

日本の温暖地域におけるイチゴ促成栽培の安定化と 適性品種育成に関する基礎的研究[†]

野 口 裕 司*

(平成 13 年 12 月 13 日受理)

Studies on the Stabilization of Strawberry Forcing Culture and Breeding of Adaptable Cultivars in the Warmer Region of Japan

Yuji NOGUCHI

Synopsis

On the fruit quality of strawberry which cultured under forcing culture in areas of low latitudes and warmer temperatures of Japan, the acidity was high and the color of the skin was dark. In addition, there was a remarkable decrease in the fruit firmness. It was assumed that cultivars with good fruit quality, especially fruit firmness would display a high adaptability to forcing culture under high temperature conditions. A convenient screening method for resistance to Anthracnose by petiole dip inoculation was developed. Using this method, the parental lines which exhibited a very strong resistance to Anthracnose could be bred. These lines were resistant not only to anthracnose but also to Fusarium wilt and powdery mildew. In a new aromatic line obtained by interspecific hybridization of *F. x ananassa* (8X) cv. Toyonoka × *F. nilgerrensis* (2X) var. Yunnan, the yield and fruit quality were close to those of the cultivar. When the interspecific hybrid line was backcrossed to the cultivar, fruit characters such as skin color and firmness improved while the aromatic character was maintained. A new storage system for strawberry genetic resources in small tests tube at a low temperature, which dose not requires subcultures, was developed. It was considered that the new storage system was highly suitable for the preservation of strawberry genetic resources in the warmer temperate region, because many germplasm accessions could be preserved safely and conveniently in a small area with minimum labor.

Key Words: Preservation of genetic resources, Disease resistance, Forcing culture, Inter - specific hybrid, Strawberry (*Fragaria x ananassa*)

	目 次	
緒 言		1 生態的特性の異なる品種の高温条件促成栽培 における生育, 収量および果実品質の差異 40
I イチゴ促成栽培の地域拡大および時期的前進化 に伴う高温条件下における植物体の生育と果実の 発育	40	2 促成栽培型品種の花芽形成早期化による高温 期での果実肥大能の差異 46
		3 考察 50
		II 促成栽培で多発するイチゴ炭そ病 (<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>) に対する抵抗性の選

〒839-8503 福岡県久留米市御井町 1823

野菜・茶業試験場 久留米支場

* 現 独立行政法人 農業技術研究機構 北海道農業研究センター 作物開発部

† 本論文は北海道大学審査学位論文を基に編集加工したものである。本報告の一部は野菜・茶業試験場報告 D, 第 1 号: 19-28 (1988), 野菜・茶業試験場研究報告 A, 第 9 号: 13-26 (1994), 園芸学会雑誌 71: 208-213 (2002) において発表した。また本報告の一部は園芸学会昭和 61 年度秋季大会 (1986. 11), 昭和 62 年度秋季大会 (1987. 10), 平成 2 年度春季大会 (1990. 4), 平成 2 年度秋季大会 (1990. 10), 平成 3 年度春季大会 (1991. 4), 平成 3 年度秋季大会 (1991. 10), 平成 4 年度秋季大会 (1992. 10), 平成 7 年度春季大会 (1995. 4), 平成 11 年度秋季大会 (1999. 10), 園芸学会九州支部 (1991. 10), 94th Annual International Conference of the American Society for Horticultural Science (1997. 7), XV EUCARPIA 1998 General Congress (1998. 9) において発表した。

抜法と抵抗性系統の育成	52	摘要	87
1 分離葉柄浸漬接種法を用いたイチゴ炭そ病抵抗性系統の簡易選抜法	53	引用文献	89
a 分離葉柄浸漬接種法における接種源孢子濃度	53	Summary	92
b 分離葉柄浸漬接種法における発病温度	54		
c 葉柄の接種位置による病斑の大きさの違い	55		
d 葉齢による病斑の大きさの違い	55		
e 分離葉柄浸漬接種法と植物体噴霧接種法との比較	57		
2 炭そ病高度抵抗性系統‘久留米素材1号’および‘久留米素材2号’の育成経過とその特性	58		
3 考察	61		
III 特異的芳香を有する促成栽培適応型イチゴ品種の作出に利用できる素材系統の育成	64		
1 特異的香气を有する二倍性野生種 <i>Fragaria nilgerrensis</i> と八倍性栽培種 <i>F. x ananassa</i> との交雑による五倍性種間雑種の作出	64		
2 不稔性種間雑種系統の染色体倍加処理による結実性種間雑種系統の作出	66		
3 二倍性野生種由来の芳香を有する種間雑種系統‘久留米 IH1 号’の収量、果実形質	68		
4 栽培品種との戻し交雑による種間雑種系統‘久留米 IH1 号’の果実品質（果皮色、果実硬度）の改良	69		
5 考察	71		
IV 温暖地域における多様なイチゴ遺伝資源の安全・簡便な保存法としての低頻度継代培養法の開発			
1 遺伝変異の発生を抑制する培養法の作出	74		
a オーキシンおよびサイトカイニン濃度による形成シュート数の変化	74		
b 置床茎頂の大きさによる形成シュート数の変化	74		
2 低温条件、生育抑制培地および小型培養容器による培養体の生育抑制	75		
a 低温条件および生育抑制培地による生育抑制効果	75		
b 培養容器の容量による生育抑制効果	77		
3 培養幼植物体の長期保存を目的とした小容器・低温遭遇型低頻度継代培養法	78		
4 小空間・低温遭遇型低頻度継代培養保存後の植物体の栽培適性とその保存法の実用性	79		
5 考察	82		
V 総合考察	84		

緒言

日本は、アメリカ合衆国、スペインに次ぐイチゴ (*Fragaria x ananassa* Duch.) の生産国である。アメリカおよび欧州では、露地栽培が主であるのに対して、日本では作型が細かく分化しているのが特徴であり、促成栽培、半促成栽培、露地栽培および抑制栽培の4つに大きく類別することができる。これらの作型を組み合わせることにより、北海道から鹿児島県までの各都道府県でイチゴ栽培が行われている。現在、日本ではイチゴ栽培の約90%が促成栽培となっており、適性品種の育成などによる促成栽培の安定化が不可欠となっている。

日本では、西南暖地において、温暖な気候を利用した促成栽培が発達し、ポット育苗や人工的な低温・短日処理（暗黒低温処理、短日夜冷処理など）などの花芽分化制御技術の開発とともに、収穫開始期の前進化が図られてきた。全国的にみると、各地それぞれに適応した作型が確立し、ほぼ周年生産が可能となっており、7月から10月までの夏秋期においても、北海道、徳島県などで、四季成り性品種を用いた栽培が行われている。しかし、現在の四季成り性品種を用いた夏秋期どり栽培では、出荷量のごくわずかであるため、業務用を中心としてアメリカなどから約4,500tものイチゴが輸入されており、夏秋期収穫に適した品種・作型の開発が望まれている。夏秋期収穫に適する作型の開発に重要な意味をもつ花芽分化の制御については、人工的に低温と短日条件を与える短日夜冷処理などにより、目的に適合するように調節することが十分に可能である。しかし、温暖地域での夏秋期収穫を目的とする作型では、開花から果実発育期までが高温となるため、果実肥大が悪く、小果となり、収量が上がらず、食味が劣るという問題が生じている。そこで、夏秋期収穫までを想定した促成栽培に適する品種では、花芽分化調節の容易さのほかに、高温下での果実肥大能力が高いという特性が重要となる。

また、イチゴが栄養繁殖性作物であることから、西南暖地における促成栽培では、ウイルス病をはじめとする栄養体伝染性病害の蔓延、施設の大型化・固定化による土壌病害の増加、抵抗性の劣る品種の普及による、炭そ病、うどんこ病などの被害の増加などが顕著で、大きな問題となっている。日本では、イチゴを侵す病気が多数あるが、

そのうちイチゴうどんこ病、イチゴ萎黄病およびイチゴ炭そ病の3種が主要病害となっており(YAMAKAWA, 1990)、これらの病害は、主として育苗期に多発している。イチゴうどんこ病は、本圃においても、葉や花のみならず果実にも発生し、収量を著しく減少させるが、株を枯死させることはない。イチゴ萎黄病は、感染株を枯死させるが、育苗床における感染速度は遅く、また、近年主流となっているポット育苗では、さらに萎黄病の伝染を抑えることができるため、蔓延することはまれである。しかし、イチゴ炭そ病の伝染速度は非常に速く、しばしば育苗期に壊滅的打撃を与える。さらに、本圃に定植後も、保温、加温によってイチゴ炭そ病菌の発育可能な温度の継続により、保菌株の病徴が進行し、結実による負担により枯死する。本圃での発病は、たとえ罹病株を健全な苗に植え替えても、生育遅延による収量低下や、土壌中の罹病株残渣からの再感染など、その被害は甚大なものとなる。イチゴ炭そ病は、温暖湿潤な環境を好み、九州、四国などの西南暖地で大発生するため、これらの地域での促成栽培においては、イチゴ炭そ病に対する対応が必要不可欠となる。しかし、薬剤散布は、温度が高く病原菌の発育適温となる育苗期には、イチゴ炭そ病をはじめとする主要病害の防除には効果が少なく、また、開花期には受粉のために蜜蜂を利用すること、および、剥皮せずに生食する果実であることなどから、薬剤散布は極力避ける必要がある。このため複数の病害に抵抗性を示す、複合病害抵抗性品種の開発が強く望まれている。

日本で現在促成栽培されているイチゴは、ほとんどが生食用であり、海外でみられるように、冷凍された果実を、一般家庭の料理に大量に利用するというような用途はほとんどないことから、その消費量には限界がある。一方、イチゴでは、品種による果実品質の差は小さく、柑橘類、リンゴ、ブドウなどに比べると、多様性に欠けるところがあり、イチゴの新しい需要を開発し消費を拡大するために、新たな品質特性を有するイチゴ品種を育成することが望まれている。

イチゴ促成栽培の生産安定化を妨げる、このような問題を解決するためには、高温肥大性の優れた新品種、イチゴ炭そ病などの病害抵抗性に優れた新品種、および豊かな芳香を有する新品種など、促成栽培に適した品種を、新たに育成する必要がある。この場合、その素材となる遺伝資源の収集・保存が不可欠となるが、日本の既存品種の保存のみならず、国内外での栽培品種および近縁野生種を対象として、遺伝資源収集を行うことが重要である。一方、多くの栄養繁殖性作物と同様に、イチゴでは

遺伝的に固定された品種がなく、種子繁殖によって品種・系統の特性を維持することが困難であることから、種子のような小さく保存性に優れる形態での保存が不可能である。また、いわゆる球根のような貯蔵性の優れた栄養繁殖器官を作らない。そのため、イチゴ遺伝資源の保存には、一年を通じて圃場で栽培維持する必要があり、多大な面積と労力を必要とするとともに、各種の病虫害や自然災害などにより消失する危険にさらされている。将来の多様な目的に対応した品種改良を効率的に進めるに当たり、数多くの特性をもった品種または野生種を、簡便かつ安全に保存する方法の開発が重要であり、急務となっている。

以上のような状況から、本研究では、日本の温暖地域における促成栽培を安定化する観点から、①高温期における果実の肥大・成熟特性などの品種間差の把握と適性品種育成の可能性、②温暖地域で問題となっているイチゴ炭そ病に対する抵抗性の簡易選抜法の開発と高度抵抗性母本の育成、③促成栽培イチゴの需要を拡大するため、二倍性野生種の香気を栽培種へ導入すること、④多様な育種目標に対応できる遺伝資源の簡便かつ安全な長期保存法の開発、などについて検討し、促成栽培適性品種の育成を効率化し、温暖な西南暖地におけるイチゴ栽培の発展に貢献することを目的としている。

本論文の作成にあたり、懇切なる御指導と御校閲の労を賜った北海道大学大学院農学研究科原田 隆教授、同小林喜六教授、同佐野芳雄教授、同増田 清助教授に深謝なる感謝の意を表します。

本研究の端緒を与えられ、終始懇切なるご指導を賜った独立行政法人農業技術研究機構九州沖縄農業研究センター野菜花き研究部岩永喜裕部長、研究の遂行に常に懇切なご指導とご鞭撻をいただいた同九州沖縄農業研究センター企画調整部研究企画科長望月龍也博士、同九州沖縄農業研究センター畑作研究部長山川 理博士に心から感謝申し上げます。

本研究を遂行する上で御助言と御協力を頂いた独立行政法人農業技術研究機構野菜茶業研究所葉根菜研究部生産システム研究チーム森下昌三博士、同九州沖縄農業研究センター野菜花き研究部野菜育種研究室曾根一純氏ならびに佐久間かずえ氏をはじめとする臨時職員の方々に、深くお礼申し上げます。また、本研究を遂行する上で、実験材料の植物の栽培・管理等を直接担当し、ご協力いただいた業務科職員ならびに同研修生諸氏に、心から感謝申し上げます。

I イチゴ促成栽培の地域拡大および時期的前進化に伴う高温条件下における植物体の生育と果実の発育

日本におけるイチゴ (*Fragaria x ananassa* Duch.) の栽培は、多様な作型の開発により、北海道から鹿児島県まで全国的に普及しており、気候条件、作型および品種の違いにより、ほぼ周年出荷が可能となっている。しかし、高品質のイチゴを求める市場の要求から、現在では北海道においてまで、促成栽培用品種を用いた促成栽培が行われるようになってきている。日射量、設備資材、運転経費など、改善すべき問題は多いが、本来、冷涼な気候を好むイチゴであるため、加温による生育適温の確保と収益面との折り合いが可能であれば、高緯度地域での促成栽培は今後も伸びてゆくものと考えられる。一方、西南暖地における促成栽培では、ポット育苗、暗黒低温処理、短日夜冷処理などの花芽分化制御技術が発達したことにより、作期が大幅に前進化し、10月から翌年の5月上旬までの収穫が可能となるとともに、露地栽培の減少による5~6月の品薄状態に伴い、作期の延長も望まれている。しかし、作期の前進化および延長により、果実成熟が高温期に行われることになり、果実品質の低下が問題となっている。

また、今までイチゴ栽培の行われていなかった沖縄県においては、九州、本州などのイチゴ産地から毎年450tものイチゴが移入されており、年々増加傾向にある。イチゴ需要の増大と、収益性の高い作物であることなどから、県内でのイチゴ栽培技術の確立が急がれている。このような状況から、これまで沖縄県でイチゴ栽培試験が行われたことがあるが、高温条件下であるため、果実品質の低下、低収量、病害虫の多発、休眠不足による苗の増殖率の低下などの問題により、営利栽培は行われていない。

本章では促成栽培の地域拡大および時期的前進化を促進するために、各種イチゴ品種の高温条件下における生育特性、高温条件下での栽培に適応できる高品質品種育成の可能性について検討した。

1 生態的特性の異なる品種の高温条件促成栽培における生育、収量および果実品質の差異

沖縄県の農業はサトウキビへの依存度が高いことから、高収益が期待される園芸作物などの導入が進められているが、比較的低温を好む作物が多いため、新しい高収益

な作物の実用栽培は、ほとんど進展していない。特に、沖縄では高収益性のイチゴ (*Fragaria x ananassa* Duch.) の導入・栽培が期待されているが、高温条件下であり、現在のところその栽培技術は確立されていない。

本節では、高温条件下での栽培に適する品種の選定と栽培技術確立のため、多様な生態特性を有する品種の1~3月どり短期作型における生育、収量および果実品質について検討した。

1) 材料および方法

(1) 供試品種

花芽分化が早く、休眠の浅い促成栽培用品種として‘とよのか’、‘さちのか’、‘女峰’、‘とちおとめ’、‘章姫’、花芽分化はやや遅く、休眠もやや深い半促成栽培用品種として‘越後姫’、‘きたえくぼ’、休眠が非常に深く、休眠打破後に栄養生長から生殖生長への転換が容易な中間型品種として‘Pajaro’、‘北の輝’、長日条件下でも花芽分化の可能な四季成り性品種として‘サマーベリー’および休眠が比較的浅く、草勢の強い外国品種として‘Florida Belle’の11品種を試験に供した。

(2) 栽培の概要

試験に用いる苗の増殖および育苗は農林水産省野菜・茶業試験場久留米支場（現独立行政法人農業技術研究機構九州沖縄農業研究センター野菜花き研究部、福岡県久留米市）の圃場で行った。寒紗紗被覆（ミカンキイロアザミウマ防除のため）したトンネル中で発生したランナーの頂芽が発育した苗（1次苗）を、展開葉が4~5枚の時に、直径12cmの黒色ポリポットの培養土に固定した。十分に発根した後に、ランナーを切り離し、隔離網室内で生育させ、この苗を親株とした。親株から発生したランナーの頂芽が発育した幼植物体を、1998年8月上~中旬に小型育苗容器（アイポット）内の培養土に固定し、約2週間後に十分に発根した株を、親株から切り離し、育苗した。各ポットに固形化成肥料（エーザイ生化学製、ポット錠ジャンプ）を一錠〔1g、N:P₂O₅:K₂O=100:100:100 (mg/g)〕施した。ミカンキイロアザミウマ防除のため定期的に薬剤散布を行った。

1998年11月10日に、各品種の苗を小型育苗容器のまま、冷蔵宅配便を用いて送付し、11月12日に、目視によりミカンキイロアザミウマの寄生がないことを確認後、沖縄県農業試験場園芸支場（沖縄県具志川市）内の雨よけハウスに、シルバーマルチフィルムにより土壌表面を被覆した後に定植（畦幅120cm、株間25cmの千鳥植え）した。施肥は、N:P₂O₅:K₂O=1.0:1.0:1.0

(kg/a)とし、電照、加温は行わなかった。なお、同様に育苗した苗を野菜・茶業試験場久留米支場内の加温ビニルハウスにも定植（畦幅110cm、株間25cmの千鳥植え）した。施肥はN:P₂O₅:K₂O=1.5:1.8:1.5(kg/a)とし、11月28日より加温（最低7℃）および電照（毎時15分間の間欠方式）を行った。

(3) 試験区

異なる気象条件下での反応の差を比較検討するために、沖縄県農業試験場園芸支場定植区（沖縄）と野菜・茶業試験場久留米支場定植区（久留米）を設けた。

さらに、自然条件下で全品種がほぼ第1腋花房を分化したと思われる1998年10月16日から、25日間の冷蔵処理（2℃・暗黒条件）により休眠打破を行った冷蔵処理区と無処理区を設けた。

沖縄定植区では、各品種の各処理区10株の2反復とした。久留米定植区では、各品種の各処理区5株の反復なしとした。

(4) 調査事項

生育特性については、葉数、上位第3葉（最新展開葉から数えて3枚目の完全展開葉）の3小葉のうちの中心小葉の大きさ、芽数を、定植直後の1998年11月16日および12月25日、1999年1月27日に調査した。また、頂花房および腋花房を対象として、出蕾、開花日および花数について調査した。さらに、収穫開始日より、毎週3回（月、水、金）、成熟した果実を収穫し、規格別に果数、果重を調査した。収穫した果実の品質調査として、

硬度（直径3mmの円盤状の感圧棒を装着したアイコー製プッシュプルゲージタイプ1にて果実の赤道面の硬さを測定）、糖度〔果実の赤道面を指で圧搾し、得られた果汁の糖度（Brix）を、アタゴ製糖度計DBX55を用いて測定〕、果皮色（ミノルタ製色測色差計CR200を用いて、果実の最も着色の良い面のL*値、a*値、b*値を測定）および酸度（果実赤道面を指で圧搾して得られた果汁の酸度を、富士平工業製酸度計アシライザー6を用いて測定）を測定した。調査は1998年3月末で打ち切った。

2) 結果および考察

沖縄と久留米のハウス内の日最高気温、日最低気温および日平均気温を図-1に示した。大型（間口8m、全長27m、高さ4m）で天窓および側面が完全に開放された沖縄のハウスに対し、久留米のハウスは小型（間口6.0m、全長20m、高さ3.5m）で側面の開口部が小さく、昼間の温度上昇が激しかったため、久留米の日最高気温の方が高い日が多かった。一方、日最低気温は沖縄では常に久留米よりも高く、2月以降の温度の上昇は、沖縄において激しかった。そのため、2月までの両試験地における日平均気温の差は小さかった。

葉幅、葉身長及び葉柄長は久留米よりも沖縄で旺盛な生育を示し、ほとんどの促成栽培用品種において、冷蔵処理区の葉面積が大きくなったが、促成栽培用以外の品種では冷蔵処理による草勢強化効果は低かった。促成栽培用品種の定植後の展開葉数の推移についてみると、沖

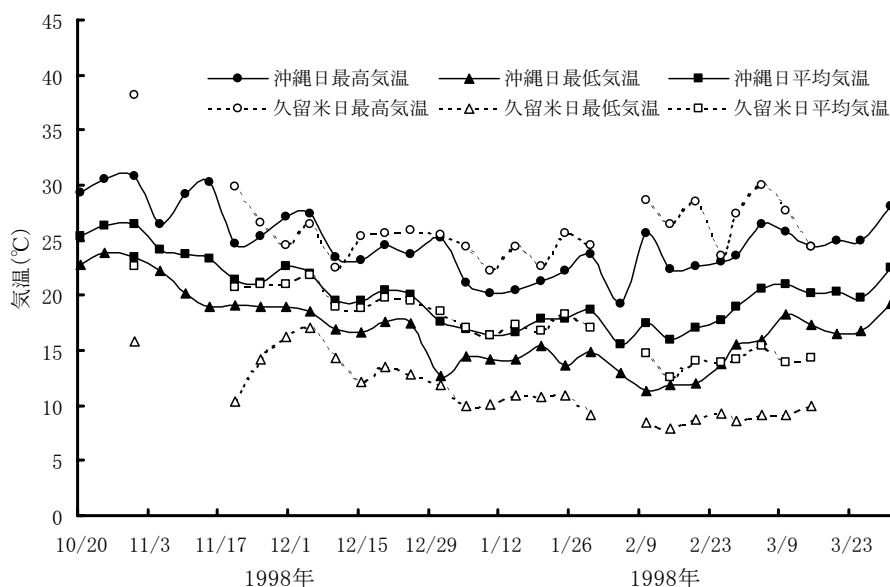


図-1 沖縄県農業試験場園芸支場と野菜・茶業試験場久留米支場の栽培試験に用いたハウス内の日最高気温、日最低気温および日平均気温

繩においては冷蔵処理株の展葉速度が高くなる傾向が認められたが、久留米では冷蔵処理効果は明らかでなかった。また、促成栽培用以外の品種の定植後の展開葉数の推移は、久留米では冷蔵処理による効果は明らかではなく、沖縄においても‘Pajaro’、‘サマーベリー’以外の品種ではその効果は低かった。葉面積と展葉速度の変化から、冷蔵処理による休眠打破（草勢強化）の効果は、高温である沖縄において顕著に現れ、また、品種によっても差があることが明らかとなった。

沖縄ならびに久留米における花房別出蕾率、収穫日および花房間葉数を表-1および表-2に示した。頂花房は、沖縄において久留米より約1週間早く開花し、成熟期間も短いため、収穫は3週間から1か月程度早くなった。第1腋花房の出蕾も沖縄で早く、‘きたえくぼ’以外の全品種において出蕾が認められた。冷蔵処理により、‘章姫’、‘サマーベリー’以外の品種では第1腋花房の出蕾が遅れたが、定植後の高温のために分化が抑制されたものと思われる。沖縄の冷蔵処理区では、久留米のそれと比較して、頂花房と第1腋花房との間の花房間葉数が非常に多くなっていた。これは、冷蔵処理開始時の10月16日には、いずれの品種でも、第1腋花房は分化しておらず、無処理区はその後の自然条件の低温・短日条件により分化したのに対し、冷蔵処理区は低温により生育が停止し、定植後は高温により花芽分化できなかったものと考えられる。出蕾時期のばらつきや出蕾株率からみて、促成栽培用品種および四季成り性品種における花芽分化の安定性が高かったが、中でも‘女峰’、‘章姫’、‘サマーベリー’は第2腋花房以降の連続出蕾性に優れており、3月までの全収量も高かった。沖縄の‘章姫’および‘サマーベリー’の冷蔵処理区において、花房間葉数が多いにもかかわらず、第1腋花房の開花時期が早いのは、高温条件により生育が促進され、展葉速度が増したためと考えられる。

表-3および表-4に、沖縄ならびに久留米で栽培した場合のイチゴ各品種における果実の収量および果実品質を示した。久留米よりも沖縄で病果の発生が少なく、果重および果実数による商品果率はともに高かった。久留米で発生した病果は、ほとんどがうどんこ病によるものであり、沖縄では、収穫期間中のうどんこ病の激発による商品果収量の低下が懸念されたが、定期的な老化葉の除去や薬散など、適切な管理により回避できるものと考えられた。気温の高い沖縄では、久留米で収穫された果実と比較し、平均果重が小さく、果実硬度が低く、果皮色が濃く（L*値が低く）、酸度が高くなる傾向が認め

られたが、糖度はほぼ同程度であった。

図-2に、沖縄と久留米でのイチゴ各品種における株当り月別収量の推移を示した。全ての品種において、久留米よりも沖縄で1月および2月の収量が高くなった。冷蔵処理区では、冷蔵処理による生育の遅れのため、早期収量が低下したが、‘Pajaro’、‘北の輝’、‘Florida Belle’では果実肥大が促進され、2月までの収量が無処理区よりも高くなった。

以下に、沖縄県農業試験場園芸支場で栽培した場合の、各品種の特性について述べる。

‘とよのか’無処理区では、第1腋花房の出蕾にばらつきがあり、花房間葉数2枚以下で第1腋花房が出蕾した株は65%であったが、その他の株では花房間葉数5枚以上で出蕾した。果実糖度は充分であったが、酸度が高く、特に年内の食味は、酸味が強く感じられるために著しく劣った。冷蔵処理区では、葉柄が長く、葉面積も過大気味で、過繁茂であった。高温条件下で栽培した場合の、腋花房の形成不良と強酸味が問題であった。

‘さちのか’無処理区では、収穫開始日がやや遅いが、第1腋花房の連続出蕾性に優れ、全ての株において、花房間葉数2枚以下で第1腋花房を形成した。果皮色がやや濃い、果実硬度は高く、糖度が高いため、酸度とのバランスがよく、食味は非常に優れていた。また、果実硬度が高いため、高温下での収穫においても果実の損傷は軽微であった。収穫開始日を前進化し、早期収量を増加することが可能であれば、沖縄での短期栽培に有望であると思われる。

‘女峰’無処理区では、収穫開始日が早く、第1腋花房まで順調に出蕾し、1999年1月31日には50%の株において、第2腋花房の頂花が出蕾した。果皮色はやや濃く、酸度が高く、また、小果であることが特に問題であった。

‘とちおとめ’無処理区では、頂花房形成後に腋芽が発育しない、いわゆる“芯止まり現象”を示す株が55%もあった。果実は大きく、糖度は高かったが、酸度も高かった。*Colletotrichum acutatum*による炭そ病が果実および萼に発生し、また、不受精による奇形果の発生も多かった。食味は優れていたが、芯止まり現象と奇形果の発生が問題であった。

‘章姫’無処理区では、第3腋花房まで順調に出蕾、開花、受精、果実発育および収穫が続き、最も多収であった。大果であり、酸度が低いため、食味はよいが、果実硬度が低いため、高温下での収穫では非常に傷つきやすかった。

表-1 沖縄（沖縄県農業試験場園芸支場）で栽培した場合のイチゴ各品種における花（果）房別に見た花房間葉数，開花・収穫日および果実の成熟日数^a

品 種	適作型	定 植 前処理	花房間葉数			開 花 日 (月/日)				収 穫 日 (月/日)				成 熟 日 数			
			頂花房～ 第1 腋花房	第1～2 腋花房	第2～3 腋花房	頂花房	第1 腋花房	第2 腋花房	第3 腋花房	頂果房	第1 腋果房	第2 腋果房	第3 腋果房	頂果房	第1 腋果房	第2 腋果房	第3 腋果房
とよのか	促 成	無	4.4	6.1	-	12/6	1/10	2/22	-	1/1	2/9	3/21	-	26.0	29.3	25.7	-
		冷蔵 ^y	13.4	-	-	1/5	2/27	-	-	1/12	3/25	-	-	28.4	26.1	-	-
さちのか	促 成	無	2.0	5.8	-	12/14	1/1	3/2	-	1/17	2/3	3/28	-	33.3	33.1	27.9	-
		冷蔵 ^y	9.1	-	-	12/19	2/23	-	-	1/21	3/21	-	-	32.1	25.9	-	-
女 峰	促 成	無	2.1	4.7	2.9	12/3	12/22	2/13	2/28	12/29	1/24	3/10	3/27	26.2	33.0	25.1	27.2
		冷蔵 ^y	8.2	2.2	-	12/11	2/14	3/3	-	1/6	3/11	3/28	-	25.5	25.7	26.2	-
とちおとめ	促 成	無	3.7	4.9	6.1	12/7	1/18	2/24	2/22	1/2	2/16	3/19	3/21	26.2	32.2	26.0	25.7
		冷蔵 ^y	8.5	3.0	-	12/15	2/18	3/4	-	1/15	3/21	3/26	-	31.2	27.6	24.0	-
章 姫	促 成	無	2.5	4.5	2.3	12/6	12/30	2/14	2/28	1/3	1/30	3/11	3/22	29.6	30.7	26.2	22.3
		冷蔵 ^y	5.6	3.2	-	12/14	2/5	3/1	-	1/13	3/5	3/30	-	28.6	28.4	27.7	-
きたえくぼ	半促成	無	-	-	-	12/22	-	-	-	1/28	-	-	-	37.2	-	-	-
		冷蔵 ^y	-	-	-	12/26	-	-	-	1/27	-	-	-	32.3	-	-	-
越後姫	半促成	無	6.1	6.3	5.0	12/10	1/29	2/21	2/12	1/7	2/28	3/18	4/4	27.9	28.1	27.0	51.0
		冷蔵 ^y	11.4	-	-	12/19	3/2	-	-	1/18	3/28	-	-	30.3	25.9	-	-
北の輝	中間型	無	2.0	-	-	12/25	1/16	-	-	1/26	-	-	-	32.0	-	-	-
		冷蔵 ^y	4.0	-	-	1/2	2/14	-	-	1/29	3/11	-	-	29.0	25.0	-	-
Pajaro	中間型	無	5.2	-	-	12/20	2/9	-	-	1/19	3/7	-	-	32.8	28.4	-	-
		冷蔵 ^y	9.6	-	-	12/24	3/4	-	-	1/23	3/27	-	-	30.2	26.2	-	-
サマーベリー	四季成	無	2.2	4.7	3.1	12/4	12/23	2/3	2/26	12/29	1/22	3/2	3/25	25.5	30.5	26.6	26.2
		冷蔵 ^y	6.9	3.9	-	12/10	2/1	3/1	-	1/6	3/3	3/26	-	26.7	30.4	25.1	-
Florida Belle	その他	無	6.9	-	-	12/11	2/12	-	-	1/10	3/15	-	-	30.5	31.2	-	-
		冷蔵 ^y	10.4	-	-	12/16	2/28	-	-	1/14	3/26	-	-	29.5	25.6	-	-

z 1区10株を用い、2反復とした

y 冷蔵処理区では、1996年10月16日から25日間、2℃暗黒条件により休眠打破処理を行った

表-2 久留米（野菜・茶業試験場久留米支場）で栽培した場合のイチゴ各品種における花（果）房別に見た花房間葉数，開花・収穫日および果実の成熟日数^a

品 種	適作型	定 植 前処理	花房間葉数			開 花 日 (月/日)				収 穫 日 (月/日)				成 熟 日 数			
			頂花房～ 第1 腋花房	第1～2 腋花房	第2～3 腋花房	頂花房	第1 腋花房	第2 腋花房	第3 腋花房	頂果房	第1 腋果房	第2 腋果房	第3 腋果房	頂果房	第1 腋果房	第2 腋果房	第3 腋果房
とよのか	促 成	無	2.9	2.7	4.0	12/21	1/19	2/15	3/11	2/2	3/3	3/22	-	43.1	42.9	43.5	-
		冷蔵 ^y	4.0	-	-	1/10	2/21	-	-	3/12	-	-	-	61.0	-	-	-
さちのか	促 成	無	2.5	2.9	3.0	12/23	1/19	2/17	3/14	2/9	3/9	-	-	47.4	48.6	-	-
		冷蔵 ^y	2.0	-	-	1/12	2/19	-	-	3/7	-	-	-	53.5	-	-	-
女 峰	促 成	無	2.3	2.5	-	12/17	1/18	2/13	3/19	2/2	3/4	3/25	-	46.4	45.6	46.5	-
		冷蔵 ^y	3.0	-	-	1/4	2/26	3/24	-	2/28	-	-	-	54.9	-	-	-
とちおとめ	促 成	無	2.9	-	-	12/23	2/1	3/15	-	2/9	3/11	-	-	48.3	42.5	-	-
		冷蔵 ^y	-	-	-	1/14	-	-	-	3/1	-	-	-	50.2	-	-	-
章 姫	促 成	無	2.8	2.9	2.0	12/24	1/26	2/22	3/5	2/9	3/15	3/25	-	47.5	48.4	41.0	-
		冷蔵 ^y	3.0	-	-	1/18	2/25	-	-	3/13	-	-	-	53.9	-	-	-
きたえくぼ	半促成	無	2.8	-	-	1/6	2/10	-	-	2/19	3/18	-	-	43.5	48.5	-	-
		冷蔵 ^y	-	-	-	2/1	2/26	-	-	3/19	-	-	-	45.6	-	-	-
越後姫	半促成	無	3.0	3.2	-	12/24	1/27	2/26	3/20	2/5	3/5	3/25	-	42.4	39.6	52.0	-
		冷蔵 ^y	3.0	-	-	1/18	2/20	-	-	3/6	-	-	-	46.1	-	-	-
北の輝	中間型	無	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		冷蔵 ^y	2.0	-	-	1/20	2/24	-	-	3/10	-	-	-	49.5	-	-	-
Pajaro	中間型	無	2.9	2.3	-	1/9	2/2	3/1	3/17	2/18	3/16	-	-	39.6	41.3	-	-
		冷蔵 ^y	-	-	-	1/26	-	-	-	3/9	-	-	-	42.7	-	-	-
サマーベリー	四季成	無	3.0	2.4	2.0	12/20	1/23	2/12	3/5	2/1	3/6	3/17	-	43.1	42.5	42.5	-
		冷蔵 ^y	3.0	2.8	-	1/17	2/15	3/14	-	3/2	3/5	-	-	51.4	25.0	-	-
Florida Belle	その他	無	4.1	2.5	-	12/21	2/3	2/28	3/17	2/2	3/14	-	-	42.9	43.6	-	-
		冷蔵 ^y	-	-	-	1/23	-	-	-	3/7	-	-	-	42.7	-	-	-

z 1区5株を用いた

y 冷蔵処理区では、1996年10月16日から25日間、2℃暗黒条件により休眠打破処理を行った

表-3 沖縄（沖縄県農業試験場園芸支場）で栽培した場合のイチゴ各品種における果実の収量および品質*

品 種	適作型	定植 前処理	株当たり 平均収 量 (g)	果重による 商品果 率 (%)	果実数による果実率 (%)				商品果 平均果 重 (g)	全果平 均果重 (g)	果実品質						
					商品果	非商品果					硬度 ^v (g/3mmφ)	果皮色 ^a			糖度 ^w (Brix)	酸度 ^v (g/100gFw)	糖酸比 (糖度/酸度)
						肩果	奇形果	病果				L*	a*	b*			
とよのか	促 成	無	221.6	86.2	82.9	2.9	13.8	0.5	11.0	7.1	104.8	28.1	46.4	20.9	9.4	0.817	11.5
		冷蔵 ^u	110.3	88.7	86.1	3.3	10.0	0.5	10.9	7.0	109.7	29.5	45.1	18.5	9.4	0.880	10.7
さちのか	促 成	無	240.1	87.1	77.1	4.3	16.7	1.9	10.1	6.0	146.5	27.0	42.7	15.1	10.1	0.721	14.0
		冷蔵 ^u	208.7	93.3	89.4	2.8	7.3	0.4	13.3	8.5	138.6	28.5	41.0	16.4	10.4	0.764	13.7
女 峰	促 成	無	344.3	87.8	76.5	14.1	9.0	0.4	10.0	5.8	107.1	26.7	44.0	15.3	9.1	0.852	10.6
		冷蔵 ^u	295.4	85.3	79.9	6.5	13.4	0.2	10.1	6.3	109.0	27.6	43.8	15.0	9.0	0.859	10.4
とちおとめ	促 成	無	253.0	86.7	75.9	6.3	17.1	0.7	12.5	7.3	122.4	25.9	43.6	13.8	10.2	0.845	12.1
		冷蔵 ^u	223.0	83.5	76.3	3.3	19.8	0.6	12.8	7.8	128.3	27.0	42.7	14.3	9.6	0.832	11.6
章 姫	促 成	無	496.0	93.1	89.6	3.0	6.8	0.5	10.8	7.0	112.6	28.4	47.7	21.6	9.5	0.547	17.4
		冷蔵 ^u	354.1	91.2	83.9	5.3	9.3	1.6	13.2	8.1	93.6	34.6	46.8	21.2	9.1	0.574	15.9
きたえくぼ	半促成	無	113.5	40.1	26.9	67.7	4.3	1.1	6.1	2.7	146.7	29.5	41.9	18.5	10.3	0.715	14.3
		冷蔵 ^u	149.0	50.3	33.5	63.8	2.3	0.5	6.7	3.0	144.7	28.9	57.5	22.3	10.7	0.697	15.4
越後姫	半促成	無	230.0	87.7	80.8	6.8	12.5	0.0	10.6	6.5	106.2	34.2	45.2	19.0	9.8	0.793	12.3
		冷蔵 ^u	115.0	96.6	92.6	4.2	2.6	0.5	11.4	7.3	111.9	29.7	46.3	20.2	10.2	0.773	13.2
北の輝	中間型	無	121.7	96.6	90.9	9.1	0.0	0.0	11.8	7.4	190.7	32.7	41.1	19.5	11.5	0.786	14.7
		冷蔵 ^u	275.9	97.6	94.6	5.4	0.0	0.0	10.2	6.6	181.8	32.5	40.1	17.7	10.4	0.626	16.6
Pajaro	中間型	無	208.5	85.4	77.7	2.1	20.2	0.0	13.8	8.4	137.7	29.5	38.1	13.3	6.6	0.553	12.0
		冷蔵 ^u	152.2	94.7	89.9	1.9	8.2	0.0	13.9	8.8	142.5	28.5	41.4	14.7	7.3	0.568	12.8
サマーベリー	四季成	無	432.1	95.0	90.8	4.7	4.3	0.1	11.6	7.4	99.4	29.3	42.6	17.5	9.1	0.820	11.1
		冷蔵 ^u	399.8	94.3	91.6	3.8	4.1	0.5	12.0	7.7	92.6	29.2	42.9	16.8	8.2	0.816	10.1
Florida Belle	その他	無	445.4	77.4	72.5	6.6	20.6	0.3	10.9	6.8	99.9	28.2	35.5	14.9	7.4	0.789	9.4
		冷蔵 ^u	254.8	91.1	88.1	4.0	7.2	0.7	11.1	7.1	111.1	28.4	36.9	14.9	7.7	0.830	9.3

z 1区10株を用い、2反復とした

y 直径3mmの円盤状プランジャーを装着したアイコー製プッシュプルゲージ（タイプ1）にて測定した

x ミノルタ製色測色差計CR200にて果実の赤道面を測定した

w 果実の赤道部を圧搾し、得られた果汁の糖度をアタゴ製デジタル糖度計DBX55にて測定した

v 果実の赤道部を圧搾し、得られた果汁の酸度を富士平工業製酸度計アシライザー6にて測定した

u 冷蔵処理区では、1996年10月16日から25日間、2℃暗黒条件により休眠打破処理を行った

表-4 久留米（野菜・茶業試験場久留米支場）で栽培した場合のイチゴ各品種における果実の収量および品質*

品 種	適作型	定植 前処理	株当たり 平均収 量 (g)	果重による 商品果 率 (%)	果実数による果実率 (%)				商品果 平均果 重 (g)	全果平 均果重 (g)	果実品質						
					商品果	非商品果					硬度 ^v (g/3mmφ)	果皮色 ^a			糖度 ^w (Brix)	酸度 ^v (g/100gFw)	糖酸比 (糖度/酸度)
						肩果	奇形果	病果				L*	a*	b*			
とよのか	促 成	無	292.5	74.0	69.1	2.6	3.9	24.3	16.5	10.3	162.9	33.3	47.2	25.8	9.2	0.442	20.9
		冷蔵 ^u	108.2	80.5	73.3	0.0	6.7	20.0	21.1	12.8	187.7	34.4	45.5	23.5	9.7	0.483	20.0
さちのか	促 成	無	231.8	82.1	77.3	9.9	2.1	10.6	14.0	8.8	222.1	32.0	44.1	20.5	9.8	0.507	19.4
		冷蔵 ^u	56.8	61.3	56.3	0.0	0.0	43.8	15.5	9.5	202.8	32.1	44.5	20.8	10.0	0.564	17.8
女 峰	促 成	無	245.3	78.7	72.0	5.3	6.0	16.7	14.3	8.7	174.5	32.2	43.3	21.1	9.0	0.508	17.7
		冷蔵 ^u	109.4	74.4	65.4	1.9	15.4	17.3	19.2	11.2	190.6	33.1	42.5	18.9	9.7	0.511	19.0
とちおとめ	促 成	無	264.5	77.6	75.0	2.8	12.0	10.2	20.3	13.1	207.6	34.0	42.2	21.5	9.8	0.496	19.7
		冷蔵 ^u	90.5	56.5	47.2	0.0	27.8	25.0	24.1	13.4	210.7	33.5	41.1	20.3	9.0	0.497	18.1
章 姫	促 成	無	306.4	58.7	57.1	3.2	20.1	19.5	16.4	10.6	161.0	33.8	44.3	22.3	9.7	0.398	24.3
		冷蔵 ^u	66.8	7.5	5.3	0.0	84.2	10.5	20.1	9.4	192.6	35.7	39.2	20.7	9.8	0.547	18.0
きたえくぼ	半促成	無	148.7	77.8	65.6	23.1	7.5	3.8	8.8	5.0	200.0	35.1	38.7	20.8	7.7	0.333	23.2
		冷蔵 ^u	62.8	70.1	61.3	0.0	0.0	38.7	18.5	10.8	217.8	34.7	34.9	14.7	7.5	0.358	20.9
越後姫	半促成	無	275.0	67.0	65.6	1.6	4.7	28.1	17.5	11.5	155.0	34.6	44.8	25.2	9.5	0.435	21.8
		冷蔵 ^u	142.2	58.7	55.3	0.0	8.5	36.2	25.7	16.1	173.5	36.4	42.3	22.7	9.7	0.452	21.5
北の輝	中間型	無	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		冷蔵 ^u	136.8	61.3	64.7	0.0	29.4	5.9	22.9	16.1	235.8	36.4	37.4	18.0	9.5	0.405	23.5
Pajaro	中間型	無	227.2	90.5	94.0	0.0	6.0	0.0	17.5	12.1	205.2	30.4	38.5	15.6	6.6	0.339	19.4
		冷蔵 ^u	180.6	96.1	95.7	0.0	0.0	4.3	30.9	20.5	206.6	31.7	36.6	14.5	7.0	0.369	19.1
サマーベリー	四季成	無	215.3	88.6	88.9	1.9	0.0	9.3	15.9	10.6	162.0	34.5	44.1	23.5	9.3	0.571	16.3
		冷蔵 ^u	119.5	75.6	76.6	0.0	0.0	23.4	20.1	13.6	172.6	39.8	40.4	25.3	9.3	0.485	19.2
Florida Belle	その他	無	342.6	85.5	79.3	11.3	8.0	1.4	13.9	8.6	163.1	31.7	37.2	17.2	6.4	0.502	12.7
		冷蔵 ^u	182.8	45.7	39.6	1.1	8.8	50.5	18.5	10.7	144.4	32.8	33.8	15.8	6.5	0.503	13.0

z 1区10株を用い、2反復とした

y 直径3mmの円盤状プランジャーを装着したアイコー製プッシュプルゲージ（タイプ1）にて測定した

x ミノルタ製色測色差計CR200にて果実の赤道面を測定した

w 果実の赤道部を圧搾し、得られた果汁の糖度をアタゴ製デジタル糖度計DBX55にて測定した

v 果実の赤道部を圧搾し、得られた果汁の酸度を富士平工業製酸度計アシライザー6にて測定した

u 冷蔵処理区では、1996年10月16日から25日間、2℃暗黒条件により休眠打破処理を行った

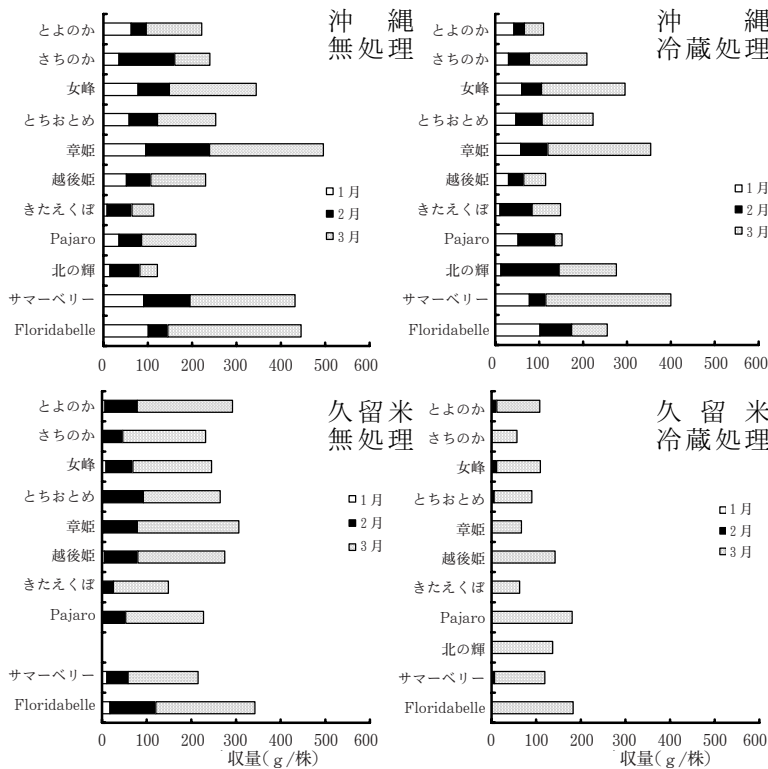


図-2 異なる地域で栽培した場合のイチゴ各品種における株当り月別収量

冷蔵処理区では、1998年10月16日から25日間、
2℃・暗黒条件により休眠打破処理を行った。

‘きたえくぼ’無処理区では、収穫開始が非常に遅く、腋花房の出蕾もみられなかった。花房当たりの花数が多い、いわゆる“果数タイプ”で、沖縄では、果実が非常に小さく、硬くなった。冷蔵処理区においても草勢の強化はほとんどみられず、25日間の冷蔵処理(2℃)では休眠打破効果が不十分であったことから、沖縄県での栽培には不適であると思われる。

‘越後姫’無処理区では、約40%の株において、花房間葉数3枚以下で第1腋花房を形成したが、1月31日の出蕾率は45%と低かった。果実形質は、果形、果皮色など、‘とよのか’と類似するが、果皮は‘とよのか’よりも傷つきやすかった。腋花房の形成不良と果皮強度の低さが問題であった。

‘北の輝’では、炭そ病による枯死のため、調査株数が少なく、株による生育差が大きくなった。休眠が深いため、無処理区では低収であったが、休眠打破処理をすることにより生育が旺盛となり、2月までの収量は‘Florida Belle’に次いで多かった。果実は糖度が高く、さらに酸度とのバランスがよいため食味が優れ、硬度も高く、艶のある明るい果皮色などの外観を含め、その品質は非常に高かった。安定した休眠打破処理が可能であれば、沖縄での高品質果実の短期収穫に有望であると思

われる。

‘Pajaro’無処理区では、定植後に、出葉時に葉身の先端部が枯死し、葉がよじれるチップバーン(高温、乾燥、多肥状態で多発し、部分的カルシウム欠乏による障害と考えられている)が発生したが、これが花房にも生じたため、頂花房の全ての花が枯死した株が認められた。頂果房の頂果で非常に小さな奇形果が多かったが、これもチップバーンの影響であると考えられる。冷蔵処理区では、チップバーンの被害は軽微であった。大果で外観が優れ、果実硬度も高いが、糖度が低く食味が劣った。花房当たり花数は多くないが、高次の花(同一花房中において開花の遅い花)に着生した果実でも小果になることは少なかった。

‘サマーベリー’無処理区では、頂果房および第1腋果房の収穫が早く、第2腋花房も順調に形成・発育し、1月中に70%の株で出蕾がみられた。多収、大果であるが、果皮が弱く、収穫時に傷つきやすい難点があった。

‘Florida Belle’は、果房当たり果数の多い果数タイプであり、各果房の頂果は大きな果実となるが、高次の果実は小果となった。多収であるが、酸度が高く、食味が劣った。果皮色は濃く、種子の色が白く目立ち、種子の果肉への落ち込みも浅いため、外観は劣った。

これらのことから、沖縄県における短期栽培で収量を上げるためには、頂花房に続いて腋花房を、短い間隔で（ごく少ない花房間葉数で）連続的に形成する品種を用いるか、頂果房のみ、または頂果房と第1腋果房とで収量を上げる品種を用いることが必要であると推測される。収量性の面から有望と考えられる供試品種は、連続的花房形成型品種としては、‘女峰’、‘さちのか’、‘章姫’、‘サマーベリー’、頂果房重点型品種としては、‘Pajaro’、‘Florida Belle’であった。しかし、頂果房重点型の‘Pajaro’は、外観は優れるものの、糖度、酸度ともに低いことから食味が不十分であり、‘Florida Belle’は、短期収量に優れるものの、低糖度と暗い果皮色に難点があった。連続的花房形成型の‘女峰’は、収穫が早いのが小果であることが問題であった。‘章姫’と‘サマーベリー’は、大果・多収であるものの、果実硬度が低く、特に果皮が弱いため、収穫時に傷が生じやすく、温暖な沖縄県では大きな障害となる可能性がある。果実品質の面からみると、食味がよく（高糖度かつ低酸度）、果実の硬い供試品種は、‘さちのか’、‘きたえくぼ’‘および’北の輝’であったが、‘きたえくぼ’は平均果重が非常に小さく外観が劣った。頂果房重点型品種の‘北の輝’は、低緯度高温地域での安定的な苗の供給方法および休眠打破方法の開発による収量の増加が期待できる。よって、ここでは、市場性や流通適性などを重視し、収量はそれほど多くはないが、連続果房形成型の‘さちのか’や頂果房重点型の‘北の輝’のように、糖度や果実硬度などの果実品質の優れた品種が、高温条件下での促成栽培に対する、高い実用性をもっているものと思われる。

2 促成栽培型品種の花芽形成早期化による高温期での果実肥大能の差異

短日夜冷処理により、花芽分化を促進した苗を用いて、果実の肥大性と温度との関連について検討した。また、花芽分化に及ぼす、短日夜冷処理の時期や期間の影響、品種間差などについても若干の検討を加えた。これらの試験結果は、促成栽培の収穫期間の拡大に有効な、夏秋期どり作型の開発および高温下における果実肥大能力の高い品種の選抜・育成に、役立つものと考えられる。

1) 材料および方法

(1) 試験地

野菜・茶業試験場久留米支場（標高50m）、福岡県農業総合試験場園芸研究所（標高100m）、熊本県農業研究センター農産園芸研究所八代研究室（標高0m）、熊

本県農業研究センター高原農業研究所（標高543m）、佐賀県農業試験研究センター白石分場（標高0m）および佐賀県農業試験研究センター三瀬分場（標高400m）の6か所で、1985年および1986年に試験を行った。ただし、1986年は、佐賀県農業試験研究センター三瀬分場での試験は行わなかった。

(2) 供試材料

花芽分化の早い品種として、促成栽培用品種の‘はるのか’、‘とよのか’、‘はるよい’、‘ひのみね’および野菜・茶業試験場久留米支場で育成した早生系統‘久留米47号’を、花芽分化の遅い品種として、促成栽培および半促成栽培にも利用される‘麗紅’、‘宝交早生’を供試した。

(3) 栽培の概要

1984年10月に全品種を親株床へ植え付け、翌1985年2月13日に、親株へのジベレリン酸（以後GA₃と称する）溶液（80mg/l）散布およびビニルフィルム・トンネル被覆による保温を行って、ランナーの発生を促し、5月29日に、ランナーの頂芽が発育してできた子苗（展開葉数3~4）を、直径12cmの黒色ポリポット内の培養土に固定した。十分に発根した後にランナーから切り離し、雨よけハウス内で育苗した。1986年にも、上記の品種・系統6品種（‘はるよい’を除く）を用い、1985年と同様にして、2月20日にGA₃溶液（100mg/l）散布およびトンネル被覆を行い、6月2日に黒色ポリポット内の培養土に、ランナー先端部にできた子苗を固定し、十分に発根した後に切り離した。ポット育苗の培養土には、山土ともみから堆肥を7:3の割合で混合したものをを用いた。育苗中の施肥は行わなかった。

本圃での栽培方法は、各試験地の慣行にしたがって、露地もしくは雨よけハウス栽培とした。

(4) 短日夜冷処理の方法

各品種の苗を、午前8時から午後4時まで（1986年は午前8時30分~午後4時30分）屋外に出して自然光下に置き、その後は14℃の暗室へ搬入することにより、8時間日長・14℃の短日夜冷処理を行った。

1985年には、6月20日から7月15日までの25日間（6月処理）、7月31日から8月22日までの22日間（7月処理）および8月22日から9月12日までの21日間（8月処理）の異なる時期に、3回の短日夜冷処理を行う区を設けた。1986年には、6月18日から7月7日までの19日間（6月処理）、7月14日から8月11日までの27日間（7月処理）および8月11日から9月1日までの21日間（8月処理）の3回にわたって、異なる時期

に短日夜冷処理を行う区を設けた。各処理区につき、各品種20株を用いた。

(5) 調査事項

各処理区について、開花開始日、収穫開始日を調査した。収穫開始後は適宜成熟した果実を収穫し、平均果重および糖度を調査した。

2) 結果および考察

表-5に、各試験地の標高と、1985年および1986年の、旬別平均気温を示した。試験地の平均気温は、1985年は野菜・茶業試験場久留米支場、1986年は福岡県農業総合試験場園芸研究所では高く、熊本県農業研究センター高原農業研究所では両年とも低かった。平均気温の地域較差は、野菜・茶業試験場久留米支場と熊本県農業研究センター高原農業研究所との間で最も大きく、1986年の7月下旬には7℃の較差が認められた。全般的に標高100m以下の試験地では、標高と気温との間に一定の関係は認められなかったが、400m以上の試験地では標高が高いほど気温は低下した。

表-6に、各短日夜冷処理区における開花開始日および収穫開始日における品種間差を示した。開花開始日、収穫開始日については、1985年および1986年ともに、6月または7月処理区で、品種・系統間に有意差が認められた。なお、8月処理区については、供試品種数、試験地数が少ないため集計から除外した。品種・系統のう

ち、‘久留米47号’の開花開始日、収穫開始日は早く、‘麗紅’のそれらは遅い傾向がみられた。表-7に、各短日夜冷処理区における、開花開始日および収穫開始日における試験地間の差を示した。試験地間においても、1985年および1986年ともに、6月および7月処理区で、開花開始日、収穫開始日に1%水準で有意な試験地間差が認められた。野菜・茶業試験場久留米支場では、開花開始日、収穫開始日ともに遅く、福岡県農業総合試験場園芸研究所では両者とも常に早かった。

表-8に、品種・系統の平均果重を示した。1985年は6月処理区および7月処理区ともに、品種・系統間には5%水準で有意差が認められ、6月処理区では、‘ひのみね’、‘久留米47号’の平均果重が大きく、7月処理区では、‘とよのか’、‘麗紅’、‘ひのみね’の平均果重が大きかった。8月処理区においても7月処理区と同様に、‘とよのか’、‘麗紅’、‘ひのみね’の平均果重が大きかった。1986年は、6月処理区の平均果重には、有意な品種間差はみられなかったが、7月処理区の平均果重には、1%水準で品種間に有意な差が認められた。前年と同様に、‘とよのか’の平均果重が特に大きく、ついで‘麗紅’、‘ひのみね’の順で大きかった。各試験地間における平均果重を表-9に示した。全ての処理区において、1%水準で有意差が認められた。1985年の6月処理区では、標高の高い熊本県農業研究センター高原農業研究所の平均果重が最も大きく、佐賀県農業試験研究センター三瀬

表-5 各試験場所の標高と旬別平均気温の推移

試験地	標高 (m)	年次	気温 (°C)														
			7月			8月			9月			10月			11月		
			上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
白石 ^z	0	1995	26	26	28	28	25	27	27	25	22	19	18	16	14	9	9
白石 ^z	0	1996	24	28	28	27	28	27	27	23	21	19	16	15	13	13	11
八代 ^y	10	1995	26	27	28	28	28	28	27	27	23	20	20	17	15	11	10
八代 ^y	10	1996	25	28	28	27	28	27	27	23	21	19	16	15	13	13	11
久留米 ^x	50	1995	26	27	28	29	29	28	28	27	22	19	18	18	15	10	10
久留米 ^x	50	1996	23	28	32	28	29	27	27	22	21	19	16	13	12	12	10
筑紫野 ^w	100	1995	25	26	27	28	28	27	26	25	21	19	18	16	24	9	9
筑紫野 ^w	100	1996	—	31	30	29	30	28	28	24	23	21	18	20	16	14	14
三瀬 ^v	400	1995	24	24	26	26	26	25	25	23	20	17	17	15	13	7	7
阿蘇 ^u	543	1995	23	24	25	25	25	27	24	23	20	16	16	13	11	6	6
阿蘇 ^u	543	1996	22	25	25	24	25	23	23	20	18	15	12	11	9	10	7

z 佐賀県農業試験研究センター白石分場

y 熊本県農業研究センター農産園芸研究所八代研究室

x 野菜茶・業試験場久留米支場

w 福岡県農業総合試験場園芸研究所

v 佐賀県農業試験研究センター三瀬分場

u 熊本県農業研究センター高原農業研究所

表-6 イチゴ苗の短日夜冷処理時期と定植後における開花および収穫の早晚性との関係の品種間差^z

試験実施年	品種・系統	6月処理		7月処理		8月処理	
		開花開始日 (月/日)	収穫開始日 (月/日)	開花開始日 (月/日)	収穫開始日 (月/日)	開花開始日 (月/日)	収穫開始日 (月/日)
1985	はるのか	8/17	9/ 8	10/ 8	10/27	10/23	11/19
	はるよい	8/18	9/ 8	10/ 5	10/30	11/ 2	11/29
	とよのか	8/19	9/ 9	10/ 7	11/ 3	10/20	11/21
	麗紅	8/21	9/ 8	10/ 5	11/ 7	10/30	11/29
	宝交早生	8/17	9/ 5	—	—	—	—
	ひのみね	8/18	9/ 5	10/ 3	10/27	10/24	11/21
	久留米 47号	8/12	8/30	9/28	10/30	11/ 4	12/ 2
	L. S. D (5%)	2.4日	2.6日	4.8日	8.1日	—	—
L. S. D (1%)	3.3日	3.4日	6.5日	n. s. ^y	—	—	
1986	はるのか	8/11	9/ 2	9/17	10/14	10/10	11/ 6
	とよのか	8/13	9/ 6	9/20	10/16	10/21	11/22
	麗紅	8/14	9/ 3	9/21	10/24	10/27	12/ 6
	宝交早生	8/11	8/30	9/19	10/12	—	—
	ひのみね	8/10	8/29	9/17	10/11	10/14	11/17
	久留米 47号	8/ 9	8/29	9/13	10/10	10/20	11/20
	L. S. D (5%)	1.7日	3.5日	4.3日	2.5日	—	—
	L. S. D (1%)	2.3日	4日	5.9日	3.4日	—	—

z 短日夜冷処理は8時間日長、夜温 14℃とし、各品種について、全試験場所の平均値を示した

y 有意差なし

表-7 イチゴ苗の短日夜冷処理時期と定植後における開花および収穫の早晚性との関係の試験地間差^z

試験実施年	試験地		6月処理		7月処理		8月処理	
	地名	標高 (m)	開花開始日 (月/日)	収穫開始日 (月/日)	開花開始日 (月/日)	収穫開始日 (月/日)	開花開始日 (月/日)	収穫開始日 (月/日)
1985	白石 ^v	0	8/18	9/ 8	9/28	10/25	10/29	11/26
	八代 ^x	10	8/19	9/ 7	10/ 7	11/ 4	—	—
	久留米 ^w	50	8/20	9/ 8	10/14	11/13	10/17	11/18
	筑紫野 ^v	100	8/15	9/12	9/29	10/28	10/17	11/20
	三瀬 ^u	400	8/18	9/13	9/26	10/24	—	—
	阿蘇 ^t	543	8/14	9/10	—	—	—	—
	L.S.D (5%)		2.3日	2.4日	4.4日	7.4日	—	—
	L.S.D (1%)		3.1日	3.2日	6.0日	10.1日	—	—
1986	白石 ^v	0	—	—	9/18	10/14	10/11	11/ 9
	八代 ^x	10	8/12	9/ 4	—	—	—	—
	久留米 ^w	50	8/15	9/ 4	9/21	10/17	10/25	12/ 2
	筑紫野 ^v	100	8/ 9	8/28	9/16	10/11	—	—
	阿蘇 ^t	543	8/10	8/30	9/16	10/16	—	—
	L.S.D (5%)		1.4日	2.9日	3.5日	2.2日	—	—
	L.S.D (1%)		1.9日	4.0日	4.8日	2.8日	—	—

z 短日夜冷処理は8時間日長、夜温 14℃とし、各試験場所について、全品種の平均値を示した

y 佐賀県農業試験研究センター白石分場

x 熊本県農業研究センター農産園芸研究所八代研究室

w 野菜・茶業試験場久留米支場

v 福岡県農業総合試験場園芸研究所

u 佐賀県農業試験研究センター三瀬分場

t 熊本県農業研究センター高原農業研究所

分場がこれに続いたが、7月処理区では、標高が0mである佐賀県農業試験研究センター白石分場の平均果重が大きく、佐賀県農業試験研究センター三瀬分場、野菜・茶業試験場久留米支場の順に果実が小さくなった。1986年の6月処理区では、熊本県農業研究センター農産園芸研究所八代分室と熊本県農業研究センター高原農業研究所の平均果重が大きく、7月処理では、野菜・茶業試験場久留米支場と熊本県農業研究センター高原農業研究所の平均果重が大きかった。

表-10に、平均果重と成熟期間、積算温度および成熟期間の平均気温との相関を示した。1985年は、平均果重と成熟期間の間には、相関は認められなかった（‘麗紅’を除く）。平均果重と積算温度の間には、‘はるよい’、‘とよのか’において、5%水準で有意な相関が認められた。平均果重と成熟期間の平均気温の間には、全品種・系統において高い相関が認められた。1986年は、平均果重と成熟期間の間には、‘麗紅’、‘ひのみね’、‘久留米47号’において有意な相関が認められた。平均

表-8 異なる時期に短日夜冷処理を行ったイチゴ各品種の平均果重における品種間差^a

品種・系統	平均果重 (g)					
	短日夜冷処理時期					
	1985年度 ^y			1986年度 ^x		
	6月処理	7月処理	8月処理	6月処理	7月処理	8月処理
はるのか	3.1	8.4	10.7	3.8	8.6	—
はるよい	3.2	9.1	11.1	—	—	—
とよのか	3.9	10.3	17.9	4.6	11.3	13.6
麗紅	3.2	9.7	16.6	4.0	9.4	12.4
宝交早生	3.1	—	—	3.8	7.6	—
ひのみね	4.0	9.9	15.8	4.5	9.5	12.6
久留米47号	4.2	8.2	—	3.5	8.5	11.6
L.S.D (5%)	0.8	1.4	—	n.s. ^w	0.9	—
L.S.D (1%)	n.s. ^w	n.s. ^w	—	n.s. ^w	1.3	—

z 短日夜冷処理は8時間日長、夜温14℃とした

y 佐賀県農業試験研究センター白石分場での調査結果

x 野菜・茶業試験場久留米支場での調査結果

w 有意差なし

表-9 異なる時期に短日夜冷処理を行ったイチゴ各品種の平均果重における試験地間差^a

試験地	標高 (m)	平均果重 (g)					
		短日夜冷処理時期					
		1985年度			1986年度		
		6月処理	7月処理	8月処理	6月処理	7月処理	8月処理
白石 ^y	0	2.7	11.3	14.4	—	8.2	—
八代 ^x	10	—	—	—	4.9	—	—
久留米 ^w	50	2.6	9.5	—	2.8	10.6	12.6
筑紫野 ^v	100	2.6	6.6	—	3.8	6.4	—
三瀬 ^u	400	4.4	9.7	—	—	—	—
阿蘇 ^t	543	5.4	—	—	4.6	11.5	—
L.S.D (5%)		0.7	1.1	—	0.8	0.8	—
L.S.D (1%)		1.0	1.6	—	1.0	1.1	—

z 短日夜冷処理は8時間日長、夜温14℃とし、各試験場所について、全品種の平均値を示した

y 佐賀県農業試験研究センター白石分場

x 熊本県農業研究センター農産園芸研究所八代研究室

w 野菜・茶業試験場久留米支場

v 福岡県農業総合試験場園芸研究所

u 佐賀県農業試験研究センター三瀬分場

t 熊本県農業研究センター高原農業研究所

表-10 イチゴ各品種の平均果重と成熟期間および成熟期間積算温度ならびに成熟期間平均気温との関連^z

品種・系統	1985 年度			1986 年度		
	成熟期間 ^y	積算温度 ^x	平均気温 ^w	成熟期間 ^y	積算温度 ^x	平均気温 ^w
はるのか	0.16	-0.57	-0.96 ^{*u}	0.39	-0.69 ^{*v}	-0.89 ^{*u}
はるよい	0.27	-0.70 ^{*v}	-0.97 ^{*u}	—	—	—
とよのか	0.38	-0.65 ^{*v}	-0.93 ^{*u}	0.58	-0.64 ^{*v}	-0.93 ^{*u}
麗紅	0.64 ^{*v}	-0.13	-0.93 ^{*u}	0.84 ^{*u}	-0.18	-0.95 ^{*u}
宝交早生	0.28	-0.73	-0.96 ^{*u}	0.69	0.07	-0.91 ^{*u}
ひのみね	0.62	-0.61	-0.92 ^{*u}	0.86 ^{*u}	-0.72 ^{*v}	-0.92 ^{*u}
久留米 47 号	0.32	-0.20	-0.77 ^{*v}	0.68 ^{*v}	-0.62	-0.91 ^{*u}

z 全試験場所の結果を用いた

y FERGUSONら (1971) の方法に従って、開花開始日から収穫開始日までを成熟期間とした

x FERGUSONら (1971) の方法に従って、開花開始日から収穫開始日までの日平均気温の合計を積算温度とした

w FERGUSONら (1971) の方法に従って、積算温度を成熟期間で除した値を成熟期間の平均気温とした

v 5%水準で有意

u 1%水準で有意

果重と積算温度との間には、‘はるのか’、‘とよのか’、‘ひのみね’において相関が認められたが、他の品種では認められなかった。平均果重と成熟期間の平均気温との間には、1985年と同様に、全品種・系統において1%水準で有意な相関が認められた。つぎに、平均果重についてみると、成熟期間の平均気温を変数として、各品種・系統の回帰式を求めたところ、1985年と1986年との間には、回帰係数に有意な年次間差が認められなかった。そこで、両年度のデータを統合し、各品種・系統の成熟期間の平均気温と平均果重との間の回帰式を比較した。その結果、各品種・系統の回帰係数については有意性のある差は認められなかったが、回帰式の定数項については、1%水準で有意差が認められた。すなわち、各品種・系統について、高さの異なる平行な回帰直線をあてはめることが可能であり、表-11に示すように、果実の大きな‘とよのか’、‘ひのみね’、果実の小さな‘はるよい’、およびその中間の‘麗紅’、‘久留米47号’、‘宝交早生’、

表-11 イチゴ各品種の平均果重と成熟期間平均気温との回帰式

品種・系統	回帰式 ^z		
はるのか	$Y = -0.6x + 19.1$	b	c
はるよい	$Y = -0.6x + 18.4$		c
とよのか	$Y = -0.6x + 20.9$	a	
麗紅	$Y = -0.6x + 19.7$		b
宝交早生	$Y = -0.6x + 19.3$		b c
ひのみね	$Y = -0.6x + 20.3$	a	b
久留米 47 号	$Y = -0.6x + 19.6$		b c

z Y: 平均一果重, X: = 成熟期間中の平均温度
回帰式後のアルファベットの同じ文字は5%水準で差がないことを示す。

‘はるのか’の3集団に類別できた。

果実の糖度については、1985年および1986年ともに、品種・系統間には有意差が認められなかったが、試験地間に有意差が認められ、野菜・茶業試験場久留米支場における糖度が常に高かった。また、糖度と、成熟期間、積算温度、成熟期間の平均気温との相関は認められなかった。

3 考察

沖縄県などの低緯度地域でのイチゴ栽培、ならびに九州および本州西南地域における促成栽培の時期的前進化に伴う夏秋どり栽培では、花芽分化から開花、果実発育および収穫に至るまでの過程が、高温条件下で行われるため、花芽分化の遅延、果実の小型化が起り、これによる収量の低下、果実酸度の上昇、果皮色の暗色化および果実硬度の低下による品質の低下などの問題が生じる。イチゴ促成栽培の地域拡大と時期的前進化を図るためには、これらの問題を回避できる栽培技術の開発、ならびに新品種の育成が不可欠である。

花芽分化に対しては、人為的に低温・短日条件に遭遇させることによる分化促進技術の発達により、高温期においても、任意の時期に花芽分化させることが可能になった。そのため、促成栽培適応品種としてみる場合、自然条件での花芽分化の早い早生品種や、四季成り性品種に限定する必要性は小さくなりつつあると考えられる。特に、夏秋期にのみ収穫する栽培や、高温になる前に収穫を打ち切らなければならない沖縄県内で想定される短期栽培などでは、必ずしも長期間にわたり花芽を分化させる必要はないと思われる。したがって、現在の促成栽培用品種のように、比較的短期間の間に連続的に花房を形

成する一季成り性品種や、露地栽培および半促成栽培用品種に多くみられるように主として頂果房着生果実で収量を上げる品種など、多様な花芽分化特性をもつ品種が、短期栽培における出荷計画に合わせて、高温条件下での促成栽培に利用されることが予想される。しかし、低温・短日処理により、頂花房分化を誘起しても、定植時までに一定の発達段階に達していない場合には、高温条件下の本圃へ定植されると、花房としての発育が困難になる（ディバーナリ現象）場合がある（宍戸ら，1990）。また、頂花房がディバーナリ現象を免れ、順調に発育した場合においても、花芽分化には適さない温度・日長条件のため、本章1で述べたように、第1腋花房の分化が遅れる（頂花房と第1腋花房との間の葉数が多くなる）ことになる。連続的に花房を形成させ、長期間にわたり収穫する作型では、腋花房の花芽形成の遅れは、収量低下の原因になるものと予想される。このような問題を回避するためには、熱反射フィルムによる被覆など、昇温防止技術の開発が必要であろう。

一般に、果実の成熟と温度との間には密接な関係があり、特に積算温度と関係が深いとされている（本多ら，1964，1974；伊東，1965；森下ら，1985）。CLARK（1931）は、20品種、FERGUSON（1971）は40品種のイチゴ品種・系統について調査し、成熟期間に品種間差があること、あるいは一定以上の高温が成熟に抑制的に働くという結論を得ている。一方、熊倉・宍戸（1994）は、‘盛岡16号’を用いて試験を行い、平均15～25℃の温度域では、平均気温が低いほど、また、平均気温が同一であれば昼温が低く夜温較差が小さいほど、成熟日数が長くなるとしている。これまでに、品種ごとの成熟期間や積算温度の研究は行われているが、平均果重に対する記述は少なく、伊東（1965）は、温度と平均果重との関係について、温度が低い方が平均果重は大きくなるが、温度が高い場合には、果実が大きくなるうちに成熟するため、平均果重は小さくなるとしている。本章1の結果においては、沖縄県よりも緯度の高い久留米市で、また、本章2の結果においては、平地よりも標高の高い試験地で、平均果重は大きな値を示し、伊東（1965）の結果と同様であった。本章2の結果からみると、平均果重に対しては、成熟期間の平均気温が最も影響を与えるが、積算温度や成熟期間は、それほど影響しないことが明らかになった。また、成熟期間の平均気温と成熟期間との相関は、1986年では高かったが、1985年では低かったことから、年次間差があり、成熟期間には、気温以外の要因も関与していると推察される。また、高温下で成熟

した果実の平均果重には、品種・系統間で有意な差が認められたが、いずれの品種・系統においても、温度の上昇に伴う平均果重の減少率には、有意な差は認められなかった。すなわち、‘とよのか’、‘ひのみね’のような大果性品種を用いれば、高温により果実の肥大が抑制されても、同様に肥大が抑制された他品種・系統よりも、なお肥大能力が高く、大きな果実の収穫が期待できることになる。したがって、低緯度（沖縄県）での短期栽培および西南暖地での夏秋どり栽培に適應した、果実の肥大能力の高い品種を育成する場合には、特別に高温条件下での選抜を行わなくても、品種育成地での平常の温度で、大果性について選抜すればよいと考えられる。SERMANSら（1966）は、果実の大きさに対しては、特定組合せ能力よりも、一般組合せ能力の方が重要であると指摘していることから、交雑と選抜を繰り返していくことにより、低緯度（沖縄県）での短期栽培および夏秋どり栽培に適應した大果性品種の育成も可能であると思われる。ここで、6g以上の果実が商品価値のあるものと仮定し、表-11に示した回帰式から、各品種において、平均果重が6g以上となる温度を求めると、‘とよのか’では24.9℃、‘ひのみね’では23.9℃であり、他品種・系統（‘麗紅’22.9℃、‘久留米47号’22.7℃、‘宝交早生’22.2℃、‘はるのか’21.9℃、‘はるよい’20.7℃）よりも1℃以上高かった。平均気温が約24℃となるのは、九州の標高約100mまでの地域ではおよそ9月下旬に当たり、標高約500mの地域では、8月下旬～9月上旬にあたるため、そのころが頂果の成熟期となるような作型であれば、平均果重6g以上の果実の収穫が可能であり、24.0℃を超えることのほとんどない標高900m以上の地域では、夏期に出荷することも充分可能であると考えられる。

果実の糖度および酸度の変動については、品種、熟度、作型、温度、水分、光、施肥などとの関係が報告されているが（稲葉ら，1977；稲葉・中村，1978；藤野・高田，1987）、森下・本多（1991）は、糖度および酸含量ともに、温度、成熟期間との相関が強く、気温が上昇するにつれて高くなり、特に、酸含量の変化は、温度に強く影響されると報告している。本章1においては、高温である沖縄での糖度は、久留米でのそれとほぼ同等であり、本章2においては、果実糖度は、9月上旬収穫開始となる6月処理区よりも、10月下旬から収穫の始まる7月処理区でやや高い傾向が認められ、森下・本多（1991）の報告と異なる結果となった。しかし、本章2の結果では、糖度と、成熟期間および成熟期間の積算温度ならびに成熟期間の平均気温との相関はいずれも有意ではなく、

試験地間には有意な差が認められたことから、糖度に対しては、温度条件よりも、他の栽培条件が大きく関与しているものと思われる。

イチゴ果実の酸度は、高温下で果実の成熟が進むと高くなり、現在の促成栽培においては、11月頃から収穫される初期収穫果実の品質低下の大きな要因となっている（伏原・高尾，1989）。本章1においても、高温による酸度の上昇が認められた。一般に、イチゴの食味の基準として、糖酸比（Brix/酸度）が用いられ、飯野ら（1982）は、糖度（Brix）が7.0以上で、酸度が0.85%以下（糖酸比8.24）の果実であれば、消費者の嗜好基準を満たすとしており、門馬・興津（1987）は、食味の良好な露地栽培用品種では、糖酸比10.0以上が適当であるとしており、促成栽培用品種においても糖酸比10.0以上は一つの目安となっている。沖縄で収穫された果実の酸度は、久留米のそれよりもはるかに高い値を示したことから、糖度よりも酸度の上昇の激しい高温条件下での栽培には、平常温度で栽培した場合の酸度が低い品種の利用が望ましいと思われる。しかし、本章1の試験で用いた品種のうち、‘Pajaro’、‘Florida Belle’以外の全ての品種で、飯野ら（1982）、門馬・興津（1987）が示した糖酸比の基準を満たしていることから、特に酸度の低い品種を用いなくとも、食味（糖酸比）において市場性のある果実の生産は充分可能であると考えられる。

イチゴは、果実類のなかで、最も日持ち性、輸送性の劣るものの一つであり、大阪、東京などの大市場から離れた、西南暖地でのイチゴ栽培では、日持ち性、輸送性の優れる品種を用いることが重要になる。沖縄県で栽培した場合には、全品種において果実硬度の低下が認められ、特に‘章姫’、‘サマーベリー’では、収穫時に果皮の擦り傷が多発し、商品価値を著しく低下させた。イチゴ果実の日持ち性には、果皮の硬さが大きく関与しており（門馬・上村，1978）、輸送性には、果肉の硬度が関与していると考えられている。高温下で収穫されたイチゴ果実は、果実硬度が低く、果皮も弱くなるため、日持ち性は劣り、流通の面で大きな問題になることが予想される。そこで、高温条件下でのイチゴ栽培においては、果実硬度の低下に対する対策が必要となる。遮光資材の被覆などによる昇温防止技術の開発とともに、高温条件下で果実が発育した場合においても日持ち性の低下しない、高い果実硬度を備えた品種の育成が望まれる。本章1の結果では、高温条件下（沖縄）で栽培した果実の硬度は、平常温度（久留米）のその約65%であり、硬度の低下率については品種間に差が認められなかったこ

とから、日持ち性の高い品種を育成する場合には、特別に高温条件下での選抜を加えなくとも、品種育成地の平常温度で果実の硬い系統を選抜すればよいと考えられる。門馬・上村（1985）によれば、果皮硬度と果肉硬度との相関は低く、日持ち性と密接な関係にある果皮硬度の遺伝については、軟らかい形質が部分優性であることから、果皮硬度の高い品種を育成するためには、果皮の硬い品種間の交雑を行う必要があるとともに、軟らかい品種に硬い形質を導入するためには、果皮の硬い品種を数回交雑する必要があるとしている。一方、森（2000）は、果皮硬度と果実硬度（果皮硬度+果肉硬度）との相関は高く、実際の育種作業においては、果実硬度を目安にして果実の硬い個体が選抜できるとしている。さらに、果実硬度および果皮硬度は、ポリジーンに支配されており、また、遺伝率がかなり高いことから育種の初期に選抜とその選抜株同士の交配を数世代繰り返し、目的形質の出現頻度を高めた上で、優良株を栄養系選抜する方法が有効であるとしている。したがって、食味が優れ、果実硬度の高い‘さちのか’、もしくは‘北の輝’などを母本として交雑を繰り返し、果実硬度を指標として選抜することにより、果皮硬度が高く、日持ち性の優れた品種の育成が可能になると思われる。

また、低緯度（沖縄県）での栽培や、夏秋期どり栽培などの、高温条件下での栽培に適応した品種の育成は、実際の高温条件下での選抜を行わなくとも、通常の選抜試験の中で、低温・短日条件に感受性が高く、平均果重が大きく、果実酸度のやや低い、果実硬度の高い系統を選抜することによって可能になるものと判断される。

II 促成栽培で多発するイチゴ炭そ病 (*Colletotrichum gloeosporioides*) に対する抵抗性の選抜法と抵抗性系統の育成

イチゴ (*Fragaria x ananassa* Duch.) の植物体に *Colletotrichum gloeosporioides* が感染することによって生じるイチゴ炭そ病（以下炭そ病と称する）は、日本では‘芳玉’を栽培していた徳島県などで1969年に発見された（山本，1971）が、‘芳玉’が地域的な品種であったために、全国的な重要病害とはなっていなかった。しかし、‘とよのか’、‘女峰’など、炭そ病に弱い品種の栽培面積が拡大するにつれて被害が広がり、現在ではイチゴの最も重要な病害となっている。特に、高温多湿な気候で発生しやすい炭そ病は、西南暖地における育苗期に

激発し、しばしば苗不足をもたらす。さらには、加温する促成栽培の本圃においても発生し、収量を大幅に減少させる原因となる。そこで、薬剤散布による防除、耕種の防除を含めた、総合的な防除方法が研究されているが、温暖湿潤な西南暖地においては、炭そ病の発生にとって、好適な条件となる期間が長く、効果的な防除体系は確立されていない。そのため、強い抵抗性をもつ品種の育成および栽培が、炭そ病の被害軽減に有効であると考えられることから、‘とよのか’、‘女峰’などの、現在の主要品種に匹敵する果実品質を有する、抵抗性品種の育成が急がれている。

抵抗性品種を育成するためには、交配母本の選定や、育成された系統の抵抗性を判断するために、正確な抵抗性の検定方法が必要となる。現在まで、炭そ病抵抗性の検定法については多数の報告があり、接種方法、発病環境および調査事項に多少の差はあるが、炭そ病菌の分生胞子を、生育株に接種するという点では、全て同じである。しかし、多様な形態的特性を示す多数の品種について検定する場合に、菌接種時の葉数、葉面積、草型などの検定株の形態的特性を統一することは困難である。また、発病程度の評価には、葉身や葉柄の病斑数、発病小葉数、発病葉柄数、病斑面積、病斑の型（過敏反応死による小病斑であるのか、伸展する拡大型病斑であるのかなど）および枯死株率などが利用されているが、それらの調査結果を総合的に判断し、抵抗性を最も正確に表す指標を確定する必要がある。

実際に、抵抗性検定を行うためには、多数の検定株に、炭そ病の分生胞子を接種するため、広い隔離ハウスなどの施設が必要となる。また、検定に用いた株は必ず保菌し、生存株であっても病気の発生源となりうるため、焼却処分などにより破棄しなければならない。実際に、品種改良の過程で、抵抗性品種の選抜に利用するためには、育成途中で現れる多数の系統を、保菌させることなく、小面積で容易に扱うことができ、客観的に検定できる方法が必要である。本章では、炭そ病抵抗性系統の育成に利用できる、簡便な分離葉柄浸漬接種法について検討し、さらには、イチゴ炭そ病抵抗性品種育成の素材となり得る、高度抵抗性系統を育成することを試みた。

1 分離葉柄浸漬接種法を用いたイチゴ炭そ病抵抗性系統の簡易選抜法

現在、イチゴ炭そ病抵抗性の選抜に用いられているのは、植物体の全面に病原菌胞子懸濁液を噴霧する接種法であるが、この方法では、選抜された生存株は必ず病原

菌を保持しており、環境条件の悪化により発病、枯死する可能性があり、さらに、他の株への感染源となる危険性がある。一方、苗を対象として選抜を行う場合には、感染・発病が可能な環境条件を常に整えることができ、かつ、栽培本圃、育苗圃、および親株床などから完全に隔離された、接種試験専用の大きなハウスが必要となる。そこで、検定株を保菌させることなく、小面積で多数の系統を扱うことのできる、簡便なイチゴ炭そ病抵抗性系統の選抜方法について検討した。

a 分離葉柄浸漬接種法における接種源胞子濃度

植物体から切り離した葉柄（以下、分離葉柄と称する）に炭そ病菌の胞子を接種する方法により、抵抗性について選抜を行う場合における、最適接種源胞子濃度について検討した。

1) 材料および方法

(1) 供試材料

抵抗性の強い品種として‘宝交早生’、‘紅福’、抵抗性の弱い品種として‘麗紅’、‘芳玉’、中程度の品種として‘はるのか’を用いた。野菜・茶業試験場久留米支場の圃場で生育中の成苗から、最新展開葉から3枚目の葉（上位第3葉）の葉柄を採取し、長さ4cmに切りそろえて試験に供した。1本の葉柄から複数の分離葉柄切片が得られた場合、上位の分離葉柄切片と下位の分離葉柄切片とを同様に取り扱った。

(2) 接種源胞子濃度

野菜・茶業試験場久留米支場の、イチゴ圃場に発生した炭そ病罹病株から、分離・保存していた菌株（cf：5-2）を用いた。炭そ病菌の菌叢（5mm四方）を、300ml三角フラスコ内に入れた100mlのジャガイモ煮汁（ショ糖2%添加）液体培地（以下PS液体培地と称する）内で、振盪培養（25°C、3,000lx、12時間日長、120r.p.m.）を行った。培養2週間後に、PS液体培地をガーゼで濾過し、胞子と菌叢とを分離した。得られた胞子を蒸留水で2回洗浄した後、 10^3 、 10^4 、 10^5 、 10^6 個/mlの濃度に調整した胞子懸濁液を接種源として用いた。

(3) 接種方法

1985年8月14日に、4cmに切り取った分離葉柄切片の上部切断面をパラフィンでふさいで乾燥を防止した後、下部切断面を、胞子懸濁液に浸して接種した。

(4) 発病環境

保湿のために湿った濾紙を敷いた容器内に、接種後の葉柄を並べ、密閉した後、25°C恒温室内（12時間日長）に置いて発病させた。

(5) 試験区

接種孢子濃度が、 10^3 、 10^4 、 10^5 および 10^6 個/mlである4区を設けた。1区当たり分離葉柄切片5本を用い、2反復とした。

(6) 調査事項

接種3日、5日および7日後に、接種面に発現した黒褐色の病斑の長さを調べた。

なものとなった。孢子濃度 10^5 個/ml区の接種7日後ならびに 10^6 個/ml区の5日後の病斑長には、5%水準で有意な品種間差が認められた。しかし、最も高い孢子濃度である 10^6 個/ml区では、抵抗性品種においても、接種7日後には病斑が大きくなり、品種間差は認められなくなった。したがって、接種孢子濃度としては、品種間差が明確に現れる 10^5 個/mlが適当であると考えられる。

2) 結果および考察

接種2日後から、各分離葉柄切片の接種面が黒褐色に変化した。この変色は、蒸留水に浸漬した分離葉柄切片には認められず、また、時間の経過とともに拡大したことから、接種によって感染したイチゴ炭そ病の病斑であると判断された。

分離葉柄切片の下部切断面に孢子懸濁液を接種した場合の病斑の長さを、表-12に示した。接種孢子濃度が高くなるにつれて、病斑が早い時期から確認され、大き

b 分離葉柄浸漬接種法における発病温度

分離葉柄を用いて抵抗性の選抜を行う場合に、抵抗性の品種間差が早期に明白となるような、最適発病温度について検討した。

1) 材料および方法

(1) 供試材料

抵抗性の強い品種として‘Dover’、弱い品種として‘女峰’を用い、野菜・茶業試験場久留米支場の圃場で

表-12 イチゴ各品種の葉柄切片に炭そ病菌孢子懸濁液を接種した場合の接種源孢子濃度による病斑長の差^z

接種孢子濃度 (個/ml)	品 種	病斑長 (mm)		
		3日 ^y	5日 ^y	7日 ^y
10^3	宝交早生	0.00	0.00	0.00
	紅福	0.00	0.00	0.50
	はるのか	0.00	0.00	0.94
	芳玉	0.00	0.00	0.00
	麗紅	0.00	2.50	4.13
	L.S.D(5%)	n.s. ^x	n.s. ^x	n.s. ^x
10^4	宝交早生	0.50	1.13	3.38
	紅福	0.00	0.38	0.63
	はるのか	0.00	0.50	1.25
	芳玉	0.50	1.63	2.13
	麗紅	0.38	3.50	3.78
	L.S.D(5%)	n.s. ^x	n.s. ^x	n.s. ^x
10^5	宝交早生	0.63	3.49	4.99
	紅福	0.08	1.13	1.99
	はるのか	0.72	6.53	10.25
	芳玉	1.44	5.50	8.52
	麗紅	1.67	9.40	10.40
	L.S.D(5%)	n.s. ^x	n.s. ^x	4.19
10^6	宝交早生	2.38	6.40	9.40
	紅福	3.38	9.40	13.50
	はるのか	6.30	14.15	18.25
	芳玉	3.63	10.05	15.90
	麗紅	5.75	12.90	16.00
	L.S.D(5%)	n.s. ^x	4.54	n.s. ^x

z 1区当たり葉柄切片5本を用い、2反復とした

各濃度の孢子懸濁液を接種後、25°Cで発病させた

y 接種後日数を表す

x 5%水準で有意差なし

生育中の成苗より、上位第3葉の葉柄を採取し、長さを4cmに切りそろえて試験に供した。本章1-aと同様に、1本の葉柄から複数の分離葉柄切片が得られた場合にも、上位の分離葉柄切片と下位の分離葉柄切片とを同様に切り扱った。

(2) 接種源孢子濃度

接種源については、本章1-aで述べた方法によって、 4×10^5 個/mlの濃度に調整した孢子懸濁液を用いた。

(3) 接種方法

1988年8月12日に、本章1-aで述べた方法によって接種した。

(4) 発病環境

保湿のために湿った濾紙を敷いた容器内に、接種後の葉柄を並べ、密閉した後に、25°C、30°Cおよび35°Cの恒温室内に置き、暗黒条件下で発病させた。

(5) 試験区

温度については、25°C、30°Cおよび35°Cの3区を設けた。1区当たり葉柄5本を用い、2反復とした。

(6) 調査事項

接種3日、5日、7日および10日後に、接種面に形成された黒褐色の病斑の長さを調べた。

2) 結果および考察

抵抗性の劣る‘女峰’では、接種5日後に、25°C、30°C区において、全ての葉柄で発病が確認された。しかし、最も高温である35°C区では発病が遅れ、接種7日後に発病率100%となった。一方、抵抗性の強い‘Dover’は、比較的穏やかな発病率の伸びを示し、25°C区では7日後に、30°C区および35°C区では10日後に、発病率が100%となった。25°C区において、比較的早い時期から、抵抗性の異なる両品種において、病斑長に大きな差が認められた。しかし、30°C区では、両品種の病斑長に差は認められなかった。35°C区では、接種7日後までは病斑の拡大が緩慢であり、病斑長に品種間差は認められなかったが、その後、急激に病斑が拡大し、接種10日後には品種間の差が大きくなった。

以上の結果から、分離葉柄を用いて炭そ病抵抗性の選抜を行うためには、比較的早い時期から、抵抗性の強弱を正確に表すことが可能である25°Cの温度条件で発病させることが適切と思われる。

c 葉柄の接種位置による病斑の大きさの違い

前試験までの分離葉柄浸漬接種法に用いた検定材料は、一本の葉柄を複数に切り分け、葉柄の先端部（上位分離

葉柄切片）と基部（下位分離葉柄切片）とを同様に切り扱った。しかし、分離葉柄浸漬接種法では、葉柄の部位により発病に差が生じることが予想され、検定精度を低下させる可能性がある。そこで、本試験では、葉柄の部位により発病性に差があるかどうかについて検討した。

1) 材料および方法

(1) 供試材料

抵抗性の強い品種として‘Dover’、‘宝交早生’、抵抗性の弱い品種として‘女峰’、中程度の品種として‘とよのか’を用い、野菜・茶業試験場久留米支場の圃場で生育中の成苗から、上位第3葉の葉柄を切り取って試験に供した。

(2) 接種源孢子濃度

接種源については、本章1-aで述べた方法によって、 10^5 個/mlの濃度に調整した孢子懸濁液を用いた。

(3) 接種方法

1989年9月に、採取した葉柄から小葉身を切除し、葉柄を切り分けることなく、先端部（葉身切断部側）と基部（冠部側）の両端を、孢子懸濁液に浸漬することにより接種した。

(4) 発病環境

発病環境については、本章1-aで述べたとおりである。各品種につき、1区当たり葉柄10本を用いた。

(5) 調査事項

接種3日、5日および7日後に、接種面に形成された黒褐色の病斑の長さを調査した。

2) 結果および考察

イチゴの分離葉柄に対する、接種部位による病斑の大きさの違いを、表-13に示した。接種3日後から病斑の大きさに品種間差が認められ、葉柄の先端部、基部ともに有意な品種間差が認められた。全ての調査日において、葉柄基部に現れた病斑長には、抵抗性の弱い‘女峰’と抵抗性の強い‘宝交早生’との間に有意差が認められなくなっているが、先端部に接種した場合の病斑長には、品種の抵抗性の強弱による差が明確に表れていた。したがって、分離葉柄を用いた抵抗性の選抜には、葉柄の先端部（葉身切断部側）に孢子懸濁液を接種することにより、抵抗性の強弱が明確に表され、検定の精度を高めることが可能であると考えられる。

d 葉齢による病斑の大きさの違い

葉齢による病斑の大きさの差を明らかにし、分離葉柄浸漬接種法に用いる検体として利用することが可能な葉

齢について検討した。

1) 材料および方法

(1) 供試材料

抵抗性の強い品種として‘Dover’、‘宝交早生’、‘弱い品種として‘女峰’、‘芳玉’を用い、野菜・茶業試験場久留米支場の圃場で生育中の成苗より、最新展開葉（上位第1葉）、展開葉から数えて2枚目の葉（上位第2葉）および5枚目の葉（上位第5葉）の葉柄を採取して試験に供した。

(2) 接種源孢子濃度

接種源については、本章1で述べた方法によって、 10^5 個/mlの濃度に調整した孢子懸濁液を用いた。

(3) 接種方法

1990年5月30日に、分離葉柄の基部（下部）を、パラフィンでふさいで乾燥を防ぎ、葉柄の先端部（葉身切

断部側）を孢子懸濁液に浸漬することにより接種した。

(4) 発病環境

発病環境については、本章1-aで述べたとおりである。

(5) 試験区

上位第1葉、上位第2葉および上位第5葉の分離葉柄を用いて葉齢の異なる3区を設定し、1区当たり葉柄5本を用い、2反復とした。

(6) 調査事項

接種9日後に、接種面から拡大する、黒褐色の病斑の長さを調べた。

2) 結果および考察

葉齢の異なる葉柄間の病斑長の差を表-14に示した。‘Dover’、‘女峰’では、若い葉柄の病斑が長く、古い葉柄ほど短くなる傾向が認められたが、病斑長に葉齢間の有意な差は認められなかった。‘宝交早生’では、葉齢

表-13 イチゴ各品種の分離葉柄接種法における接種部位による病斑長の差^a

品 種	病斑長 (mm)					
	3日後 ^y		5日後 ^y		7日後 ^y	
	先端部接種	基部接種	先端部接種	基部接種	先端部接種	基部接種
Dover	0.9	0.8	0.9	1.2	3.2	2.3
宝交早生	0.9	2.5	2.8	4.5	5.7	9.5
とよのか	2.7	3.5	9.8	8.3	22.9	15.4
女峰	3.3	3.4	7.6	6.5	15.5	11.3
平均	1.95	2.55	5.28	5.13	11.83	9.63
L.S.D (5%)	1.32	1.54	2.27	2.67	5.78	6.43
L.S.D (1%)	1.77	2.06	3.65	3.58	7.76	8.62

z 1区葉柄10本をもちい、1反復とした

10^5 個/mlの孢子懸濁液を接種した後、25°C条件下で発病させた

y 接種後日数を表す

表-14 イチゴ各品種における分離葉柄浸漬接種に用いる葉柄の齢と病斑の長さとの関連^a

品 種	齢の異なる葉に由来する葉柄に発現した病斑の長さ (mm)				L.S.D(5%)	L.S.D(1%)
	上位第1葉 ^y	上位第2葉 ^x	上位第5葉 ^w	平均		
Dover	6.0	3.6	2.0	3.89	n.s. ^v	n.s. ^v
宝交早生	21.2	24.4	17.2	20.93	n.s. ^v	n.s. ^v
女峰	33.4	31.0	30.4	31.60	n.s. ^v	n.s. ^v
芳玉	60.2	69.0	115.4	81.53	31.2	43.8
平均	30.20	32.00	41.25			
L.S.D(5%)	17.4	12.3	26.2			
L.S.D(1%)	24.0	16.9	36.2			

z 1区葉柄5本を用い、2反復とした

z 10^5 個/mlの炭そ病孢子懸濁液を接種した後、25°Cで発病させた

y 最新の完全展開葉

x 最新展開葉から2番目の展開葉

w 最新展開葉から5番目の展開葉

v 有意差なし

間に一定の傾向は認められなかった。したがって、これらの品種では、異なる葉齢の葉柄を混在させて用いても、問題はないことがわかった。しかし、‘芳玉’では、葉齢が若いほど病斑が短くなる傾向が認められ、有意な葉齢間の差が認められた。つぎに、各葉齢における、病斑長の品種間の差についてみると、上位第1葉、上位第2葉および上位第5葉の全ての葉齢において、有意な品種間差が認められ、抵抗性の強弱とよく一致した。

これらの結果から、抵抗性の検定には、葉柄を採取するときの葉齢を問わずに利用可能であるが、葉齢により発病程度に差の認められる場合もあるため、抵抗性の品種間比較のためには、供試葉柄の齢をそろえる必要があると考えられる。しかし、最新展開葉（上位第1葉）や上位第2葉を、分離葉柄浸漬接種に用いた場合、葉柄を採取したイチゴ株は、生育が大きく遅延することになり、その後の生育特性や果実特性の調査に支障をきたすことになる。通常、イチゴの育苗期間中は、老化した下葉を常時摘除し、展開葉が3~4枚になるように管理する。したがって、検定株に感染・発病などの損傷を与えることなく、引き続き、他の試験に用いることのできる、分離葉柄浸漬接種による選抜方法の利点を生かすためには、通常の育苗管理において、摘除された上位第4葉から葉柄を採取して用いることが望ましいと思われる。

e 分離葉柄浸漬接種法と植物体噴霧接種法との比較

これまでの試験により、植物体から切り離れた、同じ葉齢（上位第4葉）の分離葉柄を用い、葉柄先端部に炭そ病菌孢子懸濁液（ 10^5 個/ml）を接種し、25℃の恒温室内で発病させ、7~9日後に病斑の大きさを測定して比較することによって、抵抗性系統の選抜を行う方法が確立された。ここでは、この方法と、現在まで、抵抗性の検定方法として、一般に広く利用されている、植物体の全面に噴霧する接種法との比較を行い、その利用の可能性について検討した。

1) 材料および方法

(1) 供試材料

野菜・茶業試験場久留米支場の圃場において、栽培保存している品種から、‘Dover’、‘83118-41’、‘Sequoia’、‘宝交早生’、‘紅福’、‘Apollo’、‘とよのか’、‘Douglas’、‘女峰’、‘芳玉’、‘The sun’、‘Marie France’を選び、また、野生種から、*F. virginiana* および *F. chiloensis* を選定し、以上の全14品種・系統の各10株を、黒色ポリポット（12cm）で育苗した。分離葉柄浸漬接種には、

育苗中の成苗から、上位第4葉を採取して用いた。植物体全面噴霧接種試験には、上位第4葉を採取した後の成苗（展葉数3枚）を用いた。

(2) 接種源孢子濃度

本章1-aで述べた方法によって得られた孢子を、分離葉柄浸漬接種には濃度 10^5 個/mlに、植物体全面噴霧接種には 10^6 個/mlに調整した孢子懸濁液を接種源として用いた。

(3) 接種方法

分離葉柄浸漬接種試験は次のように行った。1991年8月2日に、採取した上位第4葉から小葉身を切除した葉柄の基部（冠部側）をパラフィンでふさいで乾燥を防止した後、葉柄の先端部（葉身切断部側）を孢子懸濁液に浸漬することにより接種した。また、植物体全面噴霧接種試験は、上位第4葉を採取した苗に、ハンドスプレーを用いて、孢子懸濁液を真上から、植物体全面が濡れる程度（1株当たり5~10ml）に噴霧することにより接種した。

(4) 発病環境

浸漬接種した分離葉柄は、保湿のために湿った濾紙を敷いた容器内に並べ、密閉した後に、25℃の恒温室内（12時間日長）に置いて発病させた。各品種とも葉柄5本を用い、2反復とした。

噴霧接種した株は、二重寒冷紗で遮光したビニルハウス内に設置したトンネル内に移し、25~30℃の条件下で発病させた。接種後3日間は、加湿器を用いて湿度を90~100%に保った。各品種とも5株を用い、2反復とした。

(5) 調査事項

分離葉柄浸漬接種法では、接種7日後に、接種面において拡大する黒褐色の病斑の長さを調査した。植物体全面噴霧接種法では、接種3週間後に枯死株率を調査した。ついで、分離葉柄浸漬接種法における病斑長と植物体全面噴霧接種法における枯死株率との相関について調査した。

2) 結果および考察

表-15に、イチゴ各品種・系統における、分離葉柄浸漬接種法による7日後の病斑長と、植物体全面噴霧接種法による3週間後の枯死株率を示した。分離葉柄浸漬接種法における病斑の長さは、炭そ病抵抗性の強い品種・系統である‘Dover’、‘83118-41’では短く、通常の栽培条件下で被害の大きい‘とよのか’、‘芳玉’では比較的長かった。しかし、抵抗性が強い品種とされている‘紅福’、‘Sequoia’と、抵抗性が弱いとされている‘女峰’、‘Douglas’との間の病斑長の差が明確ではなかった。ま

た、現在の栽培品種の原種である、*F. chiloensis* および *F. virginiana* では、病斑が極めて長かった。一方、植物体全面噴霧接種法における枯死株率は、全体的に低く、抵抗性の非常に弱い‘芳玉’では37.5%で、産地において被害が多発している‘女峰’では25%に過ぎなかった。しかし、栽培品種の原種である、*F. chiloensis* および *F. virginiana* の枯死株率は、非常に高く、それぞれ62.5%および75%であった。植物体全面噴霧接種法により、枯死株の発生しなかった‘Dover’、‘The sun’、‘Marie France’における、分離葉柄浸漬接種法での病斑の長さは、14mm以下であり短かったのに対し、同じ方法で大きな病斑を示した*F. virginiana*、‘Apollo’および*F. chiloensis*では、高い枯死株率を示した。分離葉柄浸漬接種法による病斑の長さ、植物体全面噴霧接種法による枯死株率との間には、1%水準で有意な相関($r=0.706^{**}$)が認められた。したがって、分離葉柄浸漬接種法による病斑の長さを調べることにより、枯死株率を推定することが可能であると考えられる。しかし、分離葉柄浸漬接種法における病斑の長さ15~20mmの範囲内には、抵抗性が強いとされている品種と、弱いとされている品種とが混在しており、その区別が困難であった。したがって、分離葉柄を用いた方法は、各イチゴ品種の抵抗性を評価する目的には、不向きであると考えられ、抵抗性の極めて強い品種のみを選抜する、もしくは抵抗性の弱い品種を排除するという、抵抗性品種の育成試験

における選抜法として利用するのに適していると考えられる。

以上のように、本節で行った試験により、図-3に示したように、植物体から切り離れた分離葉柄に、炭そ病原菌を接種し、病斑の長さを比較することによって、イチゴ炭そ病抵抗性系統を選抜する方法が確立された。

2 炭そ病高度抵抗性系統‘久留米素材1号’および‘久留米素材2号’の育成経過とその特性

現在、炭そ病に対する抵抗性の最も強い品種であると考えられる‘Dover’は、日本での促成栽培には適さず、果実品質も劣ることから、促成栽培適性が高く、抵抗性の強い品種の育成が望まれている。そこで、前節までの試験結果を利用し、抵抗性の非常に強い品種・系統同士を交雑し、分離葉柄浸漬接種などの方法を用いて選抜した結果、既存の品種・系統の中では、最も抵抗性が強く、促成栽培可能な系統、‘久留米素材1号’および‘久留米素材2号’が育成されたので、これらの系統について、形態的特性および果実形質について調査した。

1) 育成経過

1990年に、イチゴ炭そ病に対し強い抵抗性を示す育成系統‘83118-41’(‘Florida 693’×‘ひのみね’)と、抵抗性品種である‘Dover’との正逆交雑を行い、両組合せ各100個体を連結ポットで育苗した。炭そ病菌の胞子

表-15 分離葉柄浸漬接種法による病斑長と植物体全面噴霧接種法による枯死株率との関係

品 種	分離葉柄浸漬接種法 による病斑長 ^z (mm)	植物体全面噴霧接種法 による枯死株率 ^y (%)
83118-41	1.6	37.5
The sun	8.4	0.0
Dover	9.9	0.0
宝交早生	12.2	25.0
Marie France	14.0	0.0
女峰	15.4	25.0
Douglas	16.0	37.5
紅福	16.3	50.0
Sequoia	19.4	25.0
とよのか	23.8	12.5
芳玉	27.0	37.5
<i>F. virginiana</i>	29.4	62.5
apollo	34.9	62.5
<i>F. chiloensis</i>	55.8	75.0
L.S.D (5%)	12.3	—

z 分離葉柄の上部切断面に炭そ病菌胞子懸濁液(10^5 個/ml)を接種し、7日後に調査した

y 植物体の全面に炭そ病菌胞子懸濁液(10^6 個/ml)を噴霧接種し、3週間後に調査した

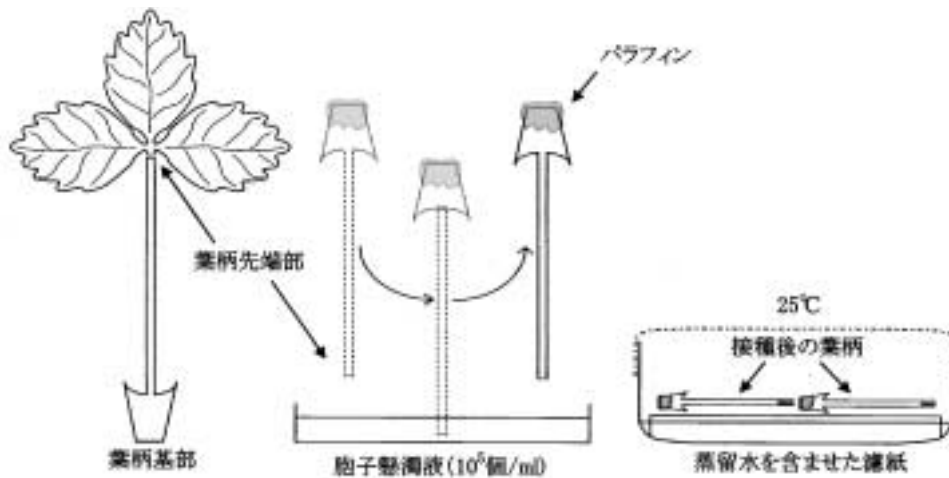


図-3 分離葉柄浸漬接種法の手順

- 1 各イチゴ検定系統から同じ葉齢（上位第4葉）の葉を採取
- 2 葉身を切除した後、葉柄基部をパラフィンでふさぐ
- 3 分離葉柄の先端部を炭そ病菌孢子懸濁液（ 10^5 個/ml）に浸漬して接種
- 4 接種後の分離葉柄を、湿度を保った密閉容器内に入れ、25℃恒温器内で発病させる
- 5 接種7～9日後に、病斑長を調査

懸濁液（菌株 cf:5-2, 孢子濃度 10^6 個/ml）を植物体の全面に噴霧接種した後、高温多湿条件で発病させた。草勢が強く、無病斑であった健全苗を選抜し、1991年に促成栽培条件下で、果実の外観に優れる系統を選抜した。1992年に系統選抜予備試験（1区4株の無反復とし、促成栽培条件下で商品果の果実形質のみを調査）を行い、果実形質の優れる4系統（‘Dover’×‘83118-41’）の組合せから3系統、‘83118-41’×‘Dover’の組合せから1系統）を選抜した。1993年に系統選抜試験（1区10株の無反復とし、促成栽培条件下で全果実の形質および1994年3月までの収量を調査）を行ったところ、果実品質が、既存の促成栽培用品種よりも劣ったため、栽培品種としては不適であったが、1994年に植物体全面噴霧接種法および分離葉柄浸漬接種法により、イチゴ炭そ病に対する抵抗性を判定したところ、‘D8-4’（‘Dover’×‘83118-41’）および‘8D-2’（‘83118-41’×‘Dover’）が、‘宝交早生’と同程度以上の抵抗性を示した。そこで、1995年～1997年に、実用形質について調査し、また、抵抗性の劣る品種との間の交雑後代における抵抗性発現について検討した結果、育種素材として有望と判断されたため、‘D8-4’を‘久留米素材1号’、‘8D-2’を‘久留米素材2号’と命名した。

2) 特性の概要

(1) 形態および果実特性

‘久留米素材1号’の着果時の草姿を図-4に、‘久留

米素材2号’の着果時の草姿を図-5に示した。植物体は、両系統ともやや開張型であり、草丈は‘とよのか’程度であった。‘久留米素材1号’は、葉身は小さいが葉数が多く、‘久留米素材2号’は、葉身がやや細長い形状であった。両系統とも、花房長はやや短く、花房当たりの花数は多くないが、分枝がやや多いため、花房数が増え、果数はやや多かった。表-16に、久留米素材系統の収量および果実特性を示した。‘久留米素材1号’は、収穫開始日が最も遅く、2月までの早期収量は少なかったが、3月までの全期収量は‘とよのか’並であった。初期の果実は大いだが、後期には小玉化するため、商品果の平均一果重は小さかった。うどんこ病の発生が激しい条件下での栽培であり、うどんこ病に弱い‘とよのか’では、病果率が92.8%であったが、‘久留米素材1号’は25.6%であり、病果の発生が少なかった。‘久留米素材1号’の糖度は低く、酸度は‘女峰’並でやや高いが、果実は非常に硬かった。‘久留米素材1号’の果皮色は、明度が高く、明るい鮮赤色で、光沢が優れていた。果房型は、分枝の少ない直枝型に近い中間型で、果梗はやや細く、果形は短円錐形である。‘久留米素材2号’の収穫開始日は、‘さちのか’と同程度であるが、早期収量は‘とよのか’の約70%であり、全期収量も‘とよのか’の85.6%とやや低収であった。初期の果実は非常に大きいですが、後期には小型化するため、商品果の平均果重は小さかった。‘久留米素材2号’のうどんこ病による病果率も、33.7%と低かった。糖度は低いが、酸

度は‘とよのか’と同程度で、果実硬度は高かった。果皮色は鮮赤色であるが、やや明度が低く、種子着生部の窪みが深く、光沢が劣っていた。花房型は中間型で、果形は円錐形であった。

(2) 病害抵抗性

①イチゴ炭そ病に対する久留米素材系統の抵抗性について、植物体全面噴霧接種により検定した結果を表-17に示した。両系統とも、孢子懸濁液を噴霧接種すること

により、約3日後から葉身に病斑が現れたが、全て微小病斑であり、直径1mm以上の拡大型病斑になることはなかった。また、新しい展開葉には病徴が認めなかった。抵抗性の評価に重要な事項である葉柄の病斑は、ほとんど発現しなかった。したがって、接種5週間後には、新葉が3枚以上展開するため、外見上は健全株と区別がつかなくなった。‘久留米素材1号’は、やや枯死株が発生するものの、抵抗性の強い品種である‘宝交早生’と



図-4 イチゴ炭そ病高度抵抗性系統
‘久留米素材1号’の草姿
1998年1月下旬の状態



図-5 イチゴ炭そ病高度抵抗性系統
‘久留米素材2号’の草姿
1998年1月下旬の状態

表-16 イチゴ久留米素材系統の収量および果実特性^z

品種・系統名	収穫開始日	早期 ^y		全期 ^x		商品果		果実品質				
		収量 (kg/a)	標準比 ^w (%)	収量 (kg/a)	標準比 ^w (%)	一果重 (g)	病果率 (%)	糖度 ^v (Brix)	酸度 ^u (g/100g)	硬度 ^t (g/3mmφ)	明度 ^s	果形 ^r 指数
久留米素材1号	1月16日	46.3	40.3	241.0	105.9	10.2	25.6	7.1	0.55	232.0	34.0	1.15
久留米素材2号	1月9日	78.9	68.7	194.9	85.6	11.8	33.7	7.6	0.49	217.0	30.5	1.29
とよのか	1月2日	114.8	100.0	227.6	100.0	20.7	92.8	10.3	0.49	177.0	32.2	1.31
女峰	1月12日	62.9	54.8	120.5	53.0	15.3	66.3	10.5	0.56	179.0	30.7	1.45
さちのか	1月10日	121.6	105.9	264.5	116.2	15.5	83.3	10.0	0.50	229.0	30.8	1.28
ひのみね	1月5日	134.2	116.9	330.9	145.4	17.3	61.3	9.7	0.42	163.0	31.4	1.33

^z 1997年7月4日採苗(地床育苗)、9月26日定植(畦巾110cm, 株間23cm, 2条植, 栽植密度7900株/10a, 1区10株の2反復)の促成栽培(ビニール重被覆, 加温無電照)を行い、1998年3月まで調査した

^y 収穫開始から2月末まで

^x 収穫開始から3月末まで

^w ‘とよのか’(標準品種)を100とした場合の割合

^v 果実の赤道部を圧搾し、得られた果汁の糖度をアタゴ製デジタル糖度計DBX55にて測定した

^u 果実の赤道部を圧搾し、得られた果汁の酸度を富士平工業製酸度計アシライザー6にて測定した

^t 直径3mmの円盤状プランジャーを装着したアイコー製プッシュプルゲージ(タイプ1)にて測定した

^s ミノルタ製色測色差計CR200にて果実の赤道面を測定したL*値

^r 果形指数=果実高/果実幅

同程度の枯死株率であり、‘久留米素材 2 号’は、枯死株が全く発生しなかった。これらのことから、炭そ病に対して、‘久留米素材 1 号’は、‘宝交早生’と同程度の抵抗性があり、‘久留米素材 2 号’は、抵抗性の最も優れる‘Dover’と同程度の抵抗性をもっていると考えられる。

②萎黄病に対する久留米素材系統の抵抗性について、汚染圃場に定植することによって検定した結果を表-18 に示した。両系統とも、萎黄病の発生が遅く、発病程度は、抵抗性の強い品種である‘はつくに’が 0.3、抵抗性の弱い品種である‘宝交早生’が 1.39 であるのに対し、久留米素材系統は 0.8 未満であり、やや低かった。枯死株率についてみると、全体的に低く、抵抗性の劣る‘宝交早生’においても、11.1%の株が枯死したのみであり、品種間の差が小さかったが、‘久留米素材 2 号’では枯死株の発生は全く認められず、また、‘久留米素材 1 号’の枯死株率はわずかに 5.6%と、抵抗性の強い品種である‘はつくに’と同率であった。以上のことから、久留米素材系統の萎黄病抵抗性は、中程度以上であると考えられる。

③うどんこ病に対する抵抗性の検定は行っていないが、栽培期間中の葉身、葉柄および花（果）梗などの、植物体上での発生は少なく、表-16 に示したように、病果の発生率も非常に低いことから、各系統とも、抵抗性は高いものと推測される。

以上のことから、‘久留米素材 1 号’、‘久留米素材 2 号’は、イチゴ炭そ病に対して強い抵抗性をもっているほか、萎黄病、うどんこ病などの主要病害についても、実用上十分な水準の抵抗性をもっている複合抵抗性系統であると考えられる。

3 考察

海外では、萎凋症状、葉枯れ症状および果実腐敗症状などの、異なる病徴を引き起こす炭そ病が知られており、*Colletotrichum fragariae*, *C. gloeosporioides*, *C. acutatum* Simmonds, *C. dematium* (Pers. Ex Fr.) Grove などの、*Colletotrichum* 属の複数の病原菌が確認されている (BERAHA・WRIGHT, 1973)。日本では、イチゴのみに病原性がある、不完全菌の *C. fragariae* によるイチゴ炭そ病として、山本 (1971) が初めて報告しており、同菌が、日本における炭そ病菌の優占種であると考えられていた。しかし、岡山 (1988)、石川ら (1989) により、日本で採取された *C. fragariae* において、その完全世代が確認されたことにより、完全時代を *Glomerella cingulata* (Stoneman) Spaulding et Schenk, 不完全時代を *C. gloeosporioides* と同定され、*C. fragariae* はその異名であるとされた。しかし、HOWARD・ALBREGTS (1983)

表-18 萎黄病に対するイチゴ久留米素材系統の抵抗性検定^z

品種・系統名	発病度 ^y	枯死株率 (%)
久留米素材 1 号	0.75	5.6
久留米素材 2 号	0.78	0.0
とよのか	0.61	0.0
さちのか	1.11	16.7
宝交早生	1.39	11.1
はつくに	0.30	5.6

z 1997 年 7 月に萎黄病汚染圃場に定植し、9 週間後に調査した

y 0.0：無発病
0.5：小葉 1~2 枚が奇形
1.0：小葉 3 枚以上が奇形
2.0：病徴著しく枯れ始め
4.0：枯死

表-17 炭そ病に対するイチゴ久留米素材系統の抵抗性検定^z

品種・系統名	1994年 ^y		1997年 ^x		1998年 ^w	
	葉柄 ^v 発病度	枯死株率 (%)	葉柄 ^v 発病度	枯死株率 (%)	葉柄 ^v 発病度	枯死株率 (%)
久留米素材 1 号	0.0	5.0	0.0	10.0	0.5	10.6
久留米素材 2 号	0.1	0.0	0.8	0.0	0.4	0.0
とよのか	3.0	20.0	0.9	20.0	2.3	21.7
女峰	4.0	60.0	1.4	50.0	1.5	31.1
さちのか	4.0	80.0	1.0	20.0	1.4	15.0
宝交早生	0.8	10.0	—	—	1.3	10.0
Dover	—	—	1.9	55.6	0.8	0.0

z 1 区 5 株 2 反復を基本とし、炭そ病菌胞子懸濁液 (10⁶ 個/ml) を植物体全面に噴霧することによって行った。

y 葉柄発病度は接種 2 週間後、枯死株率は 5 週間後に調査。

x 葉柄発病度は接種 12 日後、枯死株率は 26 日後に調査。

w 葉柄発病度は接種 2 週間後、枯死株率は 5 週間後に調査。

v 葉柄発病度 0：無病斑、1：微小病斑、2：微小病斑多数、3：拡大型病斑、4：葉柄折損

は、*C. gloeosporioides* (= *G. cingulata*) は、培地上で子嚢殻を容易に形成するが、*C. fragariae* は形成しないこと、また、分生孢子堆の色、病徴に差のあることなどから、*C. gloeosporioides* と *C. fragariae* とは、異なる菌であるとしている。さらに、*Colletotrichum* 属の菌や *G. cingulata* には、その形態やイチゴに対する病原性に、幅広い変異をもつことが報告されている (HOWARD・ALBREGTS, 1984; MASS・HOWARD, 1985; SMITH・BLACK, 1990)。日本においても、イチゴ炭そ病菌は、広範囲の植物に対して病原性を示すという報告もある (岡山, 1994)。

イチゴ炭そ病菌 (*Colletotrichum* 属) は、葉身、葉柄、ランナーなどのほかに、果実にも感染し、これによる果実腐敗は、アメリカや欧州において大きな問題となっている (BERAHA・WRIGHT, 1973; ELLIS・BULGER, 1985; HOWARD・ALBREGTS, 1972; WILSONら, 1990)。日本においては、炭そ病に起因する病徴として、葉身、葉柄、ランナーなどでの病斑の発現と萎凋症状が確認されているが、深刻な被害をもたらすのは、主として萎凋症状である。しかし、九州で *C. acutatum* による葉枯れ症状の発生が確認されている (築尾ら, 1992) ことから、欧米と同様に、*C. acutatum* による葉枯れおよび果実腐敗の被害が拡大する可能性がある。イチゴ炭そ病による被害軽減のためには、新しい薬剤の開発、病原菌の生態、感染経路などの解明およびイチゴ植物体における抵抗性の発現機作の探索などの研究が必要であり、また、これらの研究の推進は、耐病性育種にも、大きく貢献するものと考えられる。

日本におけるイチゴの品種改良において、病害抵抗性は古くからその重要性が認識されていたが、食味、外観などの果実品質を重視して選抜が行われてきており、計画的な病害抵抗性を目標とする品種改良は、奈良県における萎黄病抵抗性品種‘はつくに’の育成にみられる程度である (内藤, 1985)。省力および安全性の観点から、病害抵抗性の向上を目標とする品種改良に対しては、要望がさらに高まってきており、イチゴ品種育成に当たっては、多くの場合、耐病性を目標の一つに掲げている。しかし、育成試験中の自然発病による選抜によるところが大きく、計画的な耐病性品種の作出は遅れている。現在では耐病性品種の育成に関する研究が積極的に行われるようになってきており、この場合、効率的な耐病性の選抜方法が必要となる。植物体の全面に、イチゴ炭そ病菌の孢子懸濁液を噴霧して接種することにより、既存品種の抵抗性検定や抵抗性系統の選抜が可能である

(DELP・MILHOLLAND, 1980, 1981; SMITH・SPIERS, 1982; SMITH・BLACK, 1987; HOWARD・ALBREGTS, 1983; 池田, 1987; 岡山, 1989) が、この噴霧接種法では、環境制御が可能で、広大な検定用隔離ハウスを必要とすることになる。このような状況から、イチゴ圃場から隔離され、かつ、小面積で、多数の系統を扱うことができる選抜方法の確立が望まれているので、本章では、そのような簡便な選抜方法の確立を試みた。

イチゴ炭そ病抵抗性の発現機作についての報告はほとんどないが、MILHOLLAND (1982) は、抵抗性品種においては、細胞壁の肥厚とペクチン様物質の集積が起こり、炭そ病菌の菌糸は、感染部位の表皮と、1~2層の柔組織との間に閉じこめられ、その後、2~3層の柔組織には進入するが、感染14日後までには菌糸の伸長は停止すると報告している。また、DELP・MILHOLLAND (1980) は、植物体全面に対する、炭そ病菌孢子懸濁液の噴霧接種後に、病斑の数ではなく、葉柄に発生する病斑の伸展度合いを表す発病指数 (0: 無病斑, 1: 3mm以下の微小病斑, 2: 3~10mmの病斑, 3: 10~20mmの病斑, 4: 葉柄の枯死, 5: 株の枯死) によって、イチゴ各品種の抵抗性を分類できるとしている。つまり、炭そ病に対するイチゴ植物体の抵抗性は、感染阻止作用よりも、進入した病原菌の働きを抑制する機構に起因するところが大きいと考えられる。したがって、植物体から切り離れた葉柄の切断面に病原菌を接種し、感染後の菌糸の伸長程度 (病斑長) を調査することにより、抵抗性の選抜が可能であると考えられ、本章1における、5種類の試験結果から、分離葉柄の切断面に炭そ病孢子懸濁液 (10^5 個/ml) に浸漬して接種し、25℃条件下で発病させ、接種7日後に病斑の長さを測定することによって、抵抗性系統を選抜する方法、すなわち分離葉柄浸漬接種法 (図-3) が確立された。

分離葉柄浸漬接種法においては、発病温度が非常に重要な要素である。本章1-bの結果にみられるように、例えば、30℃のような、炭そ病菌の発育に適した温度条件下では、抵抗性品種においても、大きな病斑を示すことがわかった。SMITH・BLACK (1987) は、高温条件がイチゴ品種の抵抗性を弱めると報告しており、本章1-bにおいても、30℃の条件下では、抵抗性の強い品種である‘Dover’と、抵抗性の弱い‘女峰’との間の病斑の大きさの差は、25℃条件におけるそれよりも小さくなっていた。一方、本研究において最も高温である35℃条件では、病斑の発現が遅れた。30℃を越える高温条件下では、スライドグラス上での孢子発芽、付着器形成、セ

ルロース膜への菌糸の進入などが遅れることを、予備試験により明らかにしている（資料未掲載）。したがって、この温度（35℃）は、イチゴ炭そ病菌の発芽および葉柄組織への侵入に対しては、高すぎると考えられる。また、本章1-bでは、葉柄に炭そ病菌接種後、暗黒条件下で発病させているが、その他の試験では明条件下で発病させている。分離葉柄浸漬接種法における発病時の光条件は、病斑の拡大に統計的に有意な影響を与えず、明条件、暗条件ともに、抵抗性の差を判定できることを、予備試験により明らかにしている（資料未掲載）。しかし、明条件下での発病では、病斑の伸展が大きく、より低い危険率で品種間に有意差が認められることから、分離葉柄浸漬接種法の発病環境としては、明条件のほうが適していると考えられる。

分離葉柄浸漬接種法では、イチゴ植物体から切り離れた葉柄の切断面（傷口）に、病原菌を感染させるため、草型や、表皮構造など、多様な要因が関与していると考えられるいわゆる“圃場抵抗性”を評価することは不可能である。このような、分離葉柄浸漬接種法によって評価した抵抗性と、圃場抵抗性との相違は、本章1-eの‘とよのか’に認められている。例えば、‘とよのか’では、実際の栽培において、‘女峰’よりも炭そ病の被害が少ないことから、中程度の抵抗性と評価されており、本章1-eにおける植物体全面噴霧接種法による枯死株率についても、‘女峰’よりも低かった。しかし、分離葉柄浸漬接種法による病斑の大きさは、‘女峰’（15.4 mm）よりも‘とよのか’（23.8 mm）で長くなった。‘とよのか’のように中程度の抵抗性をもつと考えられる品種では、草型や表皮構造などに、炭そ病菌の胞子が付着しにくい、もしくは侵入しにくい要因、すなわち、感染を阻止する機構をもっており、‘女峰’では、この感染を阻止する能力が劣るものと考えられる。分離葉柄接種法では、この機構を経由せずに、切断面から直接的に感染させるため、植物体全面噴霧接種法による耐病性検定の結果との間に差が生じたものと考えられる。また、同じ試験に用いた、‘83118-41’では分離葉柄浸漬接種法による病斑長が最も短い（1.6 mm）にも関わらず、枯死株率は37.5%と比較的高かった。‘83118-41’は、植物体全面噴霧接種法によると、枯死株率が低く、他の抵抗性の強い品種と比較して、特に、葉身および葉柄の病徴が非常に軽微であることから、‘宝交早生’以上の抵抗性をもっているものとして選ばれた系統である。このことから、葉柄における病斑の伸展を抑制する機作と、冠部（茎）における抵抗性機作とは異なっているものと予想

される。分離葉柄浸漬接種法では、植物体から葉柄のみを採取し、傷口に菌を接種するため、いわゆる圃場抵抗性や菌の侵入に対する抵抗性などは検定できず、炭そ病に非常に強い品種・系統を選抜するのに適した検定法であるといえる。したがって、品種・系統のもつ炭そ病抵抗性を評価したり、同一品種内または高感受性品種間の抵抗性を比較したりするには不適切である点に注意が必要である。

一般的に用いられている、生育中の植物体に対する病原菌の噴霧接種による検定法と比較した場合における、分離葉柄浸漬接種法の利点としては、①隔離ハウスを必要としない、②多数の品種・系統を、同時に小面積で扱うことができる、③環境要因に左右されない、④検定株に直接感染させないため、使用後の株はそのまま他の形質による選抜試験に用いることができる、⑤使用後の株が保菌していないので炭そ病の発生源となりにくい、などがあげられ、優れた検定法であると判断される。

現在までのところ、イチゴ炭そ病に対して、免疫的な抵抗性をもつ品種は存在せず、抵抗性の強い品種から弱い品種まで、連続的に存在している（野口・望月，1991）。炭そ病抵抗性の遺伝には、見かけ上弱い側に上位性をもつ優性遺伝子が関与している可能性があるが、主として相加的遺伝子効果の高い、複数の遺伝子に支配されるとする報告がある（森，1999）。しかし、主働遺伝子の関与を示唆する報告（GUPTON・SMITH，1991）もあることから、イチゴ炭そ病に関する抵抗性を支配する遺伝子には、異なるタイプが存在する可能性がある。

一般に、栄養繁殖性作物であるイチゴの品種改良では、異なる有用形質を有する品種・系統の間、または欠点を補いあう品種・系統の間の交雑を行い、得られた実生集団から選抜した優良系統を、栄養体として維持・増殖しつつ、目標とする形質について集約していく場合が多い。すなわち、一度の交雑のみで品種として成立させることが可能であり、固定に長期間を要する種子繁殖性作物とは異なっている。しかし、母本として育成されていない品種または系統間の交雑では、目標とする複数以上の形質を併せもつ優良系統の出現は、非常に低い確率でしか起こり得ないので、実生の段階での試験規模の拡大が、優良品種育成には不可欠である。成川ら（1981）は劣悪形質を除去するために、自殖を行い、選抜した自殖系統を母本として利用する方法を提唱している。MORROWら（1952）は、イチゴにおける自殖の利用の意義は、一つあるいはそれ以上の形質について、それらに関する遺伝子の密度を高めることにあるとしている。イチゴ炭そ

病に対する抵抗性のように、相加的遺伝子効果が認められる場合には、自殖による劣悪形質に關与する遺伝子の除去とともに、抵抗性遺伝子の集積にも有効な手法であると思われる。しかし、MORROWら（1952）および森下（1994）は、イチゴでは、自殖によって、大幅に草勢や収量が低下するとしていることから、自殖を繰り返すのみでは、炭そ病抵抗性遺伝子を集積した優良系統の作出は不可能であると考えられる。そこで、本試験では、イチゴ炭そ病に対する抵抗性遺伝子を集積することを目標として、抵抗性の強い品種・系統間の交雑を繰り返すことにより、抵抗性をもつ母本としての能力の高い系統‘久留米素材1号’、‘久留米素材2号’の育成に成功した。しかし、この場合には、果実品質の劣る抵抗性品種・系統との交雑を繰り返したため、得られた久留米素材系統の果実品質も、実用栽培において利用できる水準には達していない。森（1999）は、自殖と選抜および自殖第1代での交雑を繰り返すことにより、炭そ病抵抗性遺伝子の集積と同時に、他の形質の劣化や自殖による草勢低下の回避が可能であるとしており、実際に、炭そ病に抵抗性をもち、果実品質の優れた実用品種‘サンチーゴ’の育成に成功している（森ら、2000）。

久留米素材系統は、イチゴ炭そ病のみならず、うどんこ病、萎黄病に対しても、実用水準の抵抗性をもっており、複合抵抗性を具備する極めて有用な素材である。現在、これらの素材系統は、すでに、九州沖縄農業研究センターを始め、複数以上のイチゴの品種改良試験地において利用されている。今後、栽培適性および果実品質が優れており、イチゴ炭そ病抵抗性のみならず、うどんこ病および萎黄病に対する抵抗性のある、複合抵抗性品種の育成に役立つものと思われる。

Ⅲ 特異的芳香を有する促成栽培適応型イチゴ品種の作出に利用できる素材系統の育成

栽培イチゴ (*Fragaria x ananassa* Duch.) は八倍性であり、2種の八倍性野生種 (*F. virginiana* および *F. chiloensis*) の自然交雑によってできたものであり、素材となった野生種が特定されていたと考えられる。したがって、栽培種内の遺伝的変異は小さいものと考えられるが、倍数性が高いことから、多様な品種が生み出され、世界各地域に適応してきた。しかし、さらに遺伝的変異を拡大し、有用な形質を栽培イチゴに導入するために、八倍性野生種との戻し交雑が行われている。日本お

よびアジア諸国には、栽培イチゴの親となった八倍性野生種は自生していないが、変異性の高い形質をもつ、二倍性および四倍性の野生種が存在している。そこで、遺伝的変異を拡大するためには、これらの近縁野生種がもつ、香気、耐病性、四季成り性など、有用な形質の積極的な導入が望まれている。

本章では、イチゴの新しい用途を開発するため、野生種のもっている香気特性を栽培品種に導入することを目的として、種間交雑を行い、新たな芳香をもつ促成栽培用品種を育成することの可能性について検討した。

1 特異的香気を有する二倍性野生種 *Fragaria nilgerrensis* と八倍性栽培種 *F. x ananassa* との交雑による五倍性種間雑種の作出

いろいろな野生種のうち、日本の気候に比較的類似している中国西南部に自生しており、モモ (*Prunus persica* Batsch) に類似した香気をもつ二倍性野生種である *F. nilgerrensis* と、西日本で主要促成栽培用品種である‘とよのか’との交雑を行い、野生種の芳香を栽培種に導入することを試みた。

1) 材料および方法

(1) 供試材料

野菜・茶業試験場久留米支場の圃場で露地栽培されている促成栽培用品種の‘とよのか’を母親、中華人民共和国雲南省より導入した二倍性野生種 *F. nilgerrensis* の‘雲南’を花粉親として用いた。

(2) 除雄および授粉の方法

1992年春に、‘とよのか’の開花1~2日前の蕾から萼、花弁および雄ずいを除去した。特に、雄ずいを除去する時には、葯を裂開させないように細心の注意をはらった。除雄後は、パラフィン紙の袋をかけることにより、花粉媒介昆虫による授粉を防止し、雌蕊の成熟を待った。授粉の前日に、開花直前の‘雲南’の蕾から採取した葯をシャーレ内に置き、室温で数時間~1日間、乾燥させ、自然に開葯してシャーレ内に飛散した花粉を交配に用いた。‘とよのか’の柱頭部（先端部が濃い黄色に変化）を、シャーレ内の花粉に接触させることによって受粉させ、再び袋を掛けた。

(3) 種子の発芽および栽培の方法

交配約1か月後に、肥大、成熟した果実の表面に着生している、充実した種子（イチゴの種子は、子房壁由来の果皮で覆われているため、植物学的にはそう果であるが、ここではそう果を種子と称する）をピンセットで採

取した。得られた種子を、1992年6月26日に、シャーレ内の湿った濾紙上に播き、幼根が出現した時点で、バークキュライトへ移植した。本葉が約3枚以上になった交雑実生苗を、10月2日に、直径12cmの黒色ポリポットへ移植し、ガラス室内で育苗した。1993年9月に本圃へ定植し、ビニール重被覆、無加温の条件で促成栽培を行った。施肥はN:P₂O₅:K₂O=1.0:0.8:1.0 (kg/a)とした。

(4) 調査事項

除雄した‘とよのか’の花に、‘雲南’の花粉を授粉した後、‘とよのか’の結実した花の数、果実当たり種子数および得られた種子の発芽率を調査した。結実した花の数については、充実した種子が一つでも着生した場合を結実として調べた。充実した種子と、未熟種子との判別にあたっては、果実から種子をピンセットで採取するとき、多少力を入れてもつぶれないものを充実種子とし、そうでないものを未熟種子とした。発芽調査では、濾紙上で、幼根が外観上確認できる程度に伸長した場合を発

芽とした。

本圃へ定植した種間交雑実生苗について、1994年5月6日に、展開した上位第3葉の、中心小葉の葉身長、葉身幅、葉柄長を調べ、出蕾、開花した交雑実生系統については花柄長を、ランナーを発生したものについてはランナーの数を調査した。

2) 結果および考察

交配した14花のうち、半数の7花が結実した。しかし、いずれの果実も未熟種子が多く、奇形果であった。充実した種子は、総計95粒（一果当たり平均13.6粒）であった。種子発芽率は比較的高く、60粒（63.2%）が発芽したが、発芽後（幼根発生後）に生育を停止する実生が多く、ポリポットに移植できた実生数は26であった。その後、枯死する苗が発生したため、形態を調査する時まで生存した苗数は19であった。表-19に、種間交雑実生の形態特性について示した。種間交雑実生には、TN5, TN6, TN7, TN17, TN19およびTN22のよう

表-19 イチゴの種間交雑（‘とよのか’×‘雲南’）における両親および交雑実生の形態的特性^a

種間交雑実生	上位第3葉の中心小葉の形態				葉柄長 (mm)	花房長 (mm)	ランナー数
	葉身長 (mm)	葉身幅 (mm)	推定葉面積 ^y (mm ²)	葉形指数 ^x			
とよのか ^w (母親)	102	77	5236	0.75	203	25.0	11
雲南 ^v (花粉親)	48	40	1280	0.83	139	—	18
TN 1	74	64	3157	0.86	290	36.6	7
TN 2	53	50	1767	0.94	168	20.8	0
TN 3	46	38	1165	0.83	115	14.2	0
TN 4	70	47	2193	0.67	187	15.2	3
TN 5	22	25	367	1.14	52	57.0	0
TN 6	22	16	235	0.73	41	—	0
TN 7	40	27	720	0.68	26	8.7	0
TN 8	48	47	1504	0.98	133	9.2	0
TN 9	71	59	2793	0.83	196	25.0	8
TN10	48	39	1248	0.81	75	10.5	0
TN11	45	41	1230	0.91	104	—	0
TN12	53	53	1873	1.00	139	10.1	7
TN13	78	81	4212	1.04	168	21.0	6
TN15	48	46	1472	0.96	75	7.2	0
TN17	28	27	504	0.96	42	—	0
TN18	73	67	3261	0.92	276	26.5	7
TN19	42	35	980	0.83	16	—	0
TN21	56	52	1941	0.93	23	11.5	0
TN22	29	24	464	0.83	50	—	0

z 1994年5月6日に調査した

y 推定葉面積=葉身長(mm)×葉身幅(mm)×2/3

x 葉形指数=葉身幅÷葉身長

w *Fragaria x ananassa*

v *F.nilgerrensis*

に、非常に小さな葉身を持ち、叢生するグループ（叢生型）と、植物体は栽培種より小さく、葉身の形態が両親の中間型であるグループ（中間型）とに区別できた。叢生型に属する6株のうち、3株が出蕾および開花したが、ランナーの発生は認められなかった。中間型では、TN11以外の系統において出蕾、開花がみられたが、全て不稔であった。

2 不稔性種間交雑系統の染色体倍加処理による結実性種間雑種系統の作出

八倍体である‘とよのか’と二倍体である‘雲南’との種間交雑実生は、五倍体であるために不稔であると考えられる。そこで、コルヒチンによる染色体倍加処理を行い、結実性のある種間交雑系統の作出を試みた。

1) 材料および方法

(1) 供試材料

前節で得られた不稔性種間交雑実生のうち、ランナー発生が旺盛であった2系統（‘TN1’および‘TN13’）を、コルヒチンによる染色体倍加処理に用いた。

また、倍加処理によって得られた系統の形態的特性の調査には、‘TN1’由来系統110株、‘TN13’由来系統153株、および対照として、交配親として用いた‘とよのか’および‘雲南’を供した。

(2) 染色体倍加方法

1993年10月7日に、ビニルハウス内で発生した‘TN1’および‘TN13’のランナーを採取し、コルヒチン100mg/l、ベンジルアデニン（BA）2.0mg/lおよび1-ナフタレン酢酸（NAA）0.02mg/lを含む、B5培地（ショ糖2%、ジェランガム0.2%添加）上で、茎頂培養を行った。約1か月後に、形成されたシュートを1本ずつ分割し、植物生長調節物質無添加のB5培地（ショ糖2%、ジェランガム0.2%添加）に移植して、植物体の形成を図った。

(3) 栽培の概要

1994年4月11日に、本葉5枚以上となった幼植物体を培養容器から出し、バーミキュライトに移植して、馴化させた。6月14日に、‘TN1’由来馴化系統110株、‘TN13’由来馴化系統153株を、直径12cmの黒色ポリポットに移植して、育苗した。9月13日に、本圃へ定植し、ビニル一重被覆、無加温条件の促成作型で栽培した。施肥はN:P₂O₅:K₂O=1.0:0.8:1.0 (kg/a)とした。

(4) 調査事項

開花した個体について、蒴の大きさ（長軸方向の長さ）、花床の大きさを調べた。さらに、結実した個体について

は、6g以上の商品果（病果、奇形果以外の果実）について、平均果重、硬度（直径3mmの円盤状の感圧棒を装着したアイコー製プッシュブルゲージタイプ1にて果実の赤道面の硬さを測定）、糖度（果実の赤道面を指で圧搾し、得られた果汁のBrixを、アタゴ製糖度計DBX55を用いて測定）、果皮色（ミノルタ製色測色差計CR200を用いて、果実の最も着色の良い面のL*値、a*値、b*値を測定）を調査した。

(5) PCRによる雑種性の検定

圃場で生育中の種間交雑系統（‘TN1’、‘TN13’）、およびこれらの系統のコルヒチン処理によって得られた系統、‘TN1-15’、‘TN13-113’、‘TN13-125’、さらに、交配親である‘とよのか’と‘雲南’の最新展開葉（約2g）から、全DNAを抽出し、PCRの鋳型として用いた。プライマーは、野菜・茶業試験場久留米支場栄養繁殖性野菜育種研究室にて、八倍性栽培種または*Fragaria*属（二倍性野生種を含む）において多型を示すとして選定された11種類のプライマー（オペロンのランダムプライマー3種および合成したプライマー8種）を用いた。

鋳型DNA5~20ng、dNTPs（Pharmacia, 2.5mm）0.8μ、プライマー（5pmol/μl）0.4μl、TaqDNAポリメラーゼ（Pharmacia）0.5unit、および反応緩衝液を含む10μlの反応液を用い、TSR-300（IWAKI製）によりPCRを行った。反応システムは、94℃で30秒間の前処理の後、94℃30秒間、38℃2分間、72℃3分間を、45サイクル繰り返した後、72℃7分間の処理で反応を終了させた。増幅産物は、1.5%アガロース中で電気泳動により分離し、エチジウムブロマイド染色により検出した。また、検出されたPCR産物の電気泳動像から、クラスター分析（ユークリッド距離による群平均法）により、種間交雑系統の、両親に対する近縁の程度を解析した。

2) 結果および考察

1994年12月までの花器の形質調査中に、‘TN1’由来系統では110系統のうち90系統で、‘TN13’由来系統では153系統中110系統で開花が認められたが、3月末の果実特性調査終了時までには、‘TN1’由来系統で108系統が、‘TN13’由来系統で148系統が開花し、それぞれ59系統、109系統が結実した。

開花株の花弁の色は、白色が多かったが、淡い鮭肉色を呈する株もみられた。これらの系統では、高次の花（同一花房内で、開花の遅い花）になるにつれて、花弁色は白色となった。‘TN1’および‘TN13’由来系統と

もに、不稔系統よりも結実系統において、葯が大きい傾向が認められ、特に‘TN1’由来の結実系統では、‘とよのか’以上の大きさな葯をもつ系統が多かった。花床の大きさについても、‘TN1’由来および‘TN13’由来の系統ともに、結実系統で大きくなる傾向が認められたが、‘TN1’でその傾向は顕著であった。結実系統の平均果重は全体的に小さく、‘TN13-94’、‘TN13-100’、‘TN13-126’および‘TN13-151’などでは平均果重が20gを越えたが、‘とよのか’(29.3g)には及ばなかった。果皮色では、L*値の大きい(色の薄い)系統が多かった。果実硬度は、全般的に低い系統が多いが、大きく分散しており、これは調査果実数が少ないことによると思われる。糖度についてみると、‘とよのか’よりも高い値を示す系統が多く、11%を越える系統もみられた。‘TN1’由来結実系統の多くは、球形の果実となったが、果形には系統間で差がみられた。‘TN13’由来の結実系統では、果形の系統間差が大きく、‘とよのか’に類似した円錐形から、球形に近い短円錐形まで観察された。全般に、種子着生部の窪みが深く、果肉は白色であり、官能検査では、ほとんどの系統の果実に*F. nilgerrensis*由来の芳香があった。

‘TN1’、‘TN13’、‘TN15’のCOLHITIN処理系統‘TN1-15’、‘TN13’のCOLHITIN処理系統‘TN13-113’および‘TN13-125’の5系統について、PCRによる雑種性検定を行ったところ、試験に用いた11種のプライマーのうち、4種類のプライマーで、鮮明な多型を示すPCR産物の電気泳動像が得られた。図-6に、プライマーOPAA-17とRP-15を用いた電気泳動の結果を示した。プライマーOPAA-17を用いた場合には、‘雲南’に特異的なPCR産物が2.1kbp付近と1.7kbp付近との計2つ、‘とよのか’に特異的なPCR産物が1353bpと872bpのやや下との計2つが確認され、プライマーRP-15を用いた場合、‘雲南’に特異的なバンドが4.36kbpのやや下に1つ、‘とよのか’に特異的なバンドが1353bpとそのやや上および3kbp付近との計3つが確認された。種間交雑系統およびそれらのCOLHITIN処理系統は、両親に特異的なPCR産物を全て併せもっていた。多型の得られた4種類のプライマーについて、全PCR産物を比較したところ、‘TN1’とそのCOLHITIN処理系統‘TN1-15’とのPCR産物の電気泳動像は全く同じであったが、‘TN13’とそのCOLHITIN処理系統‘TN13-113’、‘TN13-125’では、1つのPCR産物において差が認められた。形態特性およびPCR-RAPIDでの電気泳動像の比較から、‘TN1’、‘TN13’、‘TN1-15’、

‘TN13-113’、‘TN13-125’は、‘とよのか’と‘雲南’との種間雑種であることが確認された。また、検出された全PCR産物を用いた、クラスター分析の結果を図-7に示した。種間交雑系統およびそれらのCOLHITIN処理系統は、‘雲南’より‘とよのか’に近い距離で結合していることから、これらの遺伝的構成は、‘雲南’より‘とよのか’に近いと考えられる。この理由としては、‘とよのか’を母親として用いたことによる、細胞質のDNAの関与が考えられる。

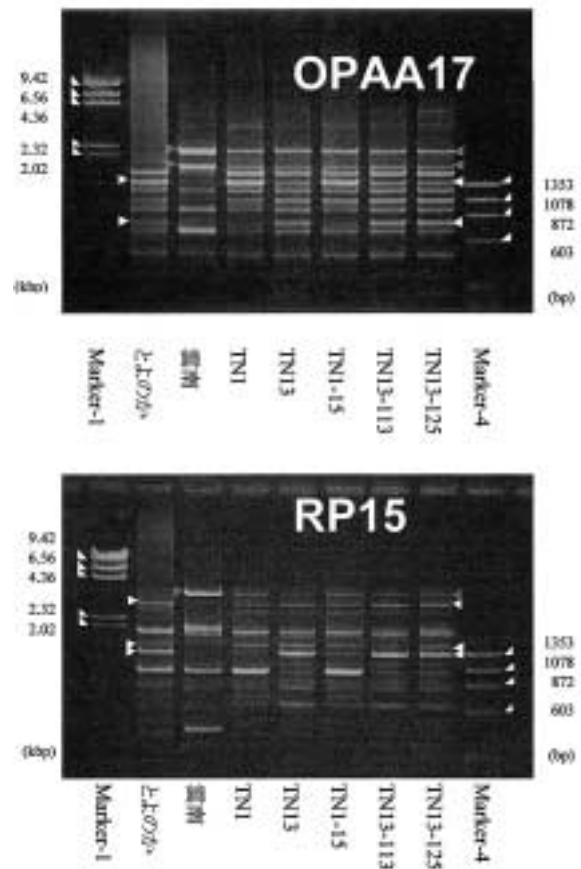


図-6 プライマーOPAA-17とRP-15による、種間交雑系統‘TN1’、‘TN13’およびそれらのCOLHITIN処理系統のPCR産物の電気泳動像

OPAA-17: 5'-GAG CCC GAC T-3'

RP-15: 5'-GTG CGT ATG G-3'

▷ ‘とよのか’に特異的なPCR産物

▶ ‘雲南’に特異的なPCR産物

TN1: *F. x ananassa* ‘とよのか’ × *F. nilgerrensis* ‘雲南’による不稔性種間交雑系統

TN13: *F. x ananassa* ‘とよのか’ × *F. nilgerrensis* ‘雲南’による不稔性種間交雑系統

TN1-15: ‘TN1’をCOLHITIN処理して得られた結実系統

TN13-113: ‘TN13’をCOLHITIN処理して得られた結実系統

TN13-125: ‘TN13’をCOLHITIN処理して得られた結実系統

Marker-1 λ/Hind III

Marker-4 φ/Hae III

以上の結果から、コルヒチン処理後の結実性の優れた系統は、草勢が強く、蒴および花床が大きくなり、PCRによる検定では処理前の‘TN1’および‘TN13’とほとんど区別できないことから、染色体が倍加したことにより稔性を獲得したものと考えられた。

これらのことから、栽培種と *F. nilgerrensis* との種間雑種はコルヒチンによる染色体倍加処理により稔性を獲得することができ、得られた結実性種間雑種は、野生種の香り特性をもつとともに、栽培イチゴに近い果実形質を保持していることから、香り特性などの改良を行う際の母本としての利用が期待される。

また、本試験で得られた‘TN13-125’は果形、平均果重などの果実品質が特に優れており、野生種からの新たな特性導入のための母本として有用であると予想されることから、母本系統‘久留米 IH1 号’と命名した。

3 二倍性野生種由来の芳香を有する種間雑種系統‘久留米 IH1 号’の収量、果実形質および香り特性

前節で述べたように、野生種の芳香をもち、平均果重、糖度などのその他の形質が、通常の栽培品種とほぼ同等である種間雑種系統‘久留米 IH1 号’の収量、果実形質について調査した。

1) 材料および方法

(1) 供試材料

栽培品種‘とよのか’*F. nilgerrensis*‘雲南’との種間交雑とコルヒチンによる染色体倍加処理を経て作出された結実性種間雑種系統‘久留米 IH1 号’を用いた。また、参考として同じ由来をもつ‘TN13-102’、‘TN13-113’を用い、対照品種として、‘とよのか’を供した。

(2) 栽培方法

1996年春に採取した苗を、直径12cmの黒色ポリポットで育苗し、8月26~27日に本圃に定植した。元肥はN:P₂O₅:K₂O=0.8:0.8:0.8(kg/a)とし、追肥を適宜行った。栽培様式は畦幅110cm、株間25cmの2条植えとし、10月22日にビニル被覆をし、促成作型(一重被覆、無加温)で栽培した。

(3) 調査事項

収穫した果実の収量、商品果率を調べ、本章2と同様にして、硬度、糖度、果皮色を測定した。

2) 結果および考察

種間雑種系統の収量および果実品質について表-20に示した。‘とよのか’と‘雲南’との種間雑種系統(‘久留米 IH1 号’、‘TN13-102’および‘TN13-113’)の収穫開始日は、‘とよのか’と同程度から約1週間遅れ

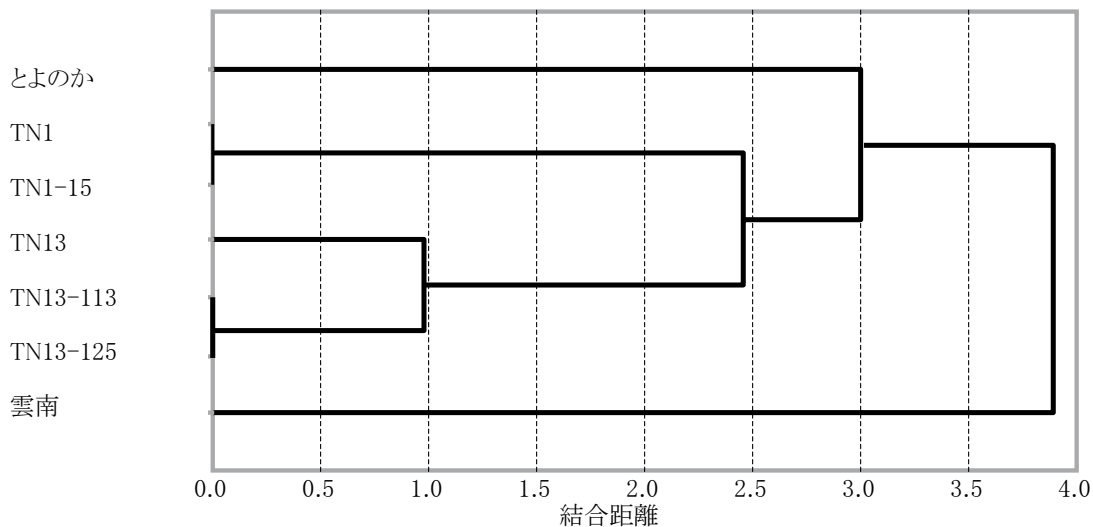


図-7 クラスター分析から推定される‘とよのか’、‘雲南’およびそれらの種間交雑系統の類縁関係

とよのか：*F. x ananassa*

雲南：*F. nilgerrensis*

TN1：*F. x ananassa*‘とよのか’×*F. nilgerrensis*‘雲南’による不稔性種間交雑系統

TN13：*F. x ananassa*‘とよのか’×*F. nilgerrensis*‘雲南’による不稔性種間交雑系統

TN1-15：TN1をコルヒチン処理して得られた結実系統

TN13-113：TN13をコルヒチン処理して得られた結実系統

TN13-125：TN13をコルヒチン処理して得られた結実系統

表-20 ‘とよのか’と‘雲南’との種間雑種系統の果実収量および果実品質*

品種・系統名	収穫開始日 (月/日)	収量 (kg/a)	平均 果重 (g)	商品 果率 (%)	商品果 平均果重 (g)	果実品質						
						糖度 ^y (Brix)	硬度 ^x (g/3mm ϕ)	果皮色 ^w			果形	果形 ^v 指数
							L*	a*	b*			
久留米 IH1号 ^u	1/4	215.0	9.7	71.6	12.6	11.0	133.6	44.5	32.2	27.2	短円錐	1.10
TN13-102 ^u	1/10	129.3	10.8	43.4	12.8	10.5	154.6	41.4	33.1	27.0	円錐	1.20
TN13-113 ^u	1/5	169.2	11.4	50.7	12.8	11.6	135.5	39.8	33.2	27.7	短円錐	1.15
とよのか	1/2	261.9	11.4	68.5	13.2	9.5	161.4	38.3	35.2	28.3	円錐	1.21

y 果実の赤道部を圧搾し、得られた果汁の糖度をアタゴ製デジタル糖度計 DBX55 を用いて測定した

x 直径3mmの円盤状プランジャーを装着したアイコー製プッシュプルゲージ(タイプ1)を用いて測定した

w ミノルタ製色測色差計 CR200 を用いて果実の赤道面を測定した

v 果形指数=果実高/果実幅

u *F. x ananassa*‘とよのか’ \times *F. nilgerrensis*‘雲南’による種間雑種系統

であった。総収量は、‘とよのか’で多く、ついで‘久留米 IH1号’であり、商品果率は、‘久留米 IH1号’で最も高かった。種間雑種系統では、商品果平均果重は、約13gと大きく、‘とよのか’のそれと比べて大差はなかったが、全果平均果重は小さかった。糖度は、‘とよのか’の9.5に対し、種間雑種系統は、いずれも10以上と高かった。果実硬度についてみると、‘TN13-102’では、やや硬いものの‘とよのか’には及ばず、特に、種間雑種系統では、果皮が弱い傾向が認められた。つぎに、果皮色についてみると、‘TN13-102’と‘久留米 IH1号’では、L*値が40以上であり、果皮色は極めて淡い色調であったが、‘TN13-113’では、これらの系統よりもやや濃い果皮色であった。種間雑種系統の果形は、‘TN13-102’で‘とよのか’と同じ円錐形であり、‘久留米 IH1号’と‘TN13-113’では短円錐形であった。‘久留米 IH1号’の果実形態を図-8に示した。果形は栽培種と類似しているが、種子着生部の窪みがやや深く、果皮の光沢が劣っていた。果肉は、ほぼ白色であった。

以上のことから、‘久留米 IH1号’は、果実収量および果実品質が栽培品種に近く、特徴的な香りをもっているため、栽培品種としての、実用的価値が充分あると考えられる。しかし、果皮が軟らかく弱いため、輸送性、貯蔵性が劣るほか、果皮色が非常に薄く、外観がやや劣ることから、モモに類似する香気を活かした加工食品としての利用が有望であると考えられる。さらに、この系統は、現在までの栽培品種にはない独特の香り特性を野生種から導入していることから、育種素材としての利用が期待される。

4 栽培品種との戻し交雑による種間雑種系統‘久留米 IH1号’の果実品質(果皮色、果実硬度)の改良

‘久留米 IH1号’は、多くの形質において栽培品種と



図-8 イチゴ野生種 *F. nilgerrensis* から香り特性を導入した種間雑種系統‘久留米 IH1号’の果実形態

同等であったが、果皮色が淡いことと、果実硬度が非常に低いことが問題となり、通常の栽培における利用は困難であると思われる。そこで、これを克服するため、八倍性栽培品種との戻し交雑を行うことにより、野生種の芳香を保った状態で、果皮色および硬度を改良することが可能であるかどうかについて検討し、芳香性を改良する際の母本としての適性を評価した。

1) 材料および方法

(1) 供試材料

1996年春に、‘とよのか’と‘雲南’との交雑に由来する種間雑種系統‘久留米 IH1号’と、食味は劣るが果皮色、果実硬度の優れる‘Pajaro’とを交雑して、実生(16個体)を得た。促成栽培条件下(一重被覆、無加温)で栽培し、官能検査により‘雲南’に類似した香りを持ち、外観が優れている2系統(‘TNP-05’、‘TNP-14’)を選抜して用いた。対照として、‘とよのか’、‘久留米 IH1号’および‘Pajaro’を用いた。なお、香り成分の

分析には、‘TNP-05’ および ‘TNP-14’ については、1997年春に収穫した実生世代の果実を用い、‘とよのか’、‘久留米 IH1 号’ および ‘雲南’ は、本章3で栽培した株を用い、1997年春に収穫した果実を供した。

(2) 栽培の概要

1997年春に鉢上げした親株を、雨よけハウス内で生育させ、発生したランナーを12cm 黒色ポリポットに植え変えて増殖した。1997年9月24日に、‘TNP-05’ (6株)、‘TNP-14’ (4株) を本圃へ定植し、10月20日にビニル被覆を行い、11月末からは、加温した(最低温度5°C、温風加温器使用)ハウス内で栽培した。

(3) 調査事項

系統ごとに商品果平均果重、果形、食味(5段階評価)を調査し、本章2と同様にして、糖度、硬度、酸度を測定し、約10回の収穫を終えた時点で調査を打ち切った。また、香氣成分の分析は、GC-MS(島津製作所製ガスクロマトグラフGC-17A、マススペクトロメーターQP-5000)を用いて次のようにして行った。40°Cに調整した密閉容器に4分割した果実を入れた後、密閉容器から、気体を直接導入することにより、キャピラリーカラムを通し(カラム流速0.9ml/分)、昇温する方法(50°C→230°C)で分析した。各分離成分は、ピークの相対位置、MSパターン、ライブラリーなどから同定した。

2) 結果および考察

戻し交雑系統‘TNP-05’ および ‘TNP-14’ の果実特性を表-21に示した。‘TNP-05’ および ‘TNP-14’ は商品果平均果重がそれぞれ14.1g、13.5gと、‘Pajaro’ および ‘とよのか’ には及ばないものの、‘久留米 IH1 号’ より大きかった。果実硬度は、‘Pajaro’ には及ばないが、‘とよのか’ と同程度であった。‘TNP-05’ は、

糖度が‘久留米 IH1 号’ と同程度以下とやや低く、食味も中であったが、綺麗な円錐形であり、果皮の着色、果実表面の光沢も良好で、外観が優れていた(図-9)。
‘TNP-14’ は糖度がやや高く、食味は改善されていたが、短円錐形であり、果皮の色が薄く外観がやや劣った(図-10)。マススペクトロメーターによる香氣成分の分析では、数多くのピークが検出され、保持時間の早い段階で、エステル類(Ethyl acetate, Ethyl butyrate, Methyl butyrate, Butyl acetate など)が検出され、ついで、アルコール類(Hexanol, Ethanol など)、有機酸類(Butanoic acid, Hexanoic acid, Caproic acid, Formic acid など)が現れ、続いて、フラノン[2,5-Dimethyl 4-hydroxy (2H) franone]が検出された。相対的に大きい7つのピークを種間雑種系統における主要香氣成分として、その面積の割合を算出し、表-22に示した。香氣成分についてみると、‘とよのか’ では Ethyl acetate の面積率が低く、Ethyl n-butyrate の面積率が高かったが、モモに類似した香りをもつ‘雲南’では、Ethyl acetate の面積率が高く、Ethyl n-butyrate の面積率が低いという特徴が認められた。同様に、モモに類似した香りをもつ‘久留米 IH1 号’の香氣成分組成は、花粉親である‘雲南’に類似し、Ethyl acetate の面積率が高く、Ethyl n-butyrate のそれは低かった。戻し交雑系統である‘TNP-05’ および ‘TNP-14’ では、Ethyl acetate 量が減少したが、‘とよのか’ よりも多かった。Ethyl n-butyrate 量は、‘TNP-05’ では、‘とよのか’ に近く、‘TNP-14’ では‘久留米 IH1 号’に近い値であった。戻し交雑系統の Butyl acetate 量は多く、特に、‘TNP-05’ では、‘とよのか’ の3倍以上であった。

以上のように、野生種の香氣を導入した種間雑種系統‘久留米 IH1 号’は、既存の栽培品種へ戻し交雑するこ

表-21 イチゴ種間雑種系統‘久留米 IH1 号’および戻し交雑系統の果実品質^z

品種・系統名	収穫開始日 (月/日)	商品果平均果重 (g)	果実品質						
			糖度 ^y (Brix)	硬度 ^x (g/3mmφ)	酸度 (g/100gFw)	果形	果形 ^w 指数	表面光沢	食味
久留米 IH1 号 ^v	1/21	13.0	7.9	—	0.399	短円錐	1.2	否	中
TNP-05 ^u	2/23	14.1	7.2	125.9	0.418	円錐	1.3	良	中
TNP-14 ^u	2/23	13.5	8.2	127.8	0.450	短円錐	1.3	やや良	やや良
Pajaro	1/16	19.5	5.8	233.0	0.217	長円錐	1.7	極良	やや否
とよのか	1/12	16.9	10.4	126.0	0.532	円錐	1.3	良	良

^z 10株を用いた

^y 果実の赤道部を圧搾し、得られた果汁の糖度をアタゴ製デジタル糖度計 DBX55 を用いて測定した

^x 直径3mmの円盤状プランジャーを装着したアイコー製プッシュプルゲージ(タイプ1)を用いて測定した

^w 果形指数=果実高/果実幅

^v *F. x ananassa* ‘とよのか’ × *F. nilgerrensis* ‘雲南’による種間雑種系統

^u ‘久留米 IH1 号’ × *F. x ananassa* ‘Pajaro’による戻し交雑系統



図-9 イチゴ種間雑種系統‘久留米IH1号’の戻し交雑系統‘TNP-05’の果実形態

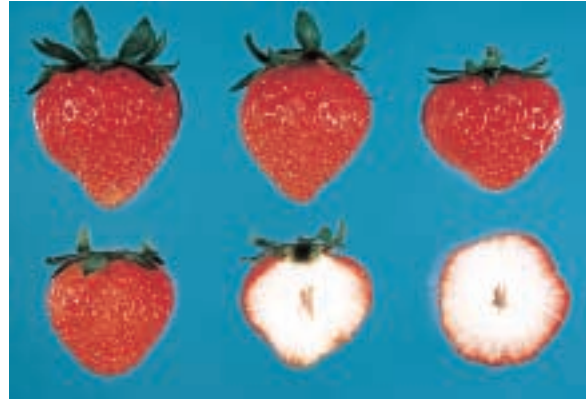


図-10 イチゴ種間雑種系統‘久留米IH1号’の戻し交雑系統‘TNP-14’の果実形態

表-22 イチゴ種間雑種系統‘久留米IH1号’の戻し交雑系統の主要な香気成分

品種・系統	相対的なピーク面積の割合 (%)						
	香気成分*						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
久留米 IH1号 ^y	23.0	1.5	1.3	6.6	4.8	1.5	2.4
TNP-05 ^x	5.8	6.9	2.8	12.3	—	0.9	1.2
TNP-14 ^x	5.9	1.1	8.7	6.0	—	1.2	1.8
<i>F. nilgerrensis</i>	19.5	0.0	5.5	7.0	1.4	0.8	3.4
とよのか	1.9	8.5	21.5	3.7	1.3	1.4	3.1

z I: Ethyl acetate, II: Methyl n-butylate, III: Ethyl n-butylate, IV: buthyl acetate, V: Formic acid, VI: Caproic acid, VII: 2,5-Dimethyl 4-hydroxy (2H) furanone

y *F. x ananassa* ‘とよのか’ × *F. nilgerrensis* ‘雲南’ による種間雑種系統をコルヒチン処理をして得られた結実系統
x ‘久留米 IH1号’ × *F. x ananassa* ‘Pajaro’ による戻し交雑系統

とにより、特有の香気を保った状態で、他の形質を改善することが可能であり、芳香性育種素材としての有用性が明らかとなった。

5 考察

栽培イチゴの属する *Fragaria* 属には、二倍性、四倍性、六倍性および八倍性などの広範な倍数性をもつ野生種が、世界各地に分布している。現在の八倍性の栽培種 (*F. x ananassa* Duch.) が作出される以前には、野生種のうち、二倍性野生種の *F. vesca*、六倍性野生種の *F. moschata* などが、ヨーロッパにおいて栽培されていた。特に、*F. vesca* は、その優れた香気特性や、栽培適性から、現在でも広く栽培されている。アジア地域にも、二倍性野生種の *F. vesca*、*F. viridis*、*F. daltoniana*、*F. nubicola*、*F. nilgerrensis* および四倍性野生種の *F. moupinensis*、*F. orientaris* などが存在し、日本には二倍性野生種の *F. iinumae* (ノウゴウイチゴ)、*F. nipponica* (モリイチゴ)、*F. nipponica* var.

yakusimensis (*F. yakusimensis*)、*F. yezoensis* などが自生している (ODA・NISITANI, 1989) が、*F. nipponica*、*F. yakusimensis* および *F. yezoensis* の核型は完全に一致し (IWATSUBO・NARUHASHI, 1989)、葉形質、花器形質の特徴からも、これら3種は同一種内の変異型であるとする報告がある (鳴橋・岩田, 1988)。日本に自生している野生種は、実用栽培に利用されていないが、日本の気候に適応し、在来の病虫害に対する耐性があるものと考えられる。また、中国南西部に自生する *F. nilgerrensis* は、モモに類似した特異的な芳香をもつことで知られており、これらの有用形質を、栽培種へ導入することにより、生産と消費の面から日本のイチゴ栽培の安定化を図ることが期待できる。

現在のイチゴ栽培種は、2種の八倍性野生種 (*F. chiloensis* および *F. virginiana*) の種間雑種である。DARROW (1966) によれば、1714年に、チリからフランスに導入された、わずか5株の *F. chiloensis* (雌株) が、*F. virginiana* と混植されたために、自然交雑し、

偶然に新しい八倍体の *F. x ananassa* が生じたとしている。そのため、イチゴ栽培種の遺伝子プールは比較的小さいと考えられており (BRINGHURST・VOTH, 1984)、その変異の幅を拡大するために、*F. chiloensis*, *F. virginiana* のみならず、他の八倍性野生種である *F. ovaris* との交雑も行われている (SCOTT・LAWRENCE, 1975)。*Fragaria* 属の野生種と栽培種との間には、交雑不和合性が認められているが、様々な種間交雑試験から、*F. vesca* は多くの種との和合性が高いことが報告されている (YARNEL, 1931; EVANS・JONES, 1967; HANCOCK・LUBY, 1993)。*F. vesca* は、高い和合性ととも、古くから栽培されており、その特性 (芳香性、四季成り性など) について研究が進んでいることから、変異の幅を拡大するための種間雑種の作出に多く利用されているものと考えられる。本章では、比較的日本の気候に類似している、中国南西部に自生する二倍性野生種 *F. nilgerrensis* がもっている芳香性を栽培種へ導入する目的で、種間交雑を試みた。欧米では、*F. nilgerrensis* の香気は好まれず、食味も劣る (HANCOCK・LUBY, 1993) ため、利用価値の少ない野生種である (BRINGHURST・VOTH, 1984) とされている。しかし、完熟した果実は、バナナ (*Musa nana* Lour) に似た風味があり (STAUDTら, 1975)、メロン (*Cucumis melo* L.) やモモ (*Prunus persica* Batsch) に類似する特徴的な香気 (織田ら 1990) は、東洋人の好みに適合していることから、利用価値は高いと考えられる。*F. nilgerrensis* は、他種との交雑不和合性が比較的低く、また、得られた種間雑種も、わい化し、草勢が弱いとされている (HANCOCK・LUBY, 1993)。本章1における交雑においても、非常に小さな葉身をもち、叢生化する株が多数出現したが、半数以上 (63%) の株は、両親の中間型であった。これらの中間型の系統は、出蕾開花するものの、その花粉は粒径が小さく、発芽能力がなかったことから、五倍体であると推測された。そこで、コルヒチンによる染色体倍加を行い、稔性の回復を試みた。

イチゴにおけるコルヒチン処理の方法としては、種子の浸漬処理 (DERMAN・DARROW, 1938; ELLIS 1958; 森下・山川, 1996) や、実生に対する処理 (HULL, 1960; SEBASTIAMPILLAI・JONES, 1976) が、数多く報告されているが、不稔性で種子の得られない、五倍体の倍加方法としては、不適であった。体細胞を用いた染色体倍加処理法としては、茎頂の浸漬処理 (NIEMIROWICZ-SZCZYTTら, 1986) が報告されているが、本章2では、森下ら (1996) の、茎頂培養系における染色体倍加法を用いて、種間交雑系統の、染色体倍加処理を行った。コ

ルヒチンを含む培地上で増殖したシュートから得られた系統のうち、'TN1' 由来系統の 54%、'TN13' 由来系統の 71% で、結実が認められ、染色体倍加処理が有効であることがわかった。しかし、馴化および移植の時点で、草勢による選抜を行っているため、実際の結実系統の獲得率はこれよりやや低いものと思われる。また、結実した系統の中に、異数体のほか、十倍性より高い倍数性をもつと思われる、異常に葉の厚い系統などが確認されたことから、十倍体の得られる確率は、さらに低いと考えられる。なお、本章で育成された '久留米 IH1 号' は、フローサイトメーターを用いた倍数性の検定により、十倍体である可能性の高いことが確認された (資料未掲載)。

本章では、二倍性野生種と八倍性栽培種とを交雑して得た、五倍体に対して、コルヒチンによる染色体倍加処理を行い十倍体と推測される種間雑種を育成したが、DARROW (1966) は、二倍性野生種から栽培種へのゲノムの導入法として、次のような手法を述べている。二倍性野生種のゲノムを添加した八倍性種間雑種の作出法としては、①八倍性栽培種の染色体を倍加した十六倍体と二倍性野生種を倍加した四倍体とを交雑して十倍体を作成し、二倍性野生種を倍加した四倍体と八倍性野生種との交雑による六倍体を、先に作出した十倍体と交雑を行うことにより、八倍性種間雑種を作成する、②八倍性栽培種と二倍性野生種とを交雑し、野生種の非還元配偶子と交雑された六倍体を選抜し、二倍性野生種と交雑することにより、八倍性種間雑種を作成する。つぎに、二倍性野生種のゲノムを添加した十倍性種間雑種の作出法としては、①二倍性野生種を倍加した四倍体と八倍性野生種との交雑による六倍体を、八倍性栽培種と交雑し、六倍体の非還元配偶子と交雑された十倍性種間雑種を選抜する、②八倍性栽培種と二倍性野生種とを交雑し、得られた五倍性種間雑種を倍加することにより、十倍性種間雑種を作成する。これらの方法を用いて、二倍性野生種である *F. vesca* との十倍性種間雑種が作出され、'Spadeka' (BAUER, 1979)、'Annelie', 'Sara' (TRAJKOVSK, 1996) などの品種が育成されている。森下ら (1996) も *F. vesca* と栽培種との交雑による、十倍性種間雑種の作出に成功しているが、作出された種間雑種には、花粉稔性が非常に低いという問題が生じ、その原因の一つとして、八倍性栽培種と *F. vesca* とのゲノム間に相同性が存在し、正常な染色体分離が阻害される可能性があることを述べている。SENANAYAKE・BRINGHURST (1967) は、栽培イチゴのゲノム (AAA'A'BBBB) は、*F. vesca* 由来ゲノム (AA) と、二倍体の祖先由来ゲノム (A'A')、

および起源不明のゲノム (BBBB) で構成されているとされている。したがって、森下らが指摘しているように、*F. vesca*との交雑による十倍性種間雑種の花粉稔性が低いのは、ゲノムの相同性に起因している可能性がある。もし、相同性に基づく不稔であれば、栽培種との相同性の低い、すなわち、縁の遠い野生種を交雑に用いることにより、稔性の高い種間雑種を作出することが可能であると考えられる。

李ら (1996)、ならびに雷ら (1999) は、RAPD-PCRによる栽培種と野生種との近縁の程度を検定することにより、二倍性野生種の中では、*F. vesca*が最も栽培イチゴに近く、*F. iinumae*はやや遠く、*F. nipponica*はさらに遠く、*F. nilgerrensis*は最も遠いことから類縁関係が低いとしている。ARULSEKAR・BRINGHURST (1983) は、アイソザイム〔グルコース-6-リン酸イソメラーゼ (Glucose-6-phosphate isomerase)〕について電気泳動をした結果から、*F. nilgerrensis*は、同じ *Fragaria* 属の中他種とは大きく異なるとしている。本章では、現在までに育成された種間雑種としての品種・系統よりも、非常に花粉稔性の高い、結実性の優れた種間雑種系統の育成に成功したが、その高い結実性は、花粉親として用いた *F. nilgerrensis* が、栽培種との間のゲノムの相同性が低い野生種であったことに起因していると考えられる。

本章で育成された種間雑種系統‘久留米 IH1 号’は、栽培品種を戻し交雑することにより、その果実品質を改良し、もしくは香氣特性を栽培品種へ導入することが可能であったことから、香氣性育種素材としての利用が期待される。また、栄養繁殖性作物であるイチゴは、本圃において栽培・収穫を続けている間にも、別の圃場において親株からランナーを発生させ次代の苗を得るための生育管理を必要とし、多くの圃場面積および労働力を必要とする。そこで、圃場面積および労力削減のために、種子繁殖型品種の育成が望まれている。しかし、イチゴは高い倍数性と、自殖により大きく弱勢化することが原因となり、遺伝的に固定された母本の育成が進んでいない。本章で育成された‘久留米 IH1 号’は、*F. nilgerrensis* からの $1n$ と、栽培種からの $4n$ とで構成されるゲノムをもつ五倍体種間雑種の染色体を倍加処理して得られたものと推測され、*F. nilgerrensis* のゲノムは同型接合の状態となり、栽培種のゲノムの固定度も高くなっていると考えられる。一方、同様の方法によって作出された二倍性野生種 *F. vesca* との合成十倍体の固定度は高いことがすでに確認されている (望月ら 1994)。このことから、本章で得られた‘久留米 IH1 号’も、種子

繁殖型品種の作出に利用できるものと期待できる。

IV 温暖地域における多様なイチゴ遺伝資源の安全・簡便な保存法としての低頻度継代培養法の開発

各種の形質の改良を目的とする品種改良を行うためには、多様な特性をもつイチゴ栽培品種および野生種を、利用しやすい形態で保存する必要があるが、イチゴは栄養繁殖性であるため、現状では、圃場での栽培による保存・維持をおこなっている場合が多い。しかし、促成栽培の適地は温暖な地方であるため、冷涼な気候を好むイチゴの生育には適さず、イチゴの病害虫なども非常に多く、遺伝資源が消失する危険性が高い。そこで、組織培養を利用することによる、安全な保存法が望まれている。

組織培養系を利用した保存法としては、個体再生能のある微小组織 (茎頂など) を凍結状態で保存しておき、必要に応じて、融解後に培養することにより植物体を再生させる凍結保存のように、培養体の生育を完全に止めてしまう方法と、わい化剤や低温条件などを利用して、培養体の生長を抑制する方法が考えられる。イチゴでは、凍結保存が可能であるとの報告があり (SAKAIら, 1978; KARTHAら, 1980)、半永久的な保存も可能であると思われる。しかし、単に遺伝資源を保存するためではなく、実際の品種改良に利用するための保存法としては、保存終了時から植物体再生までに長時間を必要とする凍結保存法は、利便性の点から不適であり、凍結障害の軽減に用いるジメチルスルホキシド (DMSO) による影響も懸念される。一方、生長抑制による方法については、4℃の低温暗黒条件下で、幼植物体を6年間保存することに成功した例がある (MULLIN・SCHLEGEL, 1976) が、3か月ごとに試験管内に新しい液体培地を補う必要があり、手数がかかる上に雑菌による汚染の危険を伴う。

また、増殖を目的とした組織培養では、増殖および馴化した個体に、変異の生じる危険性のあることが知られており、植物生長調節物質の影響と、カルス化 (脱分化) の影響などが示唆されている。遺伝資源の保存法としては、培養中の遺伝変異の発生を、極力抑制する培養条件の検討が必要となる。

以上のことから、労力の軽減、遺伝資源の消失および遺伝的変異の発生を回避すること、さらには、品種改良への利用の容易さなどの観点から、簡便で安全性が高く、保存終了後短時間で植物体が再生する、利便性の高い *in vitro* での保存法を開発することを試みた。

1 遺伝変異の発生を抑制する培養法の作出

品種保存のための培養では、様々な品種に適用できる汎用培地であることのほかに、変異の発生を抑制する培地を選定することが重要である。そこで、変異発生の確率を低減するため、形成されるシュート数を制限することができる植物生長調節物質濃度ならびに外植片の大きさについて検討した。

a オーキシンおよびサイトカイニン濃度による形成シュート数の変化

培地に添加する植物生長調節物質の種類や濃度により、形成されるシュート数が変化することが知られている。遺伝資源の保存の観点からは、芽条変異などの危険性を低減するためにも、培養中に形成されるシュート数を少なく抑える必要がある。そこで、NAAとBAについて、シュート数が最少となる濃度について検討した。

1) 材料および方法

(1) 供試品種

野菜・茶業試験場久留米支場の圃場から、1985年6月3日に‘はるのか’、6月4日に‘とよのか’、6月5日に‘宝交早生’、6月6日に‘麗紅’のランナーを採取して用いた。

(2) 外植片の調製

ランナーの先端(約3cm)を採取し、70%エタノールに30秒浸漬後、次亜塩素酸ナトリウム2.5%溶液に5分間浸漬することにより殺菌し、滅菌水にて2回洗浄した。殺菌したランナーの先端部の茎頂(0.3~0.5mm)を摘出し、外植片とした。

(3) 培地条件および培養条件

基本培地としてB5培地を用い、植物生長調節物質については、NAA0, 0.01, 0.1mg/lと、BA0, 0.01, 0.1mg/lとを組み合わせて、9区を設定した。各培地には、ショ糖2%を添加し、pHを5.8~6.0に調整した後、寒天0.7%を加えて加熱溶解した。各培地は試験管(内径20mm, 長さ10cm)に8mlずつ分注し、アルミフویلで封じた後、オートクレーブで加圧滅菌(120°C, 1.2kg/cm², 20分間)した。

用いた外植片数は、各品種とも試験区当たり10とし、各試験管内の培地上へ1外植片を置床し、25°C恒温室内(12時間日長, 3,000lx)で培養した。

(4) 調査事項

置床約3か月後に、形成されたシュート数を調査した。

2) 結果および考察

各供試品種ともに、全ての試験区において、外植片の生存率、茎葉形成率は、ほぼ100%であった。置床約3か月後のシュート数に及ぼすNAA濃度およびBA濃度の影響について図-11に示した。シュート数に対するBA濃度の影響については、5%水準で有意な差がみられ、BA無添加区でのシュート数が少なく、濃度が高くなるにつれてシュート数が増加する傾向が認められた。NAA濃度の影響については、有意な差は認められず、NAAとBAとの間や、植物生長調節物質と品種との間には、有意な相互関係は認められなかった。

以上の結果から、BAの添加は、シュート数を増加することになり、芽条変異などの突然変異発生の危険性があるため、遺伝資源を保存するための培養には、BA無添加が望ましいと考えられる。

b 置床茎頂の大きさによる形成シュート数の変化

芽条変異などの、突然変異発生の危険性を低減するため、置床する茎頂の大きさにより、形成されるシュート数を抑制することが可能かどうかについて検討した。

1) 材料および方法

(1) 供試品種

1986年4月21日に、野菜・茶業試験場久留米支場の圃場で生育中の‘とよのか’、‘麗紅’からランナーを採取して用いた。

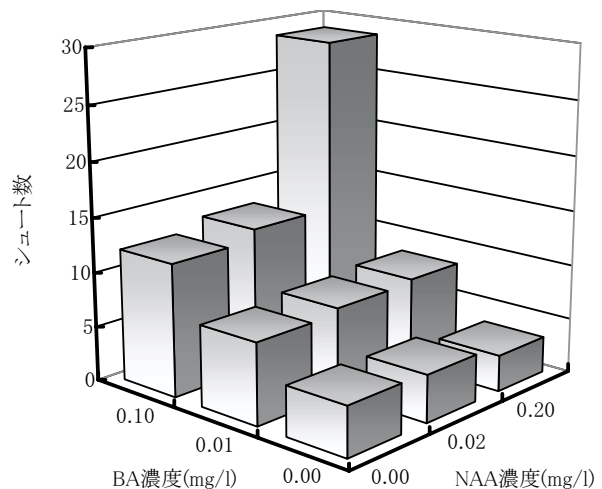


図-11 NAAおよびBA濃度によるシュート数の差
‘とよのか’、‘宝交早生’、‘麗紅’を、NAAおよびBAを添加したB5培地上で培養し、3か月後のシュート数を調査し、全品種の平均値で示した

(2) 外植片の調製

本章 1-a で述べた方法によって殺菌したランナーの先端部から、茎頂を約 0.3, 0.5 および 1.0mm の 3 段階の大きさに摘出し、外植片とした。

(3) 培地および培養条件

基本培地として B5 培地を用い、ショ糖 2% を添加し、植物生長調節物質は無添加とした。培地は、pH を 5.8 ~ 6.0 に調整し、寒天 0.7% を加えて加熱溶解した後、試験管（内径 20mm, 長さ 10cm）に 8ml ずつ分注した。アルミフィルムで封じた後、本章 1-a で述べた方法によって殺菌した。

用いた外植片数は、各品種とも試験区当たり 20 とし、各試験管内の培地上へ 1 外植片を置床し、25°C 恒温室内（12 時間日長, 3,000lx）で培養した。

(4) 調査事項

置床約 3 か月後に、外植片の生存率および形成してきたシュート数を調査した。

2) 結果および考察

置床した茎頂の葉原基が肥大するのみで、シュートの伸長がみられない発育不全である外植片数は、‘とよのか’では茎頂が大きくなるにつれて多くなるが、‘麗紅’では茎頂の大きさが 0.5mm の区でわずかに 1 つ認められたのみであった。多数の茎が融合して帯状となる帯状茎は、‘とよのか’では認められなかったが、‘麗紅’では多数認められ、茎頂の大きさが 0.3mm の区では 50%、0.5mm の区でも 25% と高率であったが、1.0mm の区ではわずかであった。置床した茎頂の大きさが、その生存率および形成されるシュート数に及ぼす影響を、図-12 に示した。大きさ別にみた置床した茎頂の生存率の差は、明らかではないが、‘とよのか’では、0.3mm 区でやや低

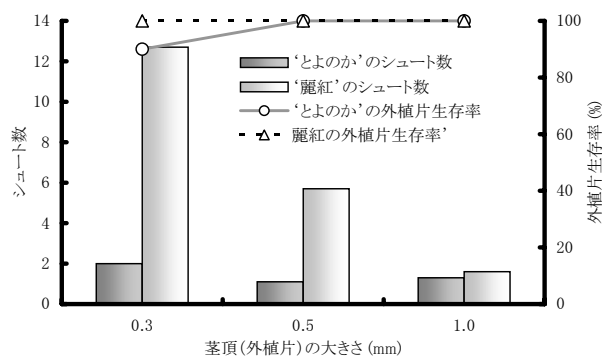


図-12 茎頂（外植片）の大きさがその生存率およびシュート数に及ぼす影響

植物生長調節剤無添加の B5 培地上で培養し、3 か月後に調査した

かった。‘とよのか’では、全ての茎頂の大きさにおいて、形成されたシュート数は少なく、0.3mm の区での 2 が最多であった。‘麗紅’では、茎頂が小さくなるにつれてシュート数は多くなり、0.3mm 区では 12.7 となった。

培養する茎頂を大きくすると、ウイルスなどによる栄養体伝染性病害の無病化には適さないと思われるが、無病化を目的としない、遺伝資源保存のための茎頂培養では、変異の発生を抑制する目的以外にも、作業の省力化、帯状茎のような異常シュート発生の低減などの観点から、やや大きい 1.0mm 程度の茎頂を摘出して培養するのが望ましいと考えられる。

2 低温条件、生育抑制培地および小型培養容器による培養体の生育抑制

小培養容器内の一定量の培地により、遺伝資源を長期間保存するためには、生育を必要最小限に抑える必要がある。生育を抑制する方法としては、低温に遭遇させることのほか、特定の培地を利用することなどが報告されている。本節では、これらの生育抑制について、単に茎葉の伸長抑制のみではなく、生育全体の均衡を保ちつつ抑制する方法について検討した。

a 低温条件および生育抑制培地による生育抑制効果

イチゴ以外の作物では、生育抑制培地として、各種のわい化剤を添加した培地、ショ糖など必須栄養素の一部が欠損した培地、および培地成分の吸収を妨げる高浸透価培地などの利用が報告されている。これらの抑制効果を、低温条件による生育抑制効果と比較し、長期保存に適した生育抑制法について検討した。

1) 材料および方法

(1) 植物材料の調製

1989 年 4 月 29 日～5 月 2 日に、野菜・茶業試験場久留米支場の圃場から、‘とよのか’、‘麗紅’のランナーを採取して用いた。ランナーを本章 1-a で述べた方法により殺菌した後、0.5～1.0mm の茎頂を摘出して外植片として、ポリカーボネイト製角型培養瓶内の B5 培地〔インドール酢酸 (IAA) 0.02mg/l, ショ糖 2.0%, ジェランガム 0.2% 添加〕上で前培養（25°C, 3,000lx, 12 時間日長）を行った。5 月 25 日に、生育の揃った培養体を、試験管内の同様の培地上へ移植し、各試験に供した。ただし、5°C・明条件区および-2°C・暗条件区では、4 月 19～21 日に、試験管内の培地上へ、直接、茎頂を

植え付け、25°Cで前培養した後、7月4日にそれぞれの温度条件下に移動した。

(2) 培地条件

B5 培地に、IAA 0.02mg/l、ショ糖 2.0%、ジェランガム 0.2%を添加した固形培地を基本培地として用いた。試験区は、表-23 に示したとおりで、低温、低ショ糖濃度、高浸透圧、わい化剤添加などの条件に遭遇させる処理により、8 区を設けた。用いた培養体数は、‘とよのか’は区当たり 15、‘麗紅’は区当たり 6 (5°C・明条件区ならびに-2°C・暗条件区では区当たり 15)、ともに培養容器あたり 1 とした。なお、わい化剤としては、アンシミドール[α -cyclopropyl-4-methoxy- α -(pyrimidin-5-yl)-benzylalcohol]、B-9 (N-dimethylaminozuccinamic acid) およびウニコナゾール P [(E)-(S)-1(4-chlorophenyl)-4,4-dimethyl-2-(1H-1,2,4-triazol-1-yl)pent-1-en-3-ol] を用いた。

(3) 調査事項

各培養条件で保存開始から 154 日後に、生存率および葉数、草丈の増加量について調査を行った。

2) 結果および考察

保存培養開始 154 日後の調査結果を表-23 に示した。低温に遭遇した 5°C・明条件区および-2°C・暗条件区

では、培養体の生存率が 100%であり、葉数、草丈の増加もよく抑えられていた。特に、-2°C・暗条件区では、生育抑制効果が高かったが、葉身が黄化し、培養体が貧弱であった。低ショ糖濃度区では、枯死した培養体の発生は少なく、‘とよのか’での葉数の増加も抑制されていたが、‘麗紅’では葉数の抑制効果が劣った。草丈の伸長に対する抑制効果は低く、葉の緑色は減退し白色であった。高濃度のマンニトールを添加し、培地の浸透圧を高めた区では、保存開始直後から葉の退色が始まり、調査時点では、全ての培養体が枯死した。培地にわい化剤を添加した区では、培地の褐変が多数みられ、特に、アンシミドール添加区では、生存した培養体数が少なかった。アンシミドール添加区および B-9 添加区では、生存培養体に対する生育抑制効果が劣り、草丈の増加量は非常に大きかった。ウニコナゾール P 添加区では、高濃度ほど、草丈の伸長は抑えられていたが、葉数の増加が著しかった。5°C・明条件区、-2°C・暗条件区およびウニコナゾール P 0.05mg/l 添加区における、保存培養 154 日後における、培養体(‘とよのか’)の形態を図-13 に示した。5°C・明条件区では、生育は強く抑制されていたが、形態は正常であり、培地の褐変、液状化などは認められなかった。-2°C・暗条件区では、保存培養開始時の状態とほとんど変わらず、生育は最も抑制され

表-23 イチゴ遺伝資源保存のための茎頂培養系(保存培養系)における培養条件と生長との関連^z

処理区	培養条件			品種	供試培養体数	生存培養体数	培養体の生長		
	培地に添加した物質および濃度	環境 温度	光条件				増加量 ^y		
							葉数	草丈(mm)	茎長(mm)
低温処理区 I		5°C	明 ^x	とよのか	15	15	1.1	2.96	1.66
				麗紅	15	15	1.2	3.76	1.48
低温処理区 II		-2°C	暗	とよのか	15	15	0.0	1.74	0.50
				麗紅	15	15	0.2	2.30	0.24
低ショ糖濃度区	ショ糖 0.5%	25°C	明 ^x	とよのか	15	14	2.5	10.67	9.06
					麗紅	6	6	12.5	4.47
高浸透圧区	マンニトール 5%	25°C	明 ^x	とよのか	15	0	—	—	—
					麗紅	6	0	—	—
わい化剤添加区 I	アンシミドール 1.0mg/l	25°C	明 ^x	とよのか	15	7	10.2	48.61	6.37
					麗紅	6	1	—	—
わい化剤添加区 II	B-9 50mg/l	25°C	明 ^x	とよのか	15	13	6.3	41.06	7.65
					麗紅	6	5	16.8	31.78
わい化剤添加区 III	ウニコナゾール P 0.05mg/l	25°C	明 ^x	とよのか	15	13	12.7	29.96	5.34
					麗紅	6	4	23.3	7.75
わい化剤添加区 IV	ウニコナゾール P 0.50mg/l	25°C	明 ^x	とよのか	15	9	22.4	2.91	0.61
					麗紅	6	6	23.8	4.67

^z 基本培地 (B5 培地, IAA0.02mg/l, ショ糖 2%, ジェランガム 0.2%) 上で、25°C, 3,000lx, 12 時間日長とし、約 25 日間培養した後、各培地および培養条件下で保存培養した

^y 各培養条件下で保存培養開始 154 日後の増加量

^x 3,000lx, 12 時間日長

ていたが、葉身が黄化し、貧弱な培養体であった。ウニコナゾールP 0.05mg/l 添加区では、草丈の伸長は抑制されたものの、葉数の増加が著しく、根も太く長くなり、ジェランガム培地の液状化が認められることから、生育自体は抑制されていないものと判断された。

これらの結果から、わい化剤の添加のみでは、草丈の伸長は抑制できるが生育は抑えられなかったため、遺伝資源の保存には不相当であると考えられる。低温条件、特に -2°C ・暗条件下でイチゴの生育が最も強く抑制できたが、培養体が貧弱であることが問題であった。また、 -2°C ・暗条件下で、さらに長い期間にわたって保存培養を行った予備実験の結果では、暗条件であるために、葉色が減退し、激しく徒長した(資料未掲載)。したがって、健全な培養体の保存には、 5°C ・明条件が最も適切であると考えられる。

b 培養容器の容量による生育抑制効果

本章2-aの結果から、低温処理による生育抑制法は、生育自体を抑制し、生存率も高いことから、試験管内での、イチゴ幼植物体の長期保存培養法として適していることがわかった。しかし、 -2°C ・暗条件では、暗条件下で著しい徒長が起こる可能性があることから、さらに、生育抑制効果を改善するため、これらの条件とわい化剤添加との併用について検討するとともに、空間に制限がある小型培養容器の利用による生育抑制効果について検討した。

1) 材料および方法

(1) 外植片の調製

1990年5月24~30日に、野菜・茶業試験場久留米支場の圃場で生育中の‘とよのか’から、ランナーを採取して用いた。ランナーを本章1-aで述べた方法により

殺菌し、約1.0mmの茎頂を摘出して外植片とした。

(2) 培地条件

B5培地に、植物生長調節物質無添加とし、ショ糖2.0%、寒天0.8%を添加した固形培地を基本培地として用いた。わい化剤(ウニコナゾールP)濃度は0, 0.01, 0.05mg/lの3段階とした。

(3) 培養方法

培養容器として試験管(内径20mm,長さ10cm,培地量8.0ml)と、小型バイアル(内径10mm,長さ4cm,培地量1.0ml)の2種類を用いた。培養条件は 5°C ・明条件(3,000lx,12時間日長)と -2°C ・暗条件を設定し、これらを組み合わせて12種類の試験区を設定した。用いた外植片数は、区当たり50,培養容器当たり1とした。置床後約1か月間は、全ての区において、 25°C , 3,000lx,12時間日長の条件下で培養し、1990年6月29日に、各培養温度へ移動した。

(4) 調査事項

各培養条件で保存開始から209日後に草丈、葉数および茎長を調査した。

2) 結果および考察

試験管内で保存培養した区では、葉数の増加は 5°C ・明条件区で多く、わい化剤の濃度が高くなるにつれて減少した。小型バイアル内で保存培養した区では、葉数の増加に対する低温の抑制効果が認められたが、わい化剤の効果も、0.05mg/l添加区で認められた。

茎長に対するウニコナゾールP濃度および培養容器の大きさの影響を図-14に示した。試験管内保存区では、低温およびわい化剤高濃度区で低い値を示したが、小型バイアル内保存区では、温度に関する一定の傾向は認められなかった。試験管内保存区においても生育が強く抑えられる低温(-2°C)条件下では顕著ではないが、 5°C



5°C ・明条件



-2°C ・暗条件



ウニコナゾールP 0.05mg/l

図-13 イチゴの保存培養系における‘とよのか’幼植物体の形態
保存培養開始154日後の状態

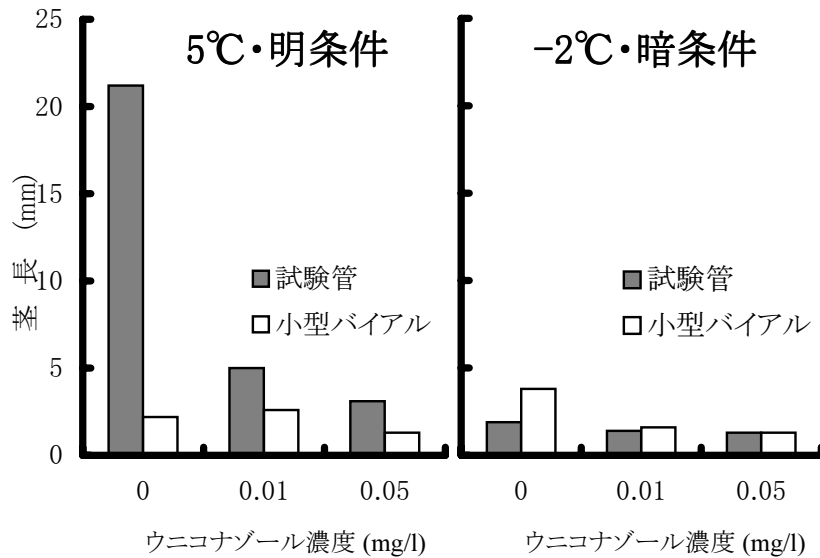


図-14 茎長に及ぼすウニコナゾールP濃度および培養容器の大きさの影響
 試験管（内径 20mm，長さ10cm）の中に培地 8.0ml を入れた
 小型バイアル（内径 10mm，長さ 4cm）の中に培地 1.0ml を入れた
 保存培養 209 日後に調査した

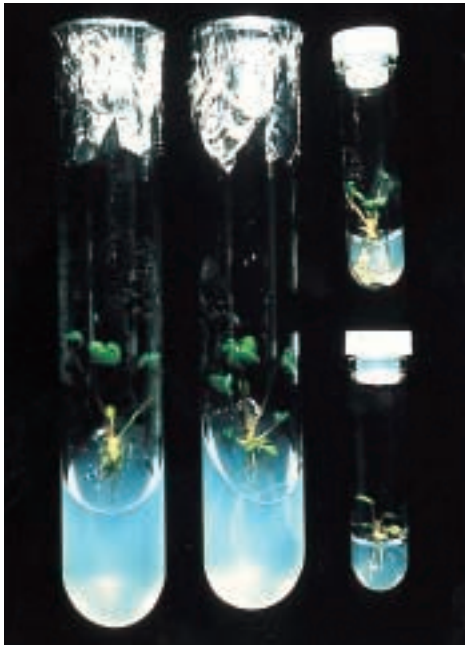


図-15 イチゴの保存培養系における培養容器の大きさとイチゴ幼植物体の生育
 5°C・明条件，保存 209 日後，品種‘とよのか’

では小型バイアル内で保存培養することにより，わい化剤を添加した場合と同等以上の抑制効果が認められた。図-15 に，培養容器の大きさによる，イチゴ植物体の形態の差を示した。通常の大きさの試験管内の培養体と，小型バイアル内の培養体の形態とを比較すると，小型バ

イアルでは茎の伸長が抑制されたのみでなく，葉身の大きさや葉柄長なども小さく，形態的には本来の形を保ったままで小型化していた。

したがって，イチゴ幼植物体の長期保存培養法としては，わい化剤無添加培地を用い，容量の小さな培養容器（小型バイアル）内で，5°C・明条件下での保存培養が有効であると考えられる。

3 培養幼植物体の長期保存を目的とした小容器・低温遭遇型低頻度継代培養法

前節までの試験により，培養容器としては小型バイアルを，また，培地としてはわい化剤無添加培地を用い，5°C・明条件下で培養する *in vitro* での遺伝資源保存培養法が示唆された。野菜・茶業試験場久留米支場で収集保存している多数の品種を用いて，継代培養などの作業を行わないで，保存する事が可能な期間について検討した。

1) 材料および方法

(1) 供試品種・系統

1986 年 7 月 29～30 日に，野菜・茶業試験場久留米支場の圃場で保存栽培している遺伝資源のうち，20 品種・系統を用いた。供試品種・系統は以下の通りである。

1：秋香，2：静紅，3：長崎クィーン，4：紅鶴，5：静香，6：静宝，7：福羽，8：はるのか，9：久留米 103 号，10：

湯姫, 11:うずしお, 12:明宝, 13:大村朱, 14:宝交早生, 15:ひみこ, 16:麗紅, 17:姫育, 18:ニューダナー, 19:紅福, 20:てるのか

(2) 外植片の調製

(1)で述べた各品種・系統から採取したランナーを、本章1-aと同様にして殺菌し、約0.5~1.0mmの茎頂を摘出して外植片とした。

(3) 培地条件

B5培地に、ショ糖2.0%、寒天0.8%を添加し、植物生長調節物質無添加とした、固形培地を用いた。

(4) 培養方法

小型バイアル(内径10mm、長さ4cm)に入れた培地(1.0ml)に、直接、外植片を置床した。用いた外植片数は区当たり5、培養容器当たり1とした。25℃、3,000lx、12時間日長条件下で前培養を行い、置床11日後に、生存および生育を確認し、15℃の恒温室内で1週間経過させた後に、5℃、3,000lx、12時間日長の恒温室に移して、保存培養を行った。

(5) 試験規模および調査事項

保存培養開始141, 495, 867, 1227および1602日後に、生存培養体数、葉数、莖長および草丈を調査した。

2) 結果および考察

培養開始1602日後の調査結果を表-24に示した。多くの品種・系統で、60%以上の生存率を示したが、‘明宝’では60%、‘福羽’では80%の培養体が枯死し、‘久留米103号’および‘湯姫’では全培養体が枯死した。培養開始約1000日後までに枯死した培養体は、植え付けた茎頂が肥大したのみで、葉を展開していないものがほとんどであったが、それより後に枯死した培養体は、葉を展開した正常な形態のものが多かった。生育程度には、品種間差が認められ、‘麗紅’、‘紅鶴’、‘福羽’、‘宝交早生’、および‘紅福’では、草丈の伸長が旺盛で、容器の頂部にまで達した培養体があった。品種により若干の差はあるが、低温下では、保存培養開始後の期間が長くなるほど、草丈の伸長速度は低下した。保存培養1602日後の平均草丈は22.7mmであり、平均伸長速度は0.11mm/月であることから、植物体が小型バイアルの頂部(培地面から約30mm)に達するのは、調査時点から約5.5年後になると推測される。今後は、ますます伸長速度が低下することが予想されるため、保存培養開始時から約10年後までの保存が可能になると推測される。しかし、葉色は減退し、褐変している葉も多く、全体的に葉柄は短いものの節間が長く徒長気味であり、伸長し

た莖の各節から空中に伸長している根(‘長崎クィーン’、‘紅鶴’、‘明宝’、‘麗紅’、‘紅福’など)が多く認められた。枯死した培養体も増加していることから、培養体の状態は必ずしも良くないと思われる。

また、調査終了後の1991年2月6日~7日に、各品種・系統の生存培養体の莖を、数節をもつ切片に切り分け、B5培地固形培地(植物成長調節物質無添加、ショ糖2.0%、ジェランガム0.2%添加)に移植し、25℃、3,000lx、12時間日長の条件下で培養し、幼植物体を形成させた。この場合、温度が5℃から急激に25℃へと変化したが、全ての品種・系統において、枯死した外植片(茎切片)は認められず、全ての品種・系統で、容器から取り出して馴化できる幼植物体が得られた。

以上の結果から、小型バイアルを用いた、いわゆる「小容器・低温遭遇型低頻度継代培養法」による保存では、多くの品種・系統で継代培養を行わずに、約4.4年(1602日)間の保存が可能であることが明らかになった。また、保存後においても、通常温度条件で培養することにより、速やかに植物体を得ることが可能であり、簡便で安全な保存法として優れているものと考えられる。

4 小空間・低温遭遇型低頻度継代培養保存後の植物体の栽培適性とその保存法の実用性

実用的な遺伝資源の長期保存法に必要な条件は、安全かつ簡便に長期間にわたって保存できることのほか、保存後の植物体に、遺伝変異が生じていないことが必須である。これまでの結果から導かれた保存法では、成長促進物質、わい化剤などの植物生長調節物質を含まない培地を用い、かつ、外植片としての茎頂を大きくすることにより、シュート数が少ない状態を維持し、芽条変異の発生を低減させるなどにより、遺伝的な安定性を保つことを図ってきた。そこで、実際に約4年半にわたって低温条件下で保存培養されたイチゴ植物体における、形態形質および果実形質の変異の有無について検討した。

1) 材料および方法

(1) 供試材料

本章3で行った、小型バイアル内のB5固形培地(植物生長調節物質無添加、ショ糖2.0%、寒天0.8%添加)上で、長期間(1985年7月31日~1991年2月5日)にわたって、低温培養保存(5℃、3,000lx、12時間日長)した幼植物体を、馴化増殖して得た系統(‘長崎クィーン’は4系統、‘ニューダナー’は10系統、‘静紅’は2系統、‘紅鶴’は10系統および‘静宝’は7系統)を供試

表-24 小容器・低温遭遇型低頻度継代培養法により保存したイチゴ各品種の生育状態および伸長速度*

品種・系統名	供試 培養 体数	生存 培養 体数	葉数	莖長 (mm)	草丈 (mm)	草丈の伸長速度 (mm/月)					
						培養過程の区分 ^y					
						I	II	III	IV	V	VI
秋香	5	5	14.2	18.5	25.3	0.47	0.69	0.87	0.12	0.22	0.47
静紅	5	2	10.5	13.8	27.5	0.34	0.39	1.61	0.63	0.27	0.51
長崎クイーン	5	4	16.8	15.8	23.0	0.82	0.89	0.21	0.30	0.22	0.43
紅鶴	5	4	14.4	15.1	27.6	0.75	1.74	0.21	0.24	0.00	0.51
静香	3	2	9.7	11.8	17.5	1.72	1.46	0.08	-0.18	-0.23	0.32
静宝	5	3	9.7	11.2	16.0	0.39	0.90	0.45	0.01	-0.15	0.29
福羽	5	1	11.0	16.0	29.0	1.16	0.96	0.26	0.04	0.71	0.54
はるのか	5	3	11.6	12.8	18.3	0.60	0.88	0.16	0.18	0.09	0.34
久留米103号	5	0	—	—	—	0.45	0.12	—	—	—	—
湯姫	5	0	—	—	—	0.39	0.32	0.69	0.03	—	—
うずしお	5	4	9.3	7.4	10.3	0.58	0.15	0.23	0.03	0.22	19.00
明宝	5	2	15.7	14.0	27.3	0.94	0.38	0.06	0.21	0.31	0.51
大村朱	5	3	8.7	14.0	23.7	0.56	1.10	0.54	0.06	0.10	0.44
宝交早生	5	5	11.8	15.5	23.2	0.65	1.12	0.49	0.05	0.05	0.43
ひみこ	5	4	12.7	18.0	23.4	0.54	1.16	0.68	0.14	-0.21	0.43
麗紅	5	4	20.8	17.5	24.4	0.86	0.16	0.02	0.11	0.02	0.45
姫育	4	4	13.3	16.4	25.0	0.56	0.86	0.28	0.47	0.28	0.46
ニューダナー	4	4	11.8	11.0	16.8	0.63	1.49	0.26	0.22	0.06	0.31
紅福	5	5	13.2	17.4	28.8	0.45	1.35	0.44	0.32	0.15	0.54
てるのか	3	2	14.0	15.0	22.0	0.50	0.79	0.04	0.76	0.08	0.41
平均	94	61	12.7	14.5	22.7	0.70	0.97	0.40	0.29	0.11	0.38

z B5 培地 (植物成長調節物質無添加, ショ糖 2%, ジェランガム 0.2% 添加) を用い, 小型バイアル (内径 10mm, 長さ 4cm) に入れた培地 (1ml) 上で, 5°C・明条件 (3,000lx, 12 時間日長) により培養した

y 保存培養開始後の日数を表す I: 0~141 日 II: 141~495 日 III: 495~867 日 IV: 867~1227 日 V: 1227~1602 日 VI: 0~1602 日

した。また、各品種について、通常のランナーから増殖する方法により維持してきた株を対照として用いた。

(2) 試験方法

低温下での保存培養終了後、1991 年 2 月 6~7 日に、培養容器から出した幼植物体の莖を、数節をもつ切片に切り分け、B5 固形培地 (植物生長調節物質無添加, ショ糖 2.0%, ジェランガム 0.2% 添加) 上に置床し、25°C, 3,000lx, 12 時間日長の条件下で培養し、生育再開と植物体の形成を図った。1991 年秋に馴化し、得られた 1 植物体を 1 系統とした。各系統をランナーによって増殖し、1 系統当たり 10 個体を、1992 年 10 月 23 日に、露地に定植した。

(3) 調査事項

1993 年 4 月下旬から、収穫した果実の果形指数 (果実幅/果実高)、果皮色および果実硬度を、また、5 月 12~20 日に、植物体の形態的特性 (葉身長、葉身幅、葉柄長、葉色、鋸歯数、花房数、分げつ数) およびランナー数を調査した。

2) 結果および考察

形態および果実特性は表-25 に示したとおりである。植物体の形態特性についてみると、葉身長、葉身幅、葉柄長などの、大きさに関わる事項、または、鋸歯数、分げつ数などの、数に関わる事項において、対照区との間に 1% 水準で有意差が認められる系統がみられた。しかし、葉形指数、葉色および鋸歯形などの、生育量に無関係な事項では、有意差が認められなかった。これは、培養し、ウイルスフリーとなったことにより、草勢が強くなったためと判断され、遺伝変異ではないと考えられる。

果実特性についてみると、果形指数、平均果重などに、有意な差は認められなかったが、'ニューダナー' の 1 系統において、果皮色の赤み (a* 値) が、'紅鶴' の 2 系統においては果実硬度が、保存培養をしない対照区 (ランナーにより増殖した原品種) に対し、有意な差を示した。'紅鶴' の硬度についてみると、対照区の調査果数が 4 果と少ないため、やや信頼性に乏しいものの、保存培養をした系統間に有意な差が認められた。しかし、

表-25 イチゴ各品種における長期保存後の株とランナー増殖株との特性の差^z

品種名 ^y	葉身長 (mm)	葉身幅 (mm)	葉形 ^x 指数	葉柄長 (mm)	葉色 ^w	鋸歯数 ^v	果房数	分けつ数	ランナー数	平均果重 (g)	果形 ^u 指数	果皮色 ^t			硬度 ^s (g/3mm ϕ)
												L*	a*	b*	
長崎クィーン(対照)	72.5	52.1	1.39	118.6	0.88	19.8	3.2	2.4	2.9	8.6	1.18	30.3	25.2	13.8	108.4
長崎クィーン1	79.4	61.1	1.32	118.2	0.95	19.8	3.6	2.0	2.8	7.7	1.27	31.1	20.5	14.9	121.4
長崎クィーン2	80.7	60.0	1.35	124.8	0.87	21.0	3.1	2.3	2.3	8.1	1.23	29.2	24.5	12.1	128.6
長崎クィーン3	85.3	65.2	1.33	133.0	1.04	18.8	3.9	2.7	5.1	7.7	1.11	29.7	22.7	12.0	107.6
長崎クィーン4	90.6	65.6	1.39	146.7	1.08	20.8	3.6	2.7	5.1	7.0	1.21	27.7	24.0	13.8	116.9
ニューダナー(対照)	70.3	69.0	1.05	108.8	1.40	20.5	4.5	1.8	0.0	6.2	1.10	28.9	17.1	13.7	137.9
ニューダナー1	86.3	93.5	0.93	172.6	1.26	22.0	2.4	1.8	0.1	7.8	1.08	28.4	14.9	12.6	139.3
ニューダナー2	85.5	92.2	0.93	140.9	1.25	21.1	2.5	2.2	0.8	8.1	1.05	29.4	17.2	13.1	125.5
ニューダナー3	79.4	90.6	0.88	131.3	1.18	21.8	4.6	1.7	0.0	9.2	1.15	29.6	23.2	12.2	124.4
ニューダナー4	80.8	86.6	0.94	129.6	1.22	21.8	3.4	1.8	0.0	6.7	1.07	30.2	19.5	13.3	120.8
ニューダナー5	82.7	90.2	0.91	169.7	1.21	22.0	2.3	2.2	1.0	6.0	1.15	30.2	23.5	13.6	127.0
ニューダナー6	91.8	97.6	0.94	171.5	1.21	23.4	3.0	2.0	1.1	10.4	1.07	28.6	19.7	13.2	120.9
ニューダナー7	81.8	89.9	0.94	170.8	1.28	21.2	3.9	3.2	0.7	8.4	1.07	29.8	20.7	14.5	118.7
ニューダナー8	79.4	86.6	0.92	147.5	1.23	20.6	3.4	2.9	0.4	9.3	1.10	27.3	19.6	12.7	103.3
ニューダナー9	75.0	80.2	0.94	111.8	1.23	22.0	4.3	2.8	0.3	8.2	1.11	28.7	17.7	13.6	113.5
ニューダナー10	78.3	83.8	0.94	134.0	1.36	22.5	2.8	1.9	0.3	8.0	1.02	26.0	17.2	12.1	113.1
静紅(対照)	65.9	49.9	1.32	160.3	0.89	15.4	3.0	3.1	4.9	5.9	1.21	30.5	18.6	14.0	91.1
静紅1	77.3	58.4	1.35	164.8	0.87	20.0	2.3	3.8	10.5	5.0	1.50	28.5	23.8	12.3	94.8
静紅2	86.0	66.8	1.29	157.0	1.01	19.6	1.2	3.8	11.6	7.6	1.46	32.1	17.0	14.2	106.3
紅鶴(対照)	66.7	54.2	1.24	76.6	1.04	18.9	2.1	2.2	2.3	8.6	1.57	26.7	26.5	11.4	56.3
紅鶴1	63.6	46.8	1.35	101.3	0.90	19.0	5.9	2.8	2.4	8.6	1.17	28.5	24.1	13.1	73.4
紅鶴2	68.9	55.8	1.25	105.1	1.00	19.2	4.2	3.1	3.9	8.7	1.38	28.4	23.4	13.0	98.7
紅鶴3	69.3	54.5	1.28	130.0	0.89	17.1	5.1	3.2	5.9	7.3	1.35	26.9	21.5	12.3	98.7
紅鶴4	75.8	55.8	1.36	125.2	0.98	19.7	3.7	3.3	3.7	8.1	1.39	27.9	22.6	12.0	69.6
紅鶴5	68.6	51.6	1.33	105.0	0.90	18.4	5.3	2.9	3.6	8.7	1.22	28.2	28.9	13.6	76.9
紅鶴6	79.6	58.8	1.36	130.4	0.89	17.7	4.2	3.2	5.9	10.2	1.24	27.7	24.7	13.4	87.7
紅鶴7	83.6	65.0	1.29	135.1	0.95	19.5	3.8	3.0	3.5	9.1	1.44	28.6	27.2	13.6	93.4
紅鶴8	80.9	60.7	1.34	127.9	0.88	18.4	4.1	3.0	4.0	8.5	1.32	28.4	27.7	13.3	89.9
紅鶴9	85.3	65.1	1.32	126.4	0.92	17.8	2.8	3.6	5.1	10.4	1.39	31.0	29.4	14.9	99.8
紅鶴10	75.7	57.4	1.32	112.0	0.89	17.9	3.5	2.6	3.6	10.8	1.46	30.2	22.8	14.1	88.6
静宝(対照)	60.0	46.0	1.31	85.5	0.77	20.3	1.8	1.3	1.3	7.5	1.17	32.8	20.3	14.7	153.3
静宝1	73.3	56.1	1.31	111.3	1.05	20.5	4.0	3.4	2.1	7.0	1.12	27.0	20.0	9.9	116.9
静宝2	60.9	50.9	1.21	89.0	1.14	21.6	2.7	2.2	0.9	8.5	1.08	28.9	24.8	12.1	107.3
静宝3	73.2	55.7	1.32	116.0	1.04	21.6	2.9	2.1	0.8	8.2	1.09	28.1	20.1	11.4	111.8
静宝4	70.1	56.6	1.23	108.6	1.11	20.6	3.0	2.4	1.3	8.7	1.05	26.6	19.5	11.5	111.9
静宝5	77.5	55.9	1.39	146.1	0.97	20.9	3.0	2.5	3.5	9.5	1.08	25.8	20.3	12.1	114.8
静宝6	80.4	63.5	1.27	142.3	1.08	22.0	3.1	2.2	2.6	10.0	1.04	25.5	20.3	9.5	98.6
静宝7	88.0	62.2	1.42	169.4	1.09	23.3	3.4	2.7	4.4	11.0	1.02	29.1	20.3	13.1	93.4

z 各品種・系統10株を用い、露地栽培とし、形態特性は1993年5月12-20日、果実特性は4月下旬-5月に収穫された果実について調査した。

表中のゴシック体の数字は1%水準で対照区と有意差のあることを表す

y 品種名の(対照)はランナーにより増殖した原品種。数字は長期保存後の系統名を表す

x 葉形指数=葉身長/葉身幅

w 葉緑素計(富士平工業製クロロフィルテスト CT-101)を用いて、上位第3葉を測定した

v 中心小葉身の総鋸歯数

u ミノルタ製色測色差計 CR200 にて果実の赤道面を測定した

t 直径3mmの円盤状プランジャーを装着したアイコー製プッシュブルゲージ(タイプ1)にて測定した

s 果形指数=果実高/果実幅

露地栽培における‘紅鶴’の果実硬度は、通常 100g/3mm ϕ 程度であり、今回の保存培養した系統の硬度に近いこと、果実硬度の低い対照区には、過熟と思われる果実（最低 32g/3mm ϕ ）が混入していたことなどから、これらの高硬度系統が変異系統であるとは考えられない。以上のように、茎頂培養による草勢の強化は認められるものの、明らかに変異したと判断される系統は生じなかった。したがって、小容器・低温遭遇型低頻度継代培養法は、遺伝的な安定性は高く、遺伝資源の簡便かつ安全な保存法としての実用性が高いと考えられる。

5 考察

イチゴの多くの栽培品種および野生種などの遺伝資源を、培養容器内で保存するための培地としては、各種の遺伝資源に対する汎用性があることと、遺伝変異発生の可能性が低いことが求められる。一般に、植物の組織を培養する場合、組織からの器官形成には、培地中の植物生長調節物質のバランスが重要であり、オーキシン濃度が高い培地では、不定根が形成され、サイトカイニン濃度が高い培地では、シュートが形成され、オーキシンとサイトカイニンとを高濃度で含む場合には、組織は脱分化、カルスを形成することが知られている。イチゴにおいても、培地中に、高濃度のサイトカイニンを添加することによって、シュート数が増加すると報告されている（BOXUS, 1974; WAITHAKAら, 1980）。本章 1-a の結果においても、サイトカイニンの一種である BA の濃度が高まるにつれ、シュート数は増加した。しかし、多数のシュートが発生する状況では、芽条変異による変異体の生じる確率が高くなることから、本節の目的である遺伝資源保存のための培養法では、遺伝変異発生の危険性を低減するために、サイトカイニン濃度の低い培地を用いることが望ましい。また、本章 1-b の結果から、置床する茎頂の大きさを、通常のウィルスフリー化のために用いられる 0.3~0.5mm より大きい約 1.0mm とすることにより、発生するシュート数を抑制することが可能であった。したがって、BA などの植物生長調節物質無添加培地を用い、やや大きい茎頂を培養することが、遺伝変異発生を抑制した遺伝資源の保存培養法として適するものと考えられる。

最小限の容器と培地量で、幼植物体を、長期間保存するためには、その生長を必要最小限の範囲に抑制する必要がある。様々な作物で、生長抑制法が検討され、それらは、①培地中の塩類、微量元素もしくはショ糖濃度の低減による生長抑制、②培地の浸透価を高めることによ

る生長抑制、③わい化剤の添加による生長抑制、④培養容器内のガス組成の調節による生長抑制、⑤低温による生長抑制、などに類別される。しかし、これらの方法は、単独での利用以外に、複数の方法を組み合わせることにより、好結果が得られることが多い。培地成分の濃度を低減させる方法では、KARTHAら（1981）は、1/2 濃度の MS 培地（ショ糖無添加）上で、コーヒー（*Coffea arabica* L.）の幼植物体を培養することにより、25°C 条件下において、約 2 年間の保存に成功している。培地の浸透価を高め、水分および養分吸収を妨げることにより、生長を抑制しようとする方法として、シンビジウム（*Cymbidium* spp.）やデンドロビウム（*Dendrobium* spp.）のプロトコムの保存が、高濃度のショ糖を添加した培地を用いることにより可能になった例（TANDON・SHARMA, 1986）や、4%のマンニトールを培地に添加することにより、ジャガイモ（*Solanum tuberosum* L.）の幼植物体の生長抑制が、25°C 条件下においても可能になった例（ESPINOZA ら, 1986）などが報告されている。岩本ら（1991）は、ショ糖濃度を 5% に高め、アブシジン酸を添加した培地で、フキ（*Petal japonoca* miq.）の培養体を、1 年間保存することが可能であったと述べている。その他、わい化剤を用いて生長を抑制する方法では、ジャガイモで、アブシジン酸（WESTCOTT, 1981）や B-9 を用いた生長抑制法が報告されている。培養容器内のガス組成調節法としては、WATANABEら（1991）が、培養容器内の気体を、炭酸ガス、あるいは窒素ガスに完全に置換することにより、イネ（*Oryza sativa* L.）カルスの生育を抑制することに成功した。また、培養植物体に対しては、BRIDGEN・STABY（1981）が、培養容器内の酸素分圧を低下させることによる、タバコ（*Nicotiana tabacum* L.）の生育抑制効果を検討している。また、ガス組成調節法の一つとして、パラフィンオイルの中に培養体を浸漬し、呼吸・蒸散を抑制して、保存する方法が検討され、センネンボク（*Cordyline fruticosa*）やベンジャミンゴム（*Ficus benjamina*）では、10 か月の保存が可能であったとする報告（GILLISら, 1989）や、10°C で保存培養したダイショ（*Dioscorea alata* L.）の培養体の生存率が、25% から 100% に向上したとする報告（高木ら, 1994）がある。

本章 2-a では、これらの生育抑制法のうち、低温条件、低ショ糖濃度、高浸透価、わい化剤などの効果について検討した。その結果、生存率が高く、伸長抑制効果の認められたのは、低温遭遇とわい化剤（ウニコナゾール P）添加区であった。しかし、ウニコナゾール P 添加

培地上で培養した場合には、葉数が増加し、根も太くなることから、茎伸長抑制効果は認められたものの、生育全体の抑制効果は認められなかった。松本・山本(1988)は、ウニコナゾールPを添加した培地上でイチゴ茎頂を培養したところ、草丈の伸長は抑制されたものの、分枝性が強くなり、葉数が多くなり、地上部重と根重は、ウニコナゾールP無添加培地上で培養した場合よりもむしろ増加する場合があったとしている。この結果は、本章2-aで得られた結果と同様であり、ウニコナゾールPの添加により、イチゴ幼植物体の生育自体を抑制することは不可能であると判断された。また、ウニコナゾールPは、低温遭遇との併用により、高い伸長抑制効果を示したが、その程度は、培養容器を小型バイアルとした場合の抑制効果との間に、大きな差は認められなかった。松本・山本(1988)は、幼植物体の茎伸長に対するウニコナゾールPの抑制効果は、馴化後も持続し、ジベレリンを散布することにより、対照植物体と同様の生育を示すようになったとしている。培地へのわい化剤の添加は、生育全体を抑制できず、分枝性を強くすることにより芽条変異の危険性を高め、馴化後に正常な生育をさせるためには生長調節物質による処理を必要とし簡便性に欠ける。したがって、わい化剤の利用は不相当であり、わい化剤と同等の伸長抑制効果の認められた、低温下(5°C)で小型バイアルを用いる方法が適当と考えられる。保存培養における、培養容器の適否についての検討では、REED(1992)が、試験管(内径16mm、長さ10cm)、プラスチック製培養瓶(6cm×6cm×9cm)およびポリエチレンバッグ(サイズ不明)の比較を行い、ポリエチレンバッグを用いた場合に、生存率が高く、微生物による汚染も少なく、また、取り扱いやすく、保存培養のための容器として優れているとしているが、容器の違いによる植物体の生育差については検討を加えていない。その他、ROXASら(1995)は、キク〔*Dendranthema x grandiflorum* (Ramat.) Kitam.〕の茎頂から形成された幼植物体の茎切片を、直径12mm、長さ75mmのやや小さな試験管内に植え付け、5°Cで培養する保存法を報告している。彼らが用いた試験管は、本章で用いた小型バイアルに比べると、内径はほぼ同じで、長さは約2倍であった。しかし、ROXASら(1995)は、その報告の中で「12mm×75mmの試験管内に入れた、容量1mlの培地(MS培地、生長調節物質無添加)は、継代培養や培地の補充を必要とせず、培養の安全性を確実にした」と述べるにとどまり、小型試験管による生長抑制効果については言及していない。培養容器の小型化による生育抑制では、葉身などが小さくな

り、相似形を保ったまま小型化する点が非常に興味深い。

このことから、イチゴ遺伝資源の長期保存のための、生育抑制法としては、わい化剤無添加の培地を用い、小型バイアル内で培養し、低温で保存するのが適切であると考えられた。

イチゴの葯培養では、葯壁由来カルスからの再分化系統(カリクロン)に、草勢、収量性などの変異がある個体の出現が報告されており(OOSAWA・TAKAYANAGI, 1982)、『盛岡16号』のカリクロンから、イチゴ黒斑病に抵抗性をもつ、突然変異系統が選抜され(高橋, 1993)、『アキタベリー』として品種登録されている。『女峰』の茎頂由来カルスからの再分化系統からは、元の品種と特性を異にする変異系統が得られ、『新女峰』が育成されている。カルスを經由していない茎頂培養においても、福岡ら(1996)が、茎頂培養により増殖した『とよのか』の系統から、果実着色の良い変異系統を選抜し、『ひまつり』を育成した例がある。さらに、民間企業が組織培養により増殖した『女峰』の苗を購入した農家の圃場から、特性の異なる個体が発見され、『鬼怒甘』として登録されている。しかし、これらの例では、カルス由来再分化個体、もしくは大量増殖によって得られた個体に、変異体が生じたことになる。本章4の結果では、約4.4年間にわたって、保存培養したイチゴ植物体においては、草勢の強化などの量的な変化は認められたものの、明らかな質的变化は認められなかった。SWARTSら(1981)は、組織培養により増殖したイチゴ培養株の特性を調査し、草勢、増殖性などの量的形質が優れていることを報告している。これらの変化は、培養することによって、ウイルスフリーとなった影響であると考えられる。大澤(1994)は、自然状態においても、突然変異は0.0003%の確率で生じるが、茎頂から腋芽を形成させることによる増殖では、突然変異発生率は、極めて低い(0.03~0.003%)としている。また、変異の回避法として、①遺伝的に安定している品種・系統を用いる、②茎頂や胚など、再生能力の高い部位を用いる、③植物生長調節物質を高濃度で使用するのを避ける、④カルスを經由しない、直接的な器官形成に心がける、⑤可能な限り早く植物体の再生を図る、などをあげている。遺伝資源の保存法としてみた場合に、培養系において遺伝的に安定している品種のみを保存するだけでは目的を達成できないが、本章で用いた茎頂培養では、植物生長調節物質を含まない培地上に、やや大きい茎頂を置床し、いわゆる挿し木と同じ観点で培養を行うため、カルスを經由しないで器官形成および植物体再生を図ることができる。また、

置床後は通常の培養条件（25℃）で、速やかに個体を再生させた後に、低温下での保存培養を行っており、大澤の提言する変異発生回避法の、大部分を包含しているといつてよい。そのため、芽条変異などの突然変異発生の危険性は、非常に低いと考えられる。

なお、多様な遺伝資源の保存を考慮した場合、汎用性の高い方法であることが求められるが、本章3の試験において、多くのイチゴ品種・系統を5℃・明条件下で保存培養した場合に、‘久留米103号’、‘湯姫’などのように、生存率の著しく低い品種・系統が認められた。これらの枯死した培養体は、培養した茎頂が肥大したのみで止まり、極めて早い時点で枯死したものが多かった。本章3では、茎頂を置床した後、25℃条件下で11日間培養し、その後15℃条件下で1週間培養した後に、低温条件下に移動している。しかし、保存培養開始の時点では、茎葉の形成を確認していなかったことから、完全な幼植物体形成の前に低温下に移したことが、高い培養体枯死率の原因であると考えられ、本章2の各試験で行ったように、25℃条件で形成させた幼植物体を低温下へ移動して保存培養することにより、生存率を向上させることができるものと推測される。野菜・茶業試験場久留米支場では、上に述べたように、25℃で形成させた幼植物体を低温条件（5℃）下へ移し、1999年時点で169点のイチゴ遺伝資源を保存培養したが、特異的に幼植物体の枯死率が高く、保存の不可能な品種ならびに野生種は確認されていない。

以上のように、本章の成果から、温暖地域において、イチゴ遺伝資源を小面積、少労力で、安全かつ簡便に保存できる、小容器・低温遭遇型低頻度継代培養法が開発された。本保存法は、図-16、および以下のように要約される。

①発生するシュート数を制限して変異の発生を抑制するため、培養する茎頂は、やや大きめ（0.5~1.0mm）に摘出し、培地は植物生長調節物質無添加のB5培地（ショ糖2%、寒天0.8%添加）を用いる。

②植物体の大きさを制限するためには、培地1.0mlを入れた密閉小型バイアル（内径12mm、内高30mm）を培養容器として用いる。

③試験管を用いて25℃・明条件下で培養し、伸長した茎部を、2~3節をもつ切片に切り分けて、密閉小型バイアル内の培地に移植し、25℃・明条件下で新葉を展開させた後、5℃・明条件下に移して保存する。

④多くの品種では、移植せずに4年以上保存することが可能であるが、褐変し始めた幼植物体は随時更新する。

更新に当たっては、茎の健全部分を2~3節以上をもつように切り分け、別の密閉小型バイアル内へ移植し、25℃・明条件下で新葉を展開させた後、5℃・明条件下に移して保存する。

⑤保存後の幼植物体から成苗を養成する場合には、茎部を2~3節をもつ切片に切り分け、角型培養瓶などの比較的大型の培養容器内で培養し、養成した幼植物体を常法により馴化する。なお、保存温度（5℃）から、幼植物体養成のための培養温度（25℃）へ変温する際には、段階的に温度を上げる必要はない。

⑥変異発生の危険性を可能な限り低減するような条件を用いており、長期保存（約4.4年）後の株には、明らかな突然変異の発生を認めていないが、変異発生の危険性は皆無ではないため、保存後におけるイチゴ遺伝資源については、あらかじめ特性を調査してから利用する。本章で開発された、小容器・低温遭遇型低頻度継代培養法による、イチゴ遺伝資源の長期保存は、現在までに報告された保存法よりも、小面積、少労力で、安全かつ簡便に保存することが可能であり、遺伝的な変異の発生についての抑止効果も高いと推測されることから、優れた保存法であると考えられる。したがって、本方法は栽培品種、野生種をはじめ、広範なイチゴ遺伝資源の利便性の高い保存が可能であり、多様な形質を持つイチゴ品種の育成に、寄与するものと考えられる。

V 総合考察

現在、温暖地域における促成栽培用品種としては、高品質で食味がよく、大阪、東京などの大消費地への運送に対応できる、輸送性の高い‘とよのか’が主要品種となっており、日本全体からみても1998年には、全イチゴ栽培面積7,640haの50%近くを占めている。1996年に、筆者らが育成した‘さちのか’（森下ら、1997）は、果実の糖度が高く、肉質と食味が良好で、果実の着色や果形が良いため外観が優れ、斉一であり、果実硬度も極めて高く、貯蔵性、輸送性に優れることから、1999年度には、約150ha以上（全農系統扱い）の栽培面積が見込まれ、今後も増加することが予想されている。本研究で指摘したように、イチゴの促成栽培地域の拡大および時期的前進化により、必然的に高温条件下において栽培されることになるため、この条件においても、高品質の果実が収穫できる品種の育成が必要であると考えられる。I-1の結果から、高温下での栽培に用いる品種の備えるべき形質としては、果実品質がよく、特に果実硬

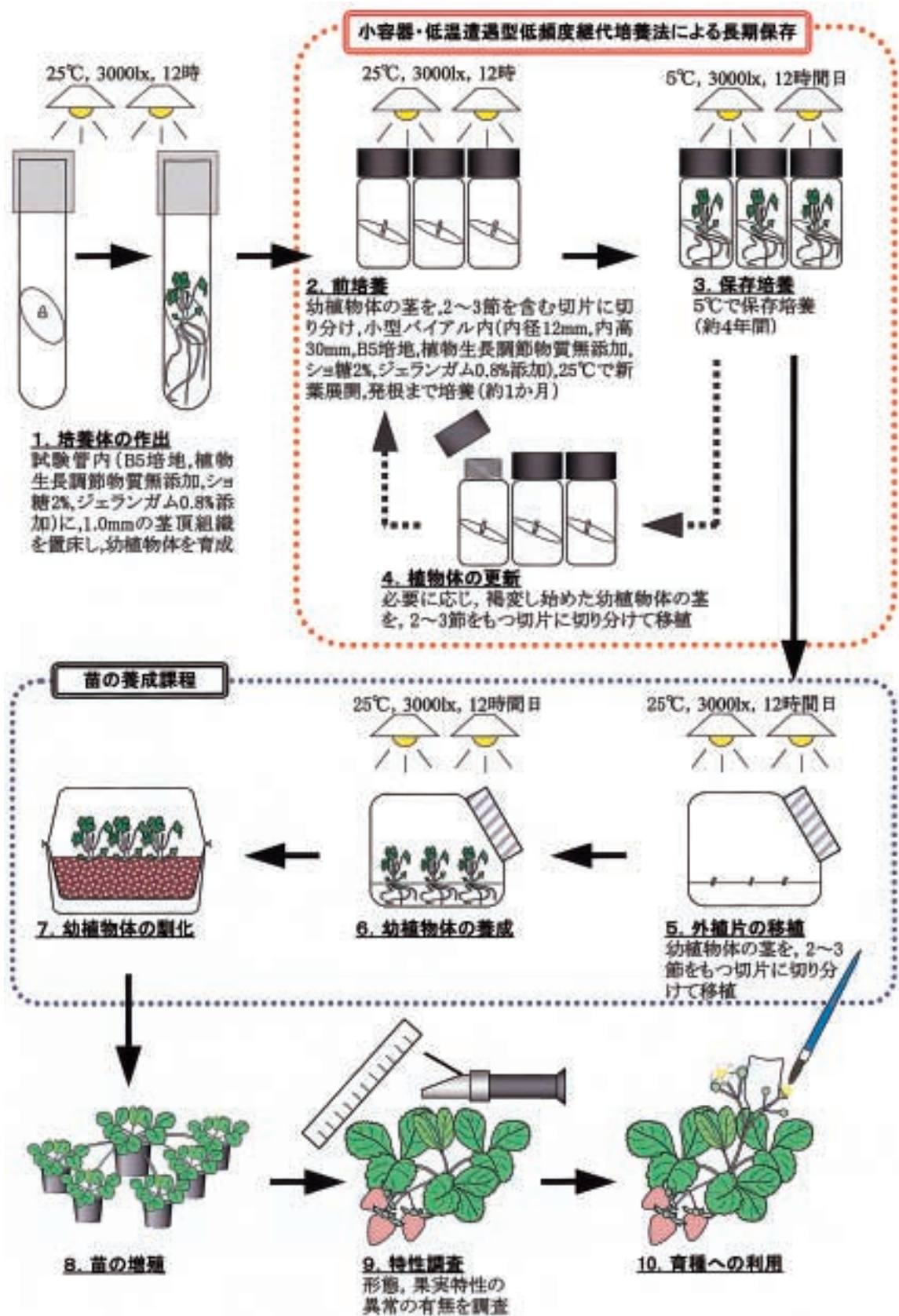


図-16 小容器・低温遭遇型低頻度継代培養法によるイチゴ遺伝資源の保存および育種への利用

度が高く、大果を着生させる果実肥大性が不可欠であると考えられる。‘さちのか’は、大果・高品質で、特に果実硬度が高く、I-1で述べたように、酸味は強いものの、高糖度であるため、優れた食味を示し、連続出蕾性の点からも、高温下での栽培に最も適する品種の一つであることが実証された。また、1987年に、筆者らが育成した‘ひのみね’（本多ら、1989）は、大果で果実硬度が高い促成栽培用品種であるが、I-2で述べたように、果実肥大が良く大果であることから、高温下での栽培に適すると判断された。しかし、‘さちのか’、‘ひのみね’ともに、果皮色が濃いため、高温条件では、暗色となりやすい欠点が認められた。さらに、うどんこ病に対しては、‘さちのか’は、‘とよのか’よりも被害程度が少ないものの罹病性があり、‘ひのみね’は、抵抗性が中程度であり、また、炭そ病に対しても、‘さちのか’は非常に弱く、I-1の試験においても、高い枯死株率を示すなど、その耐病性に問題があると思われる。高温下での促成栽培を安定化するためには、果皮色のみならず、病害抵抗性についても改良する必要がある。現在のところ、高温下での品種育成試験は、行われてないが、Iの結果から、平常の温度条件下における通常の選抜を行う場合に、大果であること、および果実の硬いことなどの高温下の栽培に適する形質について選抜することは可能であると考えられるので、‘さちのか’、‘ひのみね’より優れた品種の育成が期待される。

病害抵抗性品種育成を効率化するためには、早い世代での選抜が必要である。筆者らは、炭そ病抵抗性に対する、実生段階での選抜法について検討している（山川ら、1990）。実生幼苗への炭そ病菌胞子の噴霧接種を行った場合の生存苗の抵抗性と、成苗での抵抗性との間の相関が高いことから、実生段階での選抜効果の高いことが確認されている（森・戸谷、1995）。II-1で開発された、分離葉柄浸漬接種法は、実生段階での選抜には利用はできないが、病原菌による圃場や株の汚染がなく、小面積で、多くの系統からの選抜が可能であるため、静岡県農業試験場をはじめ、耐病性品種の育成試験を行っている試験場において、初期世代での選抜に利用されている。また、II-2で育成された久留米素材系統は、現在の炭そ病抵抗性品種・系統の中で、最も強い抵抗性があると評価され、佐賀県農業試験研究センターにおいて行われている炭そ病抵抗性に対するDNAマーカーの検索に、本系統と分離葉柄浸漬接種法が用いられている。DNAマーカーによる選抜法が確立されると、イチゴの炭そ病抵抗性育種が、飛躍的に効率化されるものと思われる。

久留米素材系統は、炭そ病抵抗性素材として公開され、すでに栃木県、岐阜県、佐賀県などの農業試験場において、交雑に利用されている。久留米素材系統とのF₁における抵抗性個体の発現率は、交雑に用いた親の抵抗性の強さに左右されるが、罹病性である親との組合せにおいても抵抗性の強い個体が多く得られることから、炭そ病抵抗性が強く、促成栽培に適した品種の育成に役立つものと考えられる。

イチゴの属名である、*Fragaria*には、「香りが高い」という意味があり、野生種の*F. vesca*や*F. moschata*は、芳香が強いことで知られており、その香りを料理に利用するために、*F. vesca*は現在でも欧米で栽培されている。しかし、日本では、生食される場合が多く、イチゴの香りを楽しむというような利用はほとんどみられない。IIIにおいて作出された、芳香性種間雑種系統‘久留米IH1号’を用いて、香りの高い、高品質の促成栽培用品種を育成することができれば、香りを楽しむことを目的とする需要も多くなるものと考えられる。また、筆者らは、同じ方法を用いて、日本在来の野生種である*F. iinumae*と‘とよのか’との種間雑種系統も作出しており、この種間雑種系統は、非常に強い酸味をもつことがわかっている（NOGUCHIら、1997）。これらの特徴的な形質をもつ種間雑種を作出し、その形質を促成栽培用品種へ導入することにより、多様な品種が育成されれば、食材としてのイチゴ果実の利用範囲も広がり、需要の拡大につながるものと考えられる。

イチゴの品種改良を行っている試験場所では、前述のように、多様な需要に対応できるような特徴的な形質を有する新品種を育成するために、多くの遺伝資源を、利用しやすい状態で保存しておく必要がある。現在行われている、圃場での栽培による維持・保存は、必要なときに増殖することが容易であり、直ちに交雑に利用することも可能なことから、品種育成場所での保存法としては最適である。しかし、温暖地域においては、夏期の高温や病虫害により、枯死する危険性に、常時さらされていることになる。一方、イチゴで可能となっている、茎頂の超低温凍結保存法では、安全、確実に長期間の保存が可能であるが、プログラムフリーザーなどの特殊な装置を必要とし、融解から植物体再生までに長期間を要するため、育種事業の現場での保存法としては不適当である。IVにおいて確立された、小容器・低温遭遇型低頻度継代培養法による保存では、培養容器内で保存するため、環境の影響を受けず、病虫害による消滅の危険性がなく、また、すでに茎葉を分化した幼植物体を保存するため、

利用する場合には比較的短時間で成苗を得ることが可能である。農林水産省神戸植物防疫所伊川谷圃場では、ウイルス検定の指標植物である野生種を保存するため、本研究で開発された保存法を用いている（堀越ら，1997）。指標植物は、ウイルスに感染しないように、網室内などで隔離栽培する必要がある。維持・保存栽培が容易ではない。また、指標植物のうち、EMC（East Malling Clone）などの系統は、元来ある種のウイルスをもち、重複感染することにより、顕著な病徴を表すことから、培養系として幼植物体を保存する場合には、ウイルスを除去することなく、指標植物としての利用が可能な状態を保つことが必要である。したがって、やや大きい茎頂を置床する本保存法では、指標植物をウイルスフリー化することなく、網室なども必要としないため、有利な保存法であるといえる。また、促成栽培用品種および多様な素材系統を積極的に育成している九州沖縄農業研究センター野菜花き研究部（旧野菜・茶業試験場久留米支場）では、1999年には、日本国内の品種140点、海外の品種160点、および野生種166点を維持・保存しているが、その保存点数は年々増加しており、圃場面積の不足、管理労力の過大化などの問題が生じており、毎年、病害により数点が消滅している。そこで、本研究において開発された保存法を用いて、遺伝資源保存の省力化と消失の危険回避を図っている。

また、本保存法では、小型バイアルを培養容器として用い、寒天培地上で保存培養を行っているため、多少の衝撃を受けても、容器の破損、培地の崩壊などが起こることはなく、短期間であれば、常温に遭遇しても、再び低温条件下におくことにより、保存状態に復帰させることも可能である。したがって、本保存法は高い輸送性も備えており、遺伝資源の配布に適した方法であると判断される。

日本でのイチゴに関する研究は、国立の試験場を中心として、都道府県の試験場などで精力的に行われてきた。しかし、最近では、国の研究体制が縮小されつつある中で、都道府県の試験場の担う役割は大きくなりつつあり、特に品種改良に関しては、民間会社、個人育種家などによる成果も多くなっている。本研究で得られた成果の中の多くのものは、前述のように、多くの地域における品種改良に利用されている。また、このことにより、耐病性に優れ、栽培しやすく、農薬による汚染のない、芳香のあるイチゴ果実が、周年的に店頭に並ぶようになるなど、イチゴにおける促成栽培の安定化、および適用地域の拡大に寄与することができるものと思われる。

摘 要

日本の温暖地域におけるイチゴ (*Fragaria x ananassa* Duch.) の促成栽培を安定化する観点から、促成栽培適性品種の育成を効率化し、温暖な西南暖地におけるイチゴ栽培の発展を図ることを目的として、①高温期における果実の肥大・成熟特性の品種間差と適性品種育成の可能性、②温暖地域で問題となっているイチゴ炭そ病に対する抵抗性の簡易選抜法の開発と高度抵抗性母本の育成、③促成栽培イチゴの需要を拡大するため、二倍性野生種の香気を栽培種へ導入すること、④多様な育種目標に対応できる遺伝資源の簡便かつ安全な長期保存法の開発、などについて検討した。

1 イチゴ促成栽培の地域拡大および时期的前進化に伴う高温条件下における植物体の生育と果実の発育

(1) 生態的特性の異なる品種の高温条件促成栽培における生育、収量および果実品質の差

低緯度高温地域（沖縄県）における促成栽培では、他の地域の促成栽培に比べて、果実糖度の変化は少ないが、酸度が高く、果皮色が濃くなり、特に果実硬度の低下が激しかった。

低緯度高温地域での促成栽培において収量を上げるには、頂花房に続く腋花房を、短い間隔で連続的に形成する品種を用いること、または、頂果房のみによるか、頂果房と第1腋果房とによって収量を上げる品種を用いることが望ましく、連続的花房形成型品種としては、‘女峰’、‘章姫’、‘サマーベリー’が、頂果房重点型品種としては、‘Pajaro’、‘Florida Belle’が収量性では有望であった。総合的にみると、‘さちのか’や‘北の輝’のように、収量はそれほど多くはないが果実品質の優れている、特に、果実硬度の高い品種が、高温条件下での促成栽培に対する高い適応性をもつと判断された。

(2) 促成栽培型品種の花芽形成早期化による高温期での果実肥大能の差

平均果重は、成熟期間の平均気温に大きく影響され、成熟期間および積算温度の影響は小さかった。平均気温が上昇すると、平均果重は減少したが、その減少率には、品種間差は認められなかった。しかし、高温期の果実肥大能力には品種間差がみられ、通常温度条件下において大果性を示す品種の果実肥大能力が、高温条件下においても高いことがわかった。

高温肥大性の高い品種の育成は、作型に関わらず、大

果性系統の選抜を繰り返すことにより可能であると考えられた。

2 促成栽培で多発するイチゴ炭そ病 (*Colletotrichum gloeosporioides*) に対する抵抗性の選抜法と抵抗性系統の育成

(1) 分離葉柄浸漬接種法を用いたイチゴ炭そ病抵抗性系統の簡易選抜法

展開した上位第4葉を用い、小葉を切除した葉柄の切断面を、イチゴ炭そ病菌の孢子懸濁液 (10⁶個/ml) に浸漬して接種し、25°C条件下で発病させ、接種7日後に病斑の大きさを測定することによる、効率的な抵抗性選抜法が確立された。

分離葉柄浸漬接種法では、葉柄のみを採取し、切断面から感染させることから、圃場条件下で発現する抵抗性を完全に表していないので、通常の品種・系統の抵抗性評価には不適當であるが、抵抗性の高い品種・系統の選抜手法として優れている。また、保温・保湿設備を備えた広い隔離ハウスなどの施設を必要としないので、実験室内などの極めて狭い場所で、多数の品種・系統を対照として病害抵抗性系統の選抜を行うことができ、さらに、検定対象植物の感染・枯死を招くことがなく、さらに、自然環境に左右されずに発病条件を設定することが可能で、年間を通じて検定試験を行うことができるという利点がある。

(2) 炭そ病高度抵抗性系統‘久留米素材1号’および‘久留米素材2号’の育成経過とその特性

イチゴ炭そ病に対して、既存品種・系統の中で、最も強い抵抗性をもつ育種素材系統‘久留米素材1号’、‘久留米素材2号’を育成した。これらの系統は、萎黄病およびうどんこ病に対しても、実用上は問題のない水準の抵抗性をもっている、複合抵抗性系統であった。

3 特異的芳香を有する促成栽培適応型イチゴ品種の作出に利用できる素材系統の育成

(1) 特異的芳香を有する二倍性野生種 *Fragaria nilgerrensis* と八倍性栽培種 *F. x ananassa* との交雑による五倍性種間雑種の作出

栽培種‘とよのか’を母親、*F. nilgerrensis* ‘雲南’を花粉親とした交雑から、実生苗を育成することができた。これらの種間交雑実生には、開花した個体もあったが、全て不稔であった。

(2) 不稔性種間雑種系統の染色体倍加処理による結実性種間雑種系統の作出

コルヒチンによる染色体倍加処理により、結実するようになった種間交雑系統は、PCRによる雑種性検定の結果、‘とよのか’と‘雲南’との雑種であることが確認された。作出された結実性種間雑種系統から、草勢が強く、栽培品種とほぼ同等の果実品質であり、かつ野生種の芳香性をもっている‘久留米IH1号’を育成した。

(3) 二倍性野生種由来の芳香を有する種間雑種系統‘久留米IH1号’の収量、果実品質

芳香性の‘久留米IH1号’の収穫開始日は、‘とよのか’とほぼ同じであった。総収量は‘とよのか’よりやや少ないが、商品果率は高かった。果実は大きく (13g)、果形は短円錐形であり、糖度 (Brix) は高かったが、果実硬度は低く、果皮色は極めて淡かった。‘久留米IH1号’は、栽培品種に近い特性をもつことから、特異的な香りのある青果用品種としての実用栽培適性をもつが、香気を活かした加工への利用が有望であると考えられる。

(4) 栽培品種との戻し交雑による種間雑種系統‘久留米IH1号’の果実品質 (果皮色、果実硬度) の改良
‘久留米IH1号’の香氣成分組成は、‘雲南’に類似し、Ethyl acetate 含量が高く、Ethyl n-butyrate 含量は低く、モモの香氣に似た芳香を有していた。さらに、既存の栽培品種と戻し交雑することにより、特有の香気を保持したまま、果皮色、果実硬度などの他の形質を改良することが可能であり、芳香性育種素材系統として有用である。

4 温暖地域における多様なイチゴ遺伝資源の安全・簡便な保存法としての低頻度継代培養法の開発

(1) 遺伝変異の発生を抑制する培養法の作出

芽条変異などの突然変異発生の危険性を回避するため、過剰なシュート形成を抑制するには、基本培地としてB5培地を用い、BAなどの植物生長調節物質無添加の寒天培地 (ショ糖2%添加) 上に、やや大きな茎頂 (約1.0mm) を置床して培養する方法が有効であった。

(2) 低温条件、生育抑制培地および小型培養容器による培養体の生育抑制

イチゴ幼植物体の伸長抑制法としては、培地へのウニコナゾールPの添加、および低温下での培養の効果が大きかったが、ウニコナゾールP添加培地では、茎葉数が増加し、生育は抑制できなかった。これに対し、低温条件下で、小型バイアルを用いた培養法の生育抑制効果が高かった。

以上の結果から、植物生長調節物質無添加のB5培地

上に、大きめの茎頂を置床し、再生した植物体の茎切片を、小型バイアル内の B5 培地上で培養し、低温条件下 (5°C・明条件) で保存する方法、すなわち、小容器・低温遭遇型低頻度継代培養法が開発された。

(3) 培養幼植物体の長期保存を目的とした小容器・低温遭遇型低頻度継代培養法

小容器・低温遭遇型低頻度継代培養法により、継代培養を行うことなく、多くの品種・系統の培養幼植物体を約 4.4 年 (1602 日) 間保存することが可能であった。また、保存終了後の幼植物体を通常の温度条件で培養することにより、速やかに植物体を得ることが可能であった。

(4) 小空間・低温遭遇型低頻度継代培養保存後の植物体の栽培適性とその保存法の実用性

小容器・低温遭遇型低頻度継代培養法により、約 4.4 年間保存した幼植物のその後の状態についてみると、草勢の強化はみられたが、遺伝変異は特に認められなかった。小容器・低温遭遇型低頻度継代培養による、イチゴ遺伝資源の長期保存法は、温暖地域における、小面積、少労力で、安全かつ簡便に保存することが可能であり、遺伝変異の発生についての抑止効果も高いと推測されることから、遺伝資源の保存法として実用性の高い方法であると判断された。

引用文献

- ADAMS, A. N. 1972. An improved medium for strawberry meristem culture. *J. Hort. Sci.* **47**: 263-264.
- ARULSEKAR, S. and R. S. BRINGHURST. 1983. Strawberry, isozymes in plant genetics and breeding. Part B. p. 391-400. Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam.
- BAUER, B. 1979. Hybridzuchtung in der gattung *Fragaria*: 'Spadeka'-ein neue sort mit dem aroma der walderbeere. *Erwerbstbau*. **21**: 151-159.
- BERAHA, L. and W. R. WRIGHT. 1973. A new anthracnose of strawberry caused by *Colletotrichum dematium*. *Plant Dis. Rep.* **57**: 445-448.
- BOXUS, Ph. 1974. The production of strawberry plants by *in vitro* micro-propagation. *J. Hort. Sci.* **49**: 209-210.
- BRIDGEN, M. P., G. L. STABY. 1981. Low pressure and low oxygen storage of *Nicotiana tabacum* and *Chrysanthemum x morifolium* tissue cultures. *Plant Science Letters*. **22**: 177-186.
- BRINGHURST, R. S. and V. VOTH. 1984. Breeding octoploid strawberries. *Iowa State J. Res.* **58**: 371-381.
- CLARK, J. H. 1931. Length of the fruit development period of strawberry varieties. *Proc. Amer. Hort. Sci.* **28**: 211-225.
- 築尾嘉章・小林紀彦・松尾和敏・太田孝彦. 1992. イチゴ葉枯炭そ病 (新称) 菌の分類的検討. *日本植物病理学会報*. **58**: 554.
- DARROW, G. M. 1966. *The Strawberry. History, breeding and physiology.* Holt, Rinehart and Winston, New York.
- DELP, B. R. and R. D. MILHOLLAND 1980. Evaluating strawberry plant for resistance to *Colletotrichum fragariae*. *Plant Dis.* **64**: 1071-1073.
- DELP, B. R. and R. D. MILHOLLAND. 1981. Susceptibility of strawberry cultivars and related species to *Colletotrichum fragariae*. *Plant Dis.* **65**: 421-423.
- DELMEN, H. and G. M. DARROW. 1938. Colchicine induced tetraploid and 16-ploid strawberries. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* **36**: 300-301.
- ELLIS, J. R. 1958. Cytogenetic studies in the general *Fragaria* and *Potentilla*. Doctor's Thesis for Univ. College, London.
- ELLIS, M. A. and M. A. BULGER. 1985. Anthracnose fruit rot *Colletotrichum gloeosporioides* of strawberry in Ohio. *Plant Dis.* **70**: 475.
- ESPINOZA, N., R. ESTRADA, P. TOVAR, J. BRYAN, J. H. DODDS. 1986. Tissue culture micropropagation, conservation, and export of potato germplasm. International Potato Center Specialized Technology Document. **1**: 20.
- EVANS, W. D. and J. K. JONES. 1967. Incompatibility in *Fragaria*. *Can. J. Genet. Cytol.* **9**: 831-836.
- FERGUSON, J. H. A. 1971. Eariness of flowering and fruiting of forty strawberry varieties; A statistical study. *Euphytica*. **20**: 362-370.
- 藤野雅丈・高田勝也. 1987. イチゴの品種特性に関する研究 (第 1 報) 果実の糖度と酸度. *園学要旨*. 昭 62 秋: 420-421.
- 福岡壽夫・村田達郎・小村秋則・中尾繁伸・島村俊也・中尾栄治・木之内均. 1996. 九州東海大農紀要. **15**: 19-25.
- 伏原 肇・高尾宗明. 1988. イチゴの夏期低温処理栽培に関する研究 (第 2 報) 低温処理時期が収量, 品質に及ぼす影響. *園学要旨*. 昭 63 春: 356-357.
- GILLIS, S. A. and P. C. DEBERGH. 1989. Storing plant cultures in liquid paraffin. mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen, Rijksuniversiteit Gent. **54(4a)**: 1317-1318.
- GUPTON, C. L. and B. SMITH. 1991. Inheritance of resistance to *Colletotrichum* species in strawberry. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **116**: 724-727.
- HANCOCK, J. F. and J. J. LUBY. 1993. Genetic resources at our doorstep: The wild strawberries. *BioScience*. **43**: 141-147.
- 本多藤雄・岩永喜裕・山川 理・成河智明・佐藤 裕・野口裕司. 1989. イチゴ新品種 'ひのみね' の育種に関する研究. *野菜茶試研報*. **D1**: 1-18.
- 本多藤雄・二井内清之. 1964. イチゴの受精と果実の発育障害について. *九州農研*. **26**: 222-223.
- 本多藤雄・大和茂八・二井内清之・天野智文. 1974. イチゴ新品種 'はるのか' の育種に関する研究. *野茶試報*. **C**. **1**: 1-14.
- 堀越浩二・山路禎之・山下 均・松本 工. 1997. オランダイチゴウイルス検定植物の低温培養による長期保存技術. *植防研報*. **33**: 103-106

- 29) HOWARD, C. M. and E. E. ALBREGTS. 1972. A strawberry fruit rot caused by *Colletotrichum fragariae*. *Phytopathology*. **62**: 600-602.
- 30) HOWARD, C. M. and E. E. ALBREGTS. 1983. Black leaf spot phase of strawberry anthracnose caused by *Colletotrichum gloeosporioides*=*C. fragariae*. *Plant Dis.* **67**: 1144-1146.
- 31) HOWARD, C. M. and E. E. ALBREGTS. 1984. Anthracnose of strawberry fruit caused by *Glomerella cingulata* in Florida. *Plant Dis.* **68**: 824-825.
- 32) HULL, J. W. 1960. Development of colchicines-induced 16-ploid breeding lines in *Fragaria*. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* **75**: 354-359.
- 33) 池田 弘. 1987. イチゴ炭そ病の品種間差異及び薬剤防除. 九病虫研会報. **33**: 73-75.
- 34) 飯野久栄・大和田隆夫・小沢百合子・山下市二. 1982. 果実類の糖および酸含量と嗜好に関する研究:(第4報) イチゴ・トマトについて. 食総研報. **40**: 71-77.
- 35) 稲葉昭次・伊東卓爾・中村恰之輔. 1977. イチゴの作型と果実中の糖および有機酸組成. 岡山大学報. **50**: 37-42.
- 36) 稲葉昭次・中村恰之輔. 1978. 作型別ならびに追熟中のイチゴ果実の成熟様相. 岡山大学報. **52**: 25-36.
- 37) 石川成寿・中山喜一・大兼善三郎. 1989. イチゴ炭そ病に関する研究 第3報 イチゴ炭そ病に対する品種間の発病差異. 栃木農試研報. **36**: 37-42.
- 38) 伊東秀夫. 1965. イチゴの花芽分化から成熟まで. イチゴ栽培の新技术. p65-70. 誠文堂新光社. 東京.
- 39) 岩本 嗣. 嘉 義隆. 1991. 組織培養によるフキの長期保存について. 育雑. **41** (別1): 202-203.
- 40) IWATSUBO, Y. and N. NARUHASHI. 1989. Karyotypes of three species of *Fragaria* (Rosaceae). *Cytologia*. **54**: 493-497.
- 41) KARTH, K. K., N. L. LEUNG, K. PAHL. 1980. Cryopreservation of strawberry meristems and mass propagation of plantlets. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **105**(4): 481-484.
- 42) KARTH, K. K., L. A. MROGINSKI, K. PAHL, N. L. LEUNG. 1981. Germplasm preservation of coffee (*Coffea arabica* L.) by in vitro culture of shoot apical meristems. *Plant Sci Lett.* **22**: 301-307.
- 43) 熊倉裕史・穴戸良洋. 1994. イチゴの果実肥大に及ぼす温度の影響. 園学雑. **62**(4): 827-832.
- 44) 雷 家軍・望月龍也・野口裕司・曾根一純. 1999. RAPD マーカーによるイチゴ近縁野生種の系統分類. 園学雑. **68** (別2): 133.
- 45) 李 玉花・望月龍也・野口裕司・曾根一純. 1996. RAPD マーカーによるイチゴ栽培品種の系統分類及び遺伝変異評価. 園学雑. **65** (別2): 306-307.
- 46) MAAS, J. L. and C. M. HOWARD. 1985. Variation of several anthracnose fungi in virulence to strawberry and apple. *Plant Dis.* **69**: 164-166.
- 47) 松本 理・山本雄慈. 1988. イチゴの組織培養における生長抑制物質の利用. 園学雑. **67** (別1): 214-215.
- 48) MILHOLLAND, R. D. 1982. Histopathology of strawberry infected with *Colletotrichum fragariae*. *Phytopathology*. **72**: 1434-1439.
- 49) 望月龍也・森下昌三・野口裕司・曾根一純. 1994. 試験管内培化法により作出した合成10倍体イチゴ (*Fragaria vesca*) の自殖第一代における形質変異. 育学雑. **44** (別2): 294.
- 50) 門馬信二・上村昭二. 1978. イチゴ果実の日持ち性の品種間差異並びに日持ち性と果皮・果肉の硬さとの関係. 野菜試研報. **B2**: 1-10.
- 51) 門馬信二・上村昭二. 1985. イチゴ果実における果皮及び果肉の硬さの遺伝. 野菜試研報. **B5**: 49-59.
- 52) 門馬信二・興津神二. 1987. イチゴ果実の糖度及び酸度の品種間差異並びに糖度及び酸度と他の形質との関係. 野菜試研報. **B7**: 11-19.
- 53) 森 利樹. 1999. イチゴにおける炭そ病抵抗性の遺伝. 園学雑. **68** (別2): 252.
- 54) 森 利樹. 2000. イチゴの果実硬度に関する遺伝率と選抜の効果. 園学雑. **69**: 90-96.
- 55) 森 利樹・戸谷 孝. 1995. イチゴの実生幼苗における炭そ病抵抗性選抜の効果. 園学雑. **64** (別1): 344.
- 56) 森 利樹・戸谷 孝・藤原孝之. 2000. 炭そ病抵抗性イチゴ新品種「サンチーゴ」の育成. 三重農技研報. 27号: 27-36.
- 57) 森下昌三. 1994. イチゴの品質・収量に関する育種学的研究. 野菜茶試研報. **A8**: 1-53.
- 58) 森下昌三・本多藤雄. 1985. 促成イチゴの成熟に関する研究. 野菜試研報. **C8**: 59-69.
- 59) 森下昌三・本多藤雄. 1991. イチゴの品種. 作型, 収穫期による果実の糖及び酸度の変動. 野菜茶試研報. **A4**: 41-55.
- 60) 森下昌三・望月龍也・野口裕司・曾根一純・山川 理. 1997. 促成栽培用イチゴ新品種「さちのか」の育成経過とその特性. 野菜茶試研報. **12**: 91-113.
- 61) 森下昌三・山川 理. 1996. イチゴの種間雑種に関する研究. 野菜茶試研報. **A11**: 69-95.
- 62) MORROW, E. B. and G. M. DARROW. 1952. Effect of limited inbreeding in Strawberries. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* **59**: 269-276.
- 63) MULLIN, R. H. and D. E. SCHLEGEL. 1976. Cold storage maintenance of Strawberry meristem plantlets. *Horticulture*. **11**: 100-101.
- 64) 内藤 潔. 1985. 「はつくに」の育成と特性. 課題別検討会資料「イチゴの品種と栽培上の諸問題」: 46-52.
- 65) 成川 昇・石橋光治・萩原佐太郎・土岐知久. 1981. イチゴ新品種「麗紅」の育成と特性. 千葉農試研報. **22**: 45-54.
- 66) 鳴橋直弘・岩田智子. 1988. モリイチゴとその近縁種の分類学的再検討. 植物地理・分類研究. **36**: 59-64.
- 67) NIEMIROWICZ-SZCZYTT, K., P. WYKA., B. CIUPKA. 1986. *In vitro* colchicines treatment of interspecific sterile *Fragaria* L. hybrid meristems and screening of regenerated plants for fruiting ability. *Genetica Polonica*. **27**: 315-323.
- 68) 野口裕司・望月龍也. 1991. イチゴの炭そ病抵抗性の早期検定法と品種間差異. 野菜茶試久留米支場研究年報. **4**: 120-122.
- 69) NOGUCHI, Y., T. MOCHIZUKI, K. SONE. 1997. Interspecific hybrids originated from crossing Asian wild strawberries (*Fragaria nilgerrensis* and *F. iinumae*) to *F. x ananassa*. *Horticulture*. **32**(3): 439.
- 70) ODA, Y. and S. NISITANI. 1989. Chromosome numbers of strawberries native to Japan. *Chromosome Information Service*. **47**: 26-27.
- 71) 織田弥三郎・田辺久輝・花房正芳. 1990. *Fragaria* 属野生種の遺伝資源としての評価に関する研究.(第2報) 果実(偽果)の香氣成分について. 園学雑. **59**(別2): 468-469.

- 72) 岡山健夫. 1988. イチゴ炭そ病の病原菌と発生生態. 植物防疫. **42**: 559-563.
- 73) 岡山健夫. 1989. 奈良県におけるイチゴ炭そ病の発生実態と薬剤防除について. 奈良農試研報. **20**: 79-86.
- 74) 岡山健夫. 1994. イチゴ炭そ病の病原菌, 発生生態, および発病制御に関する研究. 奈良農試研報. 特別報告.
- 75) OOSAWA, K. and K. TAKAYANAGI. 1982. High yielding variants in strawberry derived from anther culture. Proc. 5th Intl. Cong. Plant Tissue & Cell Culture. Plant Tissue Culture. pp765-766.
- 76) 大澤勝次. 1994. 植物バイオテクの基礎知識. 農山漁村文化協会. 東京.
- 77) REED, B. M. 1992. Cold storage of strawberries in vitro: A comparison of three storage systems. Fruits Varieties Journal. **46**(2): 98-102.
- 78) ROXAS, N. J. L., Y. TASHIRO, S. MIYAZAKI, S. ISSHIKI, A. TAKESHITA. 1995. *In vitro* preservation of Higo Chrysanthemum (*Dendranthema x grandiflorum* (Ramat.) Kitam.). J. Japan. Soc. Hort. Sci. **63**: 863-870.
- 79) SAKAI, A. M., YAMAKAWA, D. SAKATA, T. HARADA, T. YAKUWA. 1978. Development of a whole plant from an excised strawberry runner apex frozen to -196°C . Low. Temp. Sci. Ser. **B36**: 31-38.
- 80) SCOTT, D. H. and F. J. LAWRENCE. 1975. Strawberries. p. 71-97. In: J. Janick and J. N. Moore (eds.). Advances in fruit breeding. Purdue Univ. Press, West Lafayette, Ind.
- 81) SEBASTIAMPILLAI A. R. and J. K. JONES. 1976. Improved techniques for the induction and isolation of polyploids in the genus Euphytica. **25**: 725-732.
- 82) SENANAYAKE, A. D. Y. and R. S. BRINGHURST. 1967. Origin of *Fragaria* polyploids. 1. Cytological analysis, Amer. J. Bot. **54**: 221-228.
- 83) SHERMAN, W. B., J. LANICK, H. T. ERICKSON. 1996. Inheritance of fruit size on Strawberry. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. **89**: 211-215.
- 84) 宍戸良洋・熊倉裕史・新井和夫. 1990. イチゴの花芽分化及び果実肥大に関する研究: 第1報 花芽分化及び果実肥大に及ぼす暗黒低温処理及び夜冷短日処理の影響. 野菜茶試報. **C1**: 45-61.
- 85) SMITH, B. J. and J. M. SPIERS. 1982. Evaluating techniques for screening strawberry seedlings for resistance to *Colletotrichum fragariae*. Plant Dis. **66**: 559-561.
- 86) SMITH, B. J. and L. L. BLACK. 1987. Resistance for strawberry plants to *Colletotrichum fragariae* affected by environmental conditions. Plant Dis. **71**: 834-837.
- 87) SMITH, B. J. and L. L. BLACK. 1990. morphological, cultural, and pathogenic variation among *Colletotrichum* species isolated from strawberry. Plant Dis. **74**: 69-76.
- 88) STAUDT, G., F. DRAWERT, R. TRESS. 1975. Gaschromatographisch-massenspektrometrische Differenzierung der Aromastoffe von Erdbeeren 2. *Fragaria nilgerresis*. Z. Pflanzenguchtg. **75**: 36-42.
- 89) SWARTZ, H. J., G. J. GALLETTA, R. H. ZIMMERMAN. 1981. Field performance and phenotypic stability of tissue culture-propagated strawberries. J. Amer. Hort. Sci. **106**: 667-673.
- 90) 高木洋子・E. OTTO・O. M. ISLAM・仙北俊弘. 1994. 熱帯イモ類遺伝資源のための *in vitro* 保存法の確立 I. ヤム・タロ遺伝資源の中・長期保存の基礎的条件. 育雑. **44**(別1): 273.
- 91) 高橋春實. 1993. イチゴの黒斑病抵抗性株の育成に関する研究. 秋田県立農業短期大学研究報告. **19**: 1-44.
- 92) TANDON, P. and J. SHARMA. 1986. Regeneration of *Dendrobium* from cold persevered protocorms. Abstr. 6th Intl. Cong. Plant Tissue and Cell Culture. minneapolis: 425.
- 93) TRAJKOVSKI, K. 1996. Future work on specific hybridization in *Fragaria* at Balsgard. 3rd International Strawberry Symposium. Book of Abstract. Part 1: 83.
- 94) VINE, S. J. 1968. Improved culture of apical tissues for production of strawberries. J. Hort. Sci. **43**: 293-297.
- 95) WAITHAKA, K., A. C. HILDEBRANDT, M. N. DANA. 1980. Hormonal control of strawberry axillary bud development *in vitro*. J. Amers. Soc. Hort. Sci. **105**: 428-430.
- 96) WATANABE, K., F. KAWAI, M. KANAMORI. 1991. Preservation of rice callus by gas-replacement. Plant Tissue Culture Letters. **8**: 36-38.
- 97) WESTCOTT, R. J. 1981. Tissue culture storage of potato germplasm. 2. Use of growth retardants. Potato Research. **24**: 343-352.
- 98) WILSON, L. L., V. MADDEN, M. A. ELLIS. 1990. Influence of temperature and wetness duration on infection of immature and mature strawberry fruit by *Colletotrichum*. Phytopathology. **80**: 111-116.
- 99) YAMAKAWA, O. 1990. Production of and research on strawberry in Japan. Tropical Agriculture Research Series. **23**: 248-256
- 100) 山川 理・野口裕司・森下昌三. 1990. イチゴ炭そ病の検定法. 野菜・茶業試験場久留米支場研究年報. **3**: 137-141.
- 101) 山本 勉. 1971. イチゴの新病害「炭そ病」. 植物防疫. **25**: 61-64.
- 102) YARNEL, S. H. 1931. Genetic and cytological studies on *Fragaria*. Genetics. **16**: 422-454.

Studies on the Stabilization of Strawberry Forcing Culture and Breeding of Adaptable Cultivars in the Warmer Region of Japan

Yuji NOGUCHI

Summary

To improve the breeding of superior strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) cultivars that contribute to the stabilization and development of forcing culture in the warmer region of Japan, the following four aspects were investigated.

- ① During the high temperature period, cultivar specify for the development and maturation of the fruit, and possibility of breeding adaptable cultivars.
- ② Development of a convenient selection method for resistance to strawberry anthracnose which is a serious problem in the warmer region and breeding of lines with a high resistance.
- ③ Introduction of the aromatic scent from diploid wild species to the cultivars for the improvement of the strawberry market.
- ④ Development of a new storage system for the preservation of strawberry genetic resources for various breeding purposes.

1. Growth of the plant and development of fruits under high temperature conditions associated with area extension and earlier harvesting in strawberry forcing culture.

(1) Differences in plant growth, fruit yield and fruit quality under high temperature conditions in cultivars with various physiological characteristics.

On the fruit quality of strawberry which cultured under forcing culture in areas of low latitudes and high temperatures of Japan, the acidity was higher and the color of the fruit skin was darker than under forcing culture in other areas. Though the decrease of the fruit firmness was remarkable, the sugar concentration remained high. To increase the yield under forcing culture in areas at low latitudes and high temperatures, it is necessary to use cultivars which can initiate flower buds consecutively or which have a high-yielding apical and second fruits cluster. Promising cultivars included 'Nyoho', 'Akihime' and 'Summer Berry' characterized by consecutive flower bud initiation, 'Pajaro', 'Florida Belle' characterized by high-yielding apical and second fruit cluster. It was eventually assumed that cultivars with a good fruits quality, especially fruit firmness such as 'Sachinoka' and 'Kitanokagayaki' showed a high adaptability to forcing culture under high

Received: December 13, 2001

Kurume branch, National Research Institute of Vegetables, Ornamental plants and Tea. 1823 Mii-machi, Kurume, Fukuoka 839-8503, Japan

Present address :

Department of Crop Breeding, National Agricultural Research Center for Hokkaido Region

National Agricultural Research Organization. Hitsujigaoka 1, Toyohira-ku, Sapporo 062-8555, Japan

temperature conditions.

(2) Differences in fruit development during the high temperature period caused by earlier flower-bud initiation in forcing culture

The mean fruit weight did not depend on the length of the maturation period and accumulated temperature during the maturation period but feuded to depend on the mean temperature. Though the mean fruit weight decreased when the mean air temperature rose, no cultivar specificity was recognized in the rate of decrease. However, differences in fruit development were recognized between the cultivars, and the fruit size of the cultivars that bore large fruits under appropriate temperature conditions was large under high temperature conditions. It was considered that breeding of cultivars that bear large fruits under high temperature conditions was possible by repeating the selection of the lines that bear large fruits regardless of the culture type.

2. Development of selection method and breeding of resistant lines to anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) frequently observed under forcing culture.

(1) Convenient method for screening strawberry for resistance to anthracnose by the dipping inoculation method of detached petiole from plant.

An efficient screening method was developed for evaluating the resistance to strawberry anthracnose. In this new method, the resistance of breeding selections is evaluated by measuring the lesion length on detached petioles at seven days after dip inoculation with a suspension of 10^5 conidia per milliliter and incubation in the growth chamber at 25°C under high humidity and illumination (12hr/day). As petiole dip inoculation depends on wound infection of petioles cut from a plant, this method is not satisfactory for the evaluation of the field resistance of strawberry plants. Therefore, this method should not be applied for the assessment of cultivars but could be applied for screening resistant lines in conventional breeding programs. In addition, this method has many advantages. As it does not require an insulated green house with controlled temperature and humidity, it is possible to select resistant lines in a very small area such as incubator. The plants are not infected or killed by the disease. Resistant lines could be selected all the year around because of the lack of dependency on environmental factors throughout the duration of the test.

(2) Breeding of strawberry lines 'Kurume PL No.1' and 'Kurume PL No.2' resistant to anthracnose, and their characters.

The breeding lines 'Kurume PL No.1' and 'Kurume PL No.2' which exhibited the strongest resistance to strawberry anthracnose among the existing cultivars were bred. These lines were exhibited multiple resistance, being resistant to anthracnose as well as *Fusarium* wilt and powdery mildew.

3. Breeding of a new aromatic strawberry line for forcing culture.

(1) Interspecific cross between diploid wild species *Fragaria nilgerrensis* that has a specific aromatic scent, and the octoploid species *F. x ananassa*. Seedlings were obtained from the interspecific cross *F. x ananassa* cv. Toyonoka and *F. nilgerrensis* var. Yunnan. Although some of the seedlings bloomed, all the seedlings were completely sterile.

(2) *In vitro* colchicine treatment of the sterile interspecific cross lines for chromosome doubling.

Based on the results of RAPD analysis, it was confirmed that 'TN13-125', one of the regenerated lines after chromosome doubling treatment of a sterile line, was an interspecific hybrid line between

'Toyonoka' and *F. nilgerrensis*. As this line was vigorous, the fruit quality was almost equivalent to that of the cultivar and the line displayed the aromatic scent of the wild species, it was named 'Kurume IH No.1'.

(3) Yield and fruit characters of the interspecific hybrid line 'Kurume IH No.1' which exhibits the aromatic scent of the diploid wild species.

Harvest starting date of 'Kurume IH No.1' was about the same as that of 'Toyonoka'. The total yield of 'Kurume IH No.1' was slightly lower than that of 'Toyonoka', but the yield of the commercial fruits was higher. The fruit had a large (13g) size, showing a short cone with a low skin gloss and was pale in color. Sugar concentration (Brix) was high, but fruit firmness was low. As 'Kurume IH No.1' displayed characters that were close to those of the cultivar, it showed on adaptability as a commercial cultivar for fresh market. It is also considered that 'Kurume IH No.1' could be used for processing, because the fruit had a specific aroma like that of peach.

(4) Improvement of the fruit quality of the interspecific hybrid line 'Kurume IH No.1' by backcrossing to the cultivar

The aromatic volatile constituent of 'Kurume IH No.1' was similar to that of 'Yunnan', and the relative value of ethyl acetate was higher while that of ethyl n-butyrate was lower. The specific aroma was similar to that of peach. When 'Kurume IH No.1' was backcrossed to the cultivar, fruit characters such as skin color and firmness were improved while the aromatic character was maintained. Therefore, it was considered that the interspecific hybrid line 'Kurume IH No.1' to which the aromatic scent had been introduced from the wild species could be used as a breeding material.

4. Development of a new storage system for the safe and convenient preservation of various strawberry germplasm accessions in the warmer region.

(1) Improvement of culture method to prevent the occurrence of somatic mutations.

Culture of rather large fragments of meristem tip tissue (about 1.0mm) on B5 medium without the use of growth regulators was considered to minimize the chance of occurrence of somatic mutations.

(2) Growth depression of plantlets by culture under low temperature conditions, on growth-inhibiting media or in small tubes.

Uniconazol-P and low temperature suppressed the elongation of the plantlets, although leafing was accelerated on the medium with Uniconazol-P, suggesting that Uniconazol-P could not prevent the aging of the plantlets. On the other hand, a remarkable growth depression of the plantlets occurred when they were cultured in small tubes under low temperature conditions. These results indicated that the new method in which of rather large fragments of meristem tip tissue could be cultured on B5 medium without growth regulators in small tubes at 5°C under light provided a safe and convenient storage system for the preservation of strawberry germplasm.

(3) Preservation of strawberry plantlets by the new storage system.

It was possible to preserve plantlets of several strawberry cultivars without the need for subculturing the materials by the application of the new storage system whereby the materials were cultured in small tubes at low temperatures for 4.4 years (1,602 days). The plantlets that were preserved at 5°C for 4.4 years, grew readily by transfer to an incubator at 25°C, and they grew up regularly after acclimatization.

(4) Suitability of the new storage system through culture of the materials in small tubes at low temperatures and evaluation of the strawberry plants after long-term preservation.

The plants, which were preserved by the new storage system in small tubes at low temperatures for about 4.4 years, showed vigorous growth without somatic mutations. The strawberry germplasm was preserved safely and conveniently in a small area with minimal labor by the new storage system. In addition, this new storage system enabled to prevent the occurrence of somatic mutations. Therefore, it was considered that the new storage system whereby the materials were cultured in small tubes at low temperatures was very practical for the preservation of strawberry germplasm in warmer regions.