in tart cherry (*Prunus cerasus* L.). J. Amer. Soc. Hort. Sci. 98: 132-136.
- 石田雅士・工藤正義・稲葉昭次・傍島善次. 1979. モモの受精に関する基礎的研究. 園芸学研究集録 9: 19-27.
- 石原邦. 1981. 各種要因による光合成の制御・土壌水分ならびに葉内水分. p88-101. 宮地重遠編. 植物生理学 2 光合成 II. 朝倉書店. 東京.
- Jackson, D. I. and G. B. Sweet. 1972. Flower initiation in temperate woody plants (A review largely on the literature of conifers and deciduous fruit trees). Hortic. Abstr. 42: 9-24.
- Johnson, R. S., D. F. Handley and T. M. DeJong. 1992. Long-term response of early maturing peach trees to postharvest water deficits. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 117: 881-886.
- Johnson, R. S., D. F. Handley and K. R. Day. 1994. Postharvest water stress of an early maturing plum. J. Hort. Sci. 69: 1035-1041.
- Kappel, F. and J. A. Flore. 1983. Effect of shade on photosynthesis, specific leaf weight, leaf chlorophyll content, and morphology of young peach trees. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 108: 541-544.
- Kataoka, I., K. Beppu, A. Sugiyama and S. Taira. 1996. Enhancement of coloration of "Satohnishiki" sweet cherry fruit by postharvest irradiation with ultraviolet rays. Environ. Control in Biol. 34: 313-319.
- Kennard, W. C. 1949. Defoliation of Montmorency sour cherry trees in relation to winter hardiness. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 53: 129-133.
- Klenert, M. 1974. Künstliche Veränderung der meteorologischen Verhältnisse im Rebestand und ihre Auswirkungen auf das Grössenwachstum der Traubenbeeren. Vitis. 13: 8-22.
- Kliewer, W. M. 1977. Effect of high temperatures during the bloom-set period on fruit-set, ovule fertility, and berry growth of several grape cultivars. Amer. J. Enol. Vitic. 28: 215-222.
- 小松春喜. 1987. ブドウ '巨峰' の花振いに関する研究. 大阪府立大学学位論文.
- 久保田尚浩・新田尚美・江川俊之・島村和夫. 1986. 加温時期の異なるブドウ 'マスカット・オブ・アレキサンドリア' の生育と内生長調節物質に及ぼす地温の影響. 岡山大農学報 67: 1-9.
- Lakso, A. N. 1994. Apple. p.3-42. In: B. Schaffer and P. C. Andersen (eds.). Handbook of environmental physiology of fruit crops. Volume I. Temperate crops. CRC Press, USA.
- Looney, N. E. and J. E. McKellar. 1987. Effect of foliar- and soil surface-applied paclobutrazol on vegetative growth and fruit quality of sweet cherries. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112: 71-76.
- Micke, W. C., J. F. Doyle and J. T. Yeager. 1983. Doubling potential of sweet cherry cultivars. California Agriculture. 37: 24-25.
- Moss, G. L. 1969. Influence of temperature and photoperiod on flower induction and inflorescence development in sweet orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck). J. Hort. Sci. 44: 311-320.
- 中川昌一. 1978. 果樹園芸原論. p.24-49, 76-79. 養賢堂. 東京.
- Nishijima, T. and N. Katsura. 1989. A modified micro-drop bioassay using dwarf rice for detection of femtomol quantities of gibberellins. Plant and Cell Physiol. 30: 623-627.
- 野口協一・村松祐司・富田晃・奥山仁六. 1999. オウトウ '佐藤錦' の花芽形成に及ぼす諸要因. 園学雑. 68 (別2) : 241.
- Nyomora, A. M. S. and P. H. Brown. 1997. Fall foliar-applied boron increases tissue boron concentration and nut set of almond. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 122: 405-410.
- Nyomora, A. M. S., P. H. Brown and B. Krueger. 1999. Rate and time of boron application increase almond productivity and tissue boron concentration. HortScience 34: 242-245.
- 尾形亮輔・小松喜代松・山田義男・上野博. 1991. オウトウ '佐藤錦' の成長及び果実品質に及ぼす paclobutrazol の影響. 園学雑. 60 (別1) : 154-155.
- 尾形凡生・蓮川博之・塩崎修志・堀内昭作・河瀬憲次・岩垣功・奥田均. 1996. ウンシュウミカンの栄養器官における内生ジベレリン含量の時期的消長とパクロブトラゾール処理がジベレリン生合成に及ぼす影響. 園学雑. 65: 245-253.
- 岡本五郎・小林章. 1971. Muscat of Alexandria における摘心およびホウ素の葉面散布が体内栄養ならびに結実に及ぼす影響 (第2報). 園学雑. 40: 12-23.
- Okamoto, G. and N. Omori. 1991. Effect of the levels of minerals, phytohormones and pistil extracts on in vitro ovule development and pollen tube growth in excised grape

- pistils. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 60: 521-529.
- 大崎満. 1990. 植物体有機成分の粗分画と定量. p.204-216. 植物栄養実験法編集委員会編. 植物栄養実験法. 博友社. 東京.
- Philp, G. L. 1933. Abnormality in sweet cherry blossoms and fruit. Bot. Gaz. 94: 815-820.
- Pimienta, E. and V. S. Polito. 1983. Embryo sac development in almond [*Prunus dulcis* (Mill.) D. A. Webb] as affected by cross-, self- and non-pollination. Ann. Bot. 51: 469-479.
- Poerwanto, R. and H. Inoue. 1990. Effects of air and soil temperatures in autumn on flower induction and some physiological responses of satsuma mandarin. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 59: 207-214.
- Postweiler, K., R. Stösser and S. F. Anvari. 1985. The effect of different temperatures on the viability of ovules in cherries. Scientia Hortic. 25: 235-239.
- Proctor, J. T., R. L. Watson and J. J. Landsberg. 1976. The carbon budget of a young apple tree. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 101: 579-582.
- Roper, T. R. and R. A. Kennedy. 1986. Photosynthetic characteristics during leaf development in 'Bing' sweet cherry. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 111: 938-941.
- Ryugo, K. 1988. Fruit culture - Its science and art. p.10-14, 27-33, 156. John Wiley & Sons, New York.
- 沢田信一. 1981. 各種要因による光合成の制御-温度. p.57-68. 宮地重遠編著. 植物生理学 2 光合成 II. 朝倉書店. 東京.
- Sedgley, M. and A. R. Griffin. 1989. Sexual reproduction of tree crops. p.22-24. Academic Press, London.
- Sembdner, G., D. Gross, H. W. Liebisch and G. Schneider. 1980. Biosynthesis and metabolism of plant hormones. p.281-444. In: J. MacMillan (ed.). Encyclopedia of plant physiology, Vol. 9, Hormonal regulation of development I. Springer-Verlag, Berlin.
- Sorrentino, G., L. Cerio and A. Alvino. 1997. Effect of shading and air temperature on leaf photosynthesis and growth in lily plant. Scientia Hortic. 69: 259-273.
- Stösser, R. and S. F. Anvari. 1982. On the senescence of ovules in cherries. Scientia Hortic. 16: 29-38.
- 菅洋. 1980. 高等植物における花の性分化のホルモン支配. 植物の化学調節 15: 79-89.
- 杉浦明. 1969. ジベレリン処理によるブドウ有核品種の無核化作用について. 植物の化学調節 4: 63-67.
- 高木敏彦. 1980. ブドウ“マスカット・ベリーA”における花型の変異と無核果形成に関する研究. 静岡大学農学部園芸研究報告 7.
- 高橋和博・佐藤隆士・堀恵美・矢野和男・高瀬紘一・奥山仁六・佐藤昌宏. 1995. パクロブトラゾール剤がオウトウの生育・収量及び果実品質に及ぼす影響. 山形園試研報 11: 17-33.
- 丹沢隆. 1991. オウトウ. 栽培管理. 施設栽培. p.512-515. 吉田義雄・長井晃四郎・田中寛康・長谷嘉臣編著. 最新果樹園芸技術ハンドブック. 朝倉書店. 東京.
- Thompson, M. 1996. Flowering, pollination and fruit set. p.223-242. In: A. D. Webster and N. E. Looney (Eds.). Cherries : Crop physiology, production and uses. CAB International, Wallingford, UK.
- Thompson, M. M. and L. J. Liu. 1973. Temperature, fruit set, and embryo sac development in 'Italian' prune. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 98: 193-197.
- 遠山正瑛・林真二. 1957. 和梨果実の発育に関する研究 (第2報) 摘葉処理と果肉細胞の分裂および肥大について. 園学雑. 25: 67-70.
- Tucker, L. R. 1934. Notes on sweet cherry doubling. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 32: 300-302.
- Tucker, L. R. 1935. Additional notes on sweet cherry doubling. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 33: 237-239.
- Tukey, L. D. 1954. Peach doubles. Amer. Fruit Gr. 74: 11.
- 渡部俊三・梅津幸士. 1980. オウトウ花芽の分化、発育について. 山形農林学会報 36: 19-24.
- 渡部俊三. 1993. オウトウ基礎編. 原産と来歴. p.3-8. 形態・生理・機能. p.11-36. 農業技術体系 果樹編 4 カキ ピワ オウトウ. 農山漁村文化協会. 東京.
- Webster, A. D., J. D. Quinlan and P. J. Richardson. 1986. The influence of paclobutrazol on the growth and cropping of sweet cherry cultivars. I. The effect of annual soil treatments on the growth and cropping of cv Early Rivers. J. Hort. Sci. 61: 471-478.
- Webster, A. D. 1990. The influence of paclobutrazol on the growth and cropping of sweet cherry cultivars. II. Rootstock effects on scion sensitivity and the longevity of residual effects. J. Hort. Sci. 65: 519-527.
- Webster, A. D. and Looney, N. E. 1996. World distribution of sweet and sour cherry production: National Statistics. p.25-69. In: A. D. Webster and N. E. Looney (Eds.). Cherries : Crop physiology, production and uses. CAB International, Wallingford, UK.
- Williams, R. R. 1965. The effect of summer nitrogen applications on the quality of apple blossom. J. Hort. Sci. 40: 31-41.

Morphological and physiological studies on reproduction of sweet cherry in warm climate

Kenji Beppu

Summary

Recently, cultivation of sweet cherries has been attempted in the warm region of Japan, while the occurrence of abnormal flowers with double pistils and poor fruit set become the serious problems preventing from stable production.

In this study, effects of environmental and nutritional conditions on pistil doubling and fruit set were investigated. And based on those results, regulations of pistil doubling and fruit set in the warm region were studied.

1. The process of flower bud formation and occurrence of double pistils in warm region were investigated in Kagawa.

Floral initiation started in early to mid-June, then sepals, petals and stamens differentiate sequentially, and pistil primordia were formed in early to late August in the warm region. The differentiation process was about two weeks slower in a cool region, Yamagata.

In Kagawa, pistil doubling occurred severely in popular cultivar, 'Satohnishiki' and 'Napoleon', whereas only slightly in 'Takasago'. The frequency of double pistils was higher in the southern and top parts of the canopy, and locally in the spurs of top and southern sides of horizontal limbs. Comparison of rates of double pistils among years showed that the higher the temperature from mid-July to mid-August, the higher the rate. The frequency of doubling in Kagawa was higher than that in Yamagata.

2. Effects of environmental conditions and plant hormones on the occurrence of double pistils were examined. Furthermore, several methods possibly preventing the occurrence of the disorder in the warm region were attempted.

High temperature treatments during flower bud formation delayed the progression of flower differentiation. The formation of double pistils occurred when the trees were exposed to high day temperatures above 30°C in 'Satohnishiki' and 'Napoleon'. In 'Takasago', doubling occurred only at 35°C. High temperatures also

caused the formation of pistil-like appendages which replaced anthers. High temperature induced the occurrence of double pistils most severely in the buds that contained sepal and petal primordia at the beginning of the treatment, and the frequency of occurrence of double pistils was slightly lower in the buds treated at the earlier stage of flower differentiation. On the other hand, high temperature had little effect on pistil doubling in buds with differentiated stamen and pistil primordia.

At lower temperatures, severe water stress did not induce the occurrence of double pistils. In contrast, doubling severely occurred regardless of the level of soil moisture at higher temperatures. Under field conditions, severe water stress by the restriction of watering hardly affected the frequency of double pistils.

The application of benzyladenine hastened the progression of flower differentiation and considerably increased the rate of double pistils. The application of 2-chloroethanephosphonic acid (ethrel) also increased the rate, while both bioregulators did not induce the occurrence of malformed anthers observed in the high temperature treatments.

Artificial shading in summer markedly reduced the percentage of flower primordia with equally developed twin pistils in the buds, and hence reduced the percentage with double pistils in the following spring.

Forcing cultures accelerated flower differentiation considerably. Therefore, in mid-July, when the maximum temperature began to rise rapidly, petal and stamen primordia had been formed in the buds under forcing conditions. Forcing cultures reduced double pistil formation remarkably.

3. The development of reproductive organs in the warm region was investigated in relation to the fruit set.

Bud burst and blooming occurred in late March and mid-April in Kagawa, respectively, which were about 10 days earlier than Yamagata. In Kagawa, reproductive organs rapidly developed from bud burst to anthesis. Especially, embryo sacs differentiated 3 days before anthesis and developed quickly by anthesis. In Kagawa, the embryo sac had developed better at anthesis than in Yamagata, while it degenerated more rapidly after anthesis. The percentage of degenerated embryo sacs reached about 80% 4 days after anthesis in Kagawa. Pollen tubes reached the micropyle by 72 hours after pollination in both regions. In Kagawa, the sizes of pistil and ovule were smaller and sugar concentration of flowers was lower than in Yamagata. Initial fruit set was considerably lower in Kagawa.

In comparison of fruit sets among years in the warm region, the higher the temperature from bud burst to petal fall, the lower the fruit set. Furthermore, embryo sacs or nucellus tended to degenerate faster when the temperature in the duration was higher.

4. Effects of temperature, gibberellin and nutrition on flower development and fruit set were examined.

High temperature treatment from one month before anthesis to petal fall hastened blooming but markedly reduced flower size. The fruit set rate decreased remarkably when the trees were exposed to high temperatures above 20°C. Temperatures hardly affected the elongation of pollen tubes in pistils. At high temperatures, the rate of ovules with a degenerated embryo sac or nucellus increased considerably after anthesis. The flowers developed at high temperatures showed a higher endogenous gibberellin level than those at low temperatures.

The application of GA₃ to bursting buds considerably increased the percentage of ovules with degenerated embryo sac or nucellus by 2 days after anthesis. On the other hand, the application of paclobutrazol, inhibitor of GA biosynthesis, to bursting buds prolonged the embryo sac longevity and resulted in increased fruit set in the following spring.

The defoliation in early autumn, which reduced the reserve carbohydrate of the tree, increased the percentage of flower buds failing to burst and abnormal flowers without style. Furthermore, the defoliation shortened the ovule longevity and resulted in decreased fruit set.

Both high temperatures and dry soil conditions reduced leaf photosynthetic rate and accelerated leaf abscission, and hence reduced the dry weight of the tree. Starch concentration of the trees grown under low temperature conditions and high temperature/wet soil condition was higher than that under high temperature/dry soil condition.

Artificial shading (53% level) in summer slightly increased the daily leaf photosynthetic rate compared to control. Shadings reduced the occurrence of leaf burn, and delayed leaf abscission. Reserve carbohydrate concentration of the trees under shaded conditions was slightly higher than that under unshaded condition.

The foliar spray of boron in autumn prolonged the ovule longevity and accelerated the elongation of pollen tubes in pistils, resulting in improved fruit set.