

イチゴの生理生態特性の解明による周年生産技術の開発 および周年栽培品種の育成と普及に関する研究

稲 葉 幸 雄

目 次

第1章 序論	1
第2章 クラウンの傾斜と花房伸長方向の関係	2
緒言	2
材料および方法	2
結果	2
考察	3
第3章 促成栽培における主茎腋芽の発育に及ぼす日長，温度および株栄養の影響	7
第1節 日長，定植時期および定植後の株栄養の影響	7
緒言	7
材料および方法	7
結果	8
考察	10
第2節 日長，温度および定植前・後の株栄養の影響	11
緒言	11
材料および方法	11
結果	12
考察	15
第4章 花粉と雌ずいの受精能力	17
緒言	17
材料および方法	17
結果	19
考察	23
第5章 光合成速度の日変化	27
緒言	27
材料および方法	27
結果および考察	28
第6章 10月どり作型における一次腋花房の連続出蕾技術の開発	32
緒言	32
材料および方法	32

結果	.....	33
考察	.....	36
第7章 イチゴ品種の近親交配の程度および近交係数と収量の関係	.....	38
緒言	.....	38
材料および方法	.....	38
結果	.....	39
考察	.....	42
第8章 四季成り性品種「とちひとみ」の育成と普及	.....	44
第1節 四季成り性品種「とちひとみ」の育成	.....	44
緒言	.....	44
材料および方法	.....	44
結果および考察	.....	46
第2節 「とちひとみ」を用いた夏秋どり作型開発と普及	.....	48
緒言	.....	48
材料および方法	.....	48
結果および考察	.....	49
第9章 総合考察	.....	54
要旨	.....	57
謝辞	.....	59
引用文献	.....	60
Summary	.....	65

第1章 序論

我が国における本格的なイチゴの栽培は、福羽逸人によって1908年に育成された国産品種第1号の「福羽」に始まる（金指・川里，2002）。その後多くの品種が育成され、栽培作型も露地栽培からトンネル栽培を経て、現在主流となっているハウス促成栽培へと発展してきた。イチゴは本来であれば、5月下旬から7月にかけてのほんのわずかな期間にだけ収穫される初夏の果物である。ところが、出荷時期を早めるほど高単価で取り引きされたことから、少しずつ収穫開始時期が前進化し、現在では11月上旬から安定的に出荷されるようになった。収穫開始時期の前進化を進める中で、イチゴの休眠に関する多くの生態的な研究がおこなわれた。栃木県を含む北関東地域では、アメリカ合衆国から導入された休眠の深い品種である「ダナー」が、1950年代半ばから主力品種として作付けされた。加藤・大和田（1967）によって開発された株冷蔵栽培は、冷蔵庫に株を入庫し、人工的に低温遭遇させて休眠を打破する画期的技術であり、北関東における半促成栽培の普及に大きく貢献した。一方、西日本地域では、1957年に育成された「宝交早生」が広く栽培されていたが、「宝交早生」の不時出蕾による早期開花にヒントを得て、電照を導入した促成栽培作型が開発された（藤本，1972）。「ダナー」や「宝交早生」は比較的休眠の深い半促成タイプの品種であったが、静岡県では休眠の極めて浅い「福羽」を用いて促成栽培（石垣栽培）が行われた。これらの栽培方法以外にも、イチゴの休眠特性を上手く利用した低温カット栽培（高井，1976）が東北地域で行われた。以上述べたように、「福羽」の促成栽培を除くと、いずれも休眠制御技術をベースにして早期出荷作型が開発されてきたことがわかる。

1980年代半ばに、ほぼ時を同じくして育成された「女峰」（赤木ら，1985）と「とよのか」（本多ら，1985）の普及によって、イチゴの促成栽培の様相は一変した。この2品種は、いずれも休眠の浅い「福羽」の血を色濃く受け継いでおり、促成栽培用品種に不可欠な要素である休眠の浅い特性を持っている。我が国における本格的な促成栽培は、「女峰」と「とよのか」の普及とともに始まったといっても過言ではない。「女峰」と「とよのか」は、半促成タイプの品種に比べ花芽分化時期が早く、いずれも自然条件下では9月下旬に花芽が分化する。従って12月中旬から収穫を開始す

ることが可能となった。松田・猪崎（1980）によって開発されたポット育苗技術は、窒素栄養のコントロールによって花芽分化時期をさらに早めようとするもので、「女峰」、「とよのか」の促成栽培の前進化に貢献した。1980年代後半に、夜冷短日育苗（堀田，1987）による花成誘導技術が開発されるに及んで、イチゴの促成栽培は作型としての完成を見た。「女峰」と「とよのか」が広く普及して以降、技術開発の中心は、それまでの休眠制御技術から花成コントロール技術の開発とその利用にシフトして今日に至っている。現在では、短日・低温条件を与えて花成誘導を行う夜冷短日処理や低温暗黒処理などの育苗方法が広く普及しており、これらの花芽分化促進技術を応用することで、一季成り性品種を用いた周年生産が理論的には可能になっている。しかし、一季成り性品種を用いて周年生産を行うには、花成誘導処理に多大な労力と生産コストを要することから、経営的に見合う栽培技術としては確立されていない。従って、現状では11月上旬から収穫を開始する促成栽培作型が、経営的に見合う早出しの限界とされている。

以上のような状況を踏まえ、本研究ではまず一季成り性品種を用いることを前提として、労力とコストを最小限に抑えながら、収穫時期を現在の11月上旬からさらに前進化できないか検討した。次に、労力とコストのかかる花成誘導処理を必要としない四季成り性品種の育成を試みた。さらに、育成した四季成り性品種を用いた夏秋どり作型の開発とその普及性を検討することで、イチゴの周年生産の可能性について論議した。以下、第2章から第5章までは、イチゴの安定的な周年生産を実現するために必要な生理生態特性の解明について述べる。第6章では10月どり作型を安定化させるための一次腋花房の連続出蕾技術の開発について述べる。第7章ではイチゴの近親交配の実態を明らかにするとともに、近交係数を活用した育種手法の開発について述べ、第8章では四季成り性の新品種「とちひとみ」の育成と「とちひとみ」を用いた夏秋どり作型の開発とその普及について述べる。第9章で総合的な考察を行う。

第2章 クラウンの傾斜と花房伸長方向の関係

緒言

イチゴは2条高畝栽培が一般的である。この栽培法では、花房を通路側に伸長させ、収穫作業の効率化を図っている。イチゴの花房は、採苗時に残したランナー軸の反対方向に伸長することが古くから知られており（本多，1977；香川，1971）、ランナー軸は定植時に株の花房伸長方向を見極めるための重要な目安となっている。ところで、イチゴのセル育苗では、発根の不十分な本葉1.5枚～2.0枚程度の若いランナー苗を採苗するため、セルトレイへの植え付けには専用のランナー固定資材を用いるか、あるいはランナー軸を培地に挿して苗を固定する方法（以下、ランナー挿し育苗という）が取られることが多い（石原ら，1994）。ランナー挿し育苗した苗では、ランナー軸を目安に定植すると、花房の伸長方向が乱れることが報告されており（岡田，1982）、その後の研究でイチゴの花房伸長方向は、ランナー軸方向だけでなく、クラウン部分の傾斜の向きによっても影響を受けることが明らかにされた（岡田，1982；伏原，1995；小林，2002）。

現在は、ランナー挿しを行う育苗法では、ランナー軸方向だけでなく、クラウンの傾斜方向も考慮して定植作業が行われている。ランナー挿しを行わない育苗法では、地床育苗、ポット育苗および近年急速に普及している空中採苗法を含め、いずれの育苗法においてもランナー軸方向を目安にした定植作業が行われている。

近年、育苗の省力化および分業化の一環として大量増殖が可能な組織培養苗（以下、培養苗という）の利用が検討され、すでに普及段階に入っている（小田，1995；齋藤・坂森，1995；北野ら，1997）。しかし、培養苗は一般のランナー苗と異なり花房伸長方向の目安となるランナー軸がないため、定植後の花房伸長方向がばらつきやすい傾向がある。そこで本章では、ランナー苗におけるクラウンの傾斜と花房伸長方向との関係に着目し、培養苗においても一般のランナー苗と同様、クラウン部分の傾斜によって花房伸長方向が制御できるかどうかを検討した。また、花房伸長方向が花芽発育ステージのどの段階で決定されるか調べた報告はないので、花房伸長方向の決定時期についても併せて検討した。

材料および方法

イチゴ品種「とちおとめ」の茎頂を用いて多芽体培養によって増殖した苗を供試した。液体培養法（メッシュウエーブ法）によって増殖し（小田ら，1993；北野ら，1993）、128穴のセルトレイに移植してセル育苗した苗を、2001年8月2日に10.5cm径のポリポットに鉢上げした。供試苗は、クラウン部分に傾斜のない本葉4～5枚の苗を選び、鉢上げ作業時にクラウン部分に傾斜を持たせないように、苗をポット培地地面に対して垂直に植え付けた。9月10日に根鉢のまま18cm径のポリポットに移植し、9月26日からポットを南側に20～25度傾斜（第1図）させ、株の起きあがりを利用してクラウン部分に傾斜を付ける処理を施した。

試験区は、ポットの傾斜処理時期を変えた3処理区（処理1；最後まで傾斜方向に変更を加えない、処理2；10月16日に傾斜方向を180度回転（第2図）、処理3；11月5日に傾斜方向を180度回転）の他に、対照としてポットの傾斜処理を行わない区を設けた。花房伸長方向は、第3図のように南側（当初の傾斜方向）を1、北側を6とし、60度間隔で2～5の指数を与え、頂花房は12月4日、一次腋花房は2002年1月29日にそれぞれ1番花の伸長方向をその花房の伸長方向として調査した。供試株数は各処理15～22株とした。ポットは10月下旬に温室内に搬入し、昼温25℃、最低夜温10℃を目安に管理した。肥料は液肥を適宜かん注施用した。

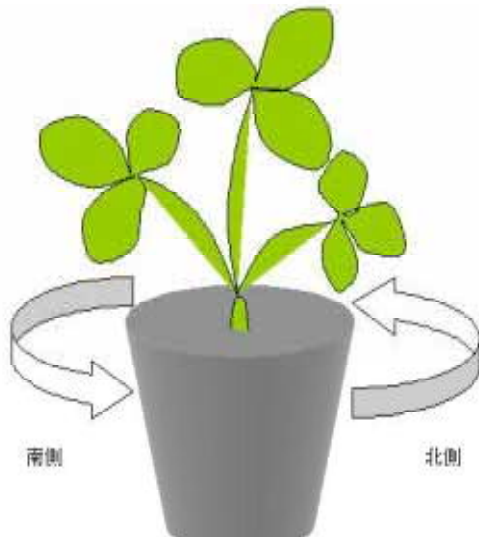
結果

ポット傾斜処理開始時および傾斜処理変更時（ポット回転処理時）の花芽発育ステージは、9月26日が頂花房花芽分化期（二分期）、10月16日が頂花房出蕾始期、11月5日が頂花房開花始期であった。また、10月16日に一次腋花房の花芽分化状況を調べるため3株を抜き取り、実体顕微鏡を用いて茎頂の分化状況を調べたところ、それぞれ、肥厚期、花芽分化期（二分期）および花房分化期であった。11月5日の一次腋花房の花芽発育状況については調査しなかったが、経過日数からみて雌ずい形成期から花器完成期であったと推定される（第1表）。

頂花房および一次腋花房の伸長方向を第4図に示した。頂花房の花芽分化時期である9月26日から傾斜処理を開始し、その後傾斜方向を変更せずに処理期間中一定の傾斜方向を維持した処理1では、頂花房および一次腋花房ともクラウンの傾斜方向側（1の方向）に花房を伸長

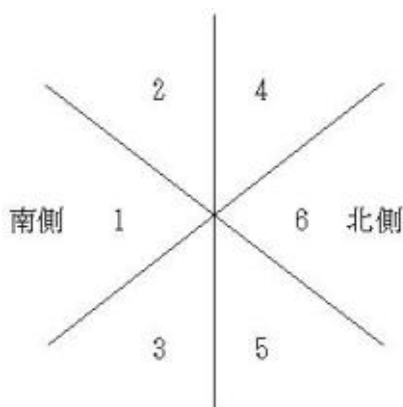


第1図 クラウン部分に傾斜をつけるためのポット傾斜処理（傾斜角度；20～25度）



第2図 ポット回転処理

10月16日および11月5日にポットを180度回転



第3図 花房伸長方向の調査指数

させた株が多く、伸長方向のばらつきが処理間で最も小さかった。頂花房出蕾始期の10月16日に傾斜方向を180度回転させた処理2では、頂花房の出蕾方向は、回転処理前の傾斜方向側（6の方向）と回転処理後に生じた新たな傾斜方向側（1の方向）およびその中間にあたる2～5の方向に伸長する株が混在し、伸長方向のばらつきが大きかった。一次腋花房では、伸長方向のばらつきはみられたものの、回転処理前の傾斜方向側（6の方向）に伸長するものが多かった。頂花房開花始期の11月5日に傾斜方向を180度回転させた処理3では、頂花房の伸長方向は、回転処理前の傾斜方向側（6の方向）に伸長する株が多く、伸長方向のばらつきは小さかった。一次腋花房でも、回転処理前の傾斜方向側に伸長する株の割合がやや多かったが、処理2に比べ新たな傾斜方向側（1の方向）に伸長するものが増加した。傾斜処理を行わずクラウン部分に傾斜を与えなかった対照区では、頂花房は半数が1の方向、残りは3～6の方向に伸長し、処理間のばらつきが大きかった。一次腋花房はほぼ等しく全方向に伸長した。

花房伸長方向について1～3を南側、4～6を北側とし、花房は両方向に等しく伸長すると仮定して、二項検定法を行った結果を第2、第3表に示した。頂花房では対照区と処理2（頂花房出蕾始期に傾斜方向を180度回転させた）は、花房伸長方向が南側と北側に1対1の比に分布するという帰無仮説を棄却できなかったが、処理1と処理3ではこの仮説は棄却された。一次腋花房でも処理1は花房の分布に有意な偏りのあることが明らかとなった。なお、同一個体について頂花房と一次腋花房の伸長方向を比較してみたところ、対照区では頂花房と同一方向（1に対して1, 2, 3の方向）に伸長するものと反対方向に（1に対して4, 5, 6の方向）に伸長するものの割合はほぼ1：1となったのに対し、処理1と3では大部分の一次腋花房は頂花房と同一方向に伸長し、処理2では頂花房と反対方向に伸長した。また、二項検定法を行ったところ、一次腋花房が頂花房と反対方向に1：1の割合で伸長するという帰無仮説は、処理1, 2, 3に関しては棄却されることが明らかとなった（第4表）。

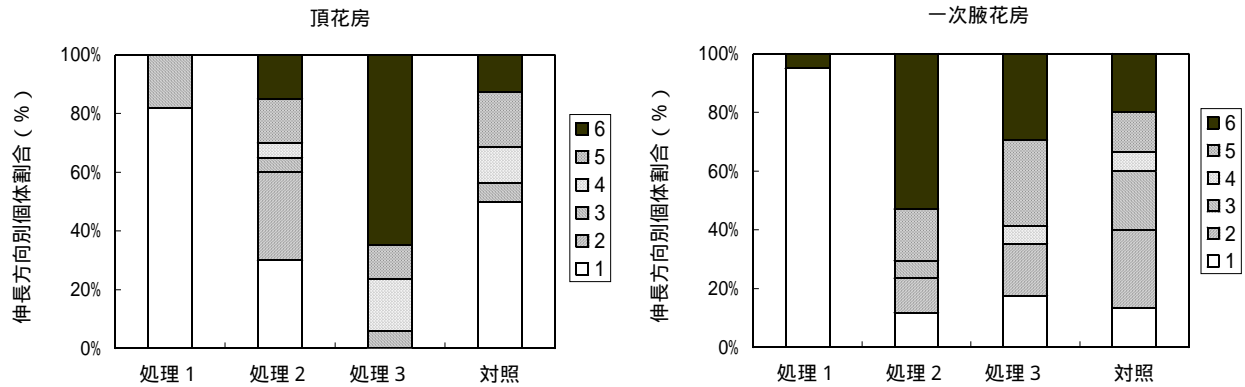
考察

近年、育苗の省力化手段として急速に普及しているセル育苗では、作業の効率化と活着促進（小林，2002）を目的に、ランナー軸を培地に挿して苗を固定するランナー挿し育苗が行われるため、花房の伸長方向の乱れが問題となっていたが（松尾ら，1995）、セ

第1表 処理内容と傾斜処理変更時の頂花房および一次腋花房の花芽発育ステージ

処理区	傾斜処理開始時期	傾斜変更(ポット回転処理)時期	傾斜変更時期の花芽発育ステージ	
	月/日	月/日	頂花房	一次腋花房
処理 1	9/26	変更無し	花芽分化期(二分期) ²	未分化 ²
処理 2	9/26	10/16	出蕾始期	肥厚期～花房分化期
処理 3	9/26	11/5	開花始期	雌ずい形成期～花器完成期(推定)
対 照	ポット傾斜処理なし			

²9月26日の傾斜処理開始時の花芽発育ステージ



第4図 頂花房および一次腋花房の伸長方向

伸長方向1～6については第3図参照

第2表 頂花房の伸長方向

処理区	株数	花房伸長方向		帰無仮説	P
		南側	北側		
処理 1	22	22	0	1 : 1	0.001 >P
処理 2	20	13	7	1 : 1	0.2 >P>0.1
処理 3	17	1	16	1 : 1	0.001 >P
対 照	16	9	7	1 : 1	0.7 >P>0.6

第3表 一次腋花房の伸長方向

処理区	株数	花房伸長方向		帰無仮説	P
		南側	北側		
処理 1	20	19	1	1 : 1	0.001 >P
処理 2	17	5	12	1 : 1	0.1 >P>0.05
処理 3	17	6	11	1 : 1	0.3 >P>0.2
対 照	15	9	6	1 : 1	0.5 >P>0.4

第4表 頂花房と一次腋花房の伸長方向の関係

処理区	株数	花房伸長方向		帰無仮説	P
		同一方向	反対方向		
処理 1	20	19	1	1 : 1	0.001 >P
処理 2	17	5	12	1 : 1	0.01 >P
処理 3	15	6	11	1 : 1	0.01 >P
対 照	15	9	6	1 : 1	0.9 >P>0.8

一次腋花房が形成されなかった個体があるため、個体数は第2、第3表と一致しない

同一方向は第3図の1に対して1, 2, 3の位置, 反対方向は4, 5, 6の位置を指す

ル育苗でも育苗時あるいは定植時にクラウンに傾斜を与えてやれば、ランナー軸方向に関係なく、クラウンの傾斜方向に花房が伸長することが、小林(2002)によって明らかにされた。このことは以下のように考えられる。イチゴは親株から伸長したランナー(匍匐茎)の先端に子苗が発生し、子苗から再びランナーが伸長し次々に子苗を発生させる。子苗は第5図のようにランナーの伸長方向に対して重力刺激に反応し垂直に起き上がるため、この時にクラウンに傾斜が生じ、その傾斜方向は必ず親株からのランナー軸の反対側となる。従って、花房はランナー軸の反対方向、つまりクラウンの傾斜方向側に伸長することになる。しかし、ランナー挿し育苗では、ランナー軸を培地に挿すため、屈地性によりクラウンに新たな傾斜が発生し、ランナー軸とクラウンの傾斜方向の対応関係が乱れるため、ランナー軸を目安に定植すると花房伸長方向がばらつくと考えられる。

本試験では、クラウンの傾斜とランナー軸を持たない培養苗を用いて、人為的にクラウンに傾斜を与えることで、クラウンの傾斜方向側に花房を伸長させることができることを確かめようとした。クラウンに傾斜



第5図 ランナー苗のクラウン部分の傾斜

を与えなかった対照区では、頂花房および一次腋花房とも伸長方向が一定せず全方位に伸長したのに対し、頂花房花芽分化時にクラウンの傾斜処理を開始し、その後傾斜方向の変更を行わなかった処理1では、頂花房および一次腋花房ともクラウンの傾斜側に花房が伸長した。このことは、クラウンの傾斜方向が花房伸長方向を決定づける要因であることを示している。

次に花房伸長方向が花芽発育ステージのどの段階で決定されるのかを明らかにするため、頂花房出蕾始期および頂花房開花始期にポットを180度回転し、クラウンの傾斜方向を変更する処理を行った。頂花房出蕾始期に変更した場合（処理2）は、伸長方向にばらつきがみられたが、開花始期の変更（処理3）では変更前のクラウンの傾斜側（方位6）に伸長した株が多かったことから、少なくとも開花始期にはすでに花房伸長方向が決定されていたと考えられる。花芽分化時期に傾斜処理を開始した処理1では、殆どが傾斜側に伸長し、伸長方向のばらつきが小さかったことから、花芽分化時期には花房伸長方向は決まっておらず、その後のクラウンの傾斜方向で決定されると考えられる。花芽分化時期には未だ花房の伸長方向が決定されていないので、花芽分化した苗を定植時に株を寝かせて植え付け、クラウンに新たな傾斜を与えて花房伸長方向を揃える技術が成り立つことになる。小林（2002）の報告および筆者が行ったランナー苗および培養苗を用いた予備試験では、花芽分化した苗をそれまでのクラウンの傾斜方向を無視して通路側に倒して植え付けることで、ほぼ完全に通路側に花房を伸長させることができた（データ省略）。これに対して、出蕾始期は重力刺激の変化に反応して花房伸長方向が変化しやすい時期で、重力変化に敏感に反応してそれまで受けた重力刺激が打

ち消される個体がある一方、既に十分な重力刺激を受けて重力刺激変化の影響を受けない個体もあるため、反応に大きなばらつきが生じたものと考えられる。

岡田（1982）や小林（2002）の報告は、頂花房の伸長方向についてのみ言及しているが、一次以降の腋花房については、頂花房の伸長方向とほぼ同一方向に花房が伸長してくることが経験的に知られている。そこで、本試験では一次腋花房の花房伸長方向とクラウン傾斜の関係についても検討した。処理1では頂花房と同じくクラウンの傾斜方向に伸長したが、処理2では回転処理前のクラウン傾斜方向（6の方向）に伸長する割合が、頂花房に比べて上昇し、処理3は逆に減少した。処理2における傾斜処理変更時は、ちょうど一次腋花房の花芽分化時期（二分期）前後に相当し、処理3における傾斜処理変更時は調査を行っていないが、雌ずい形成期から花器完成期であったと推定される。頂花房の伸長方向は、出蕾始期に傾斜角度を変えた処理2では各方向に大きくばらつき、一次腋花房の伸長方向も雌ずい形成期から花器完成期に傾斜角度を変えた処理3で大きなばらつきを示した。このことは、花芽分化期から出蕾始期にかけては、開花始期に比べ、重力刺激の変化に対して花房伸長方向が影響を受けやすい時期であることを示している。一方、一次腋花房の花芽分化時期に回転処理を行った処理2では、大部分の花房が4から6の方向（回転処理前の傾斜方向）へ伸長した。これは、一次腋花房の伸長方向は腋花房花芽分化時期に既に決定していたことを示唆しているが、そうだとすると、頂花房と一次腋花房とで花房の伸長方向が決まる時期に大きな差があることになる。また、雌ずい形成期から花器完成期にかけての回転処理によって一次腋花房の伸長方向がばらついた処理3の結果とも矛盾することになる。このように本試験では一次腋花房の伸長方向が決定する時期を明らかにすることができなかった。ところで、同一個体について頂花房と一次腋花房の伸長方向の比較から（第4表）、対照区では頂花房と同一方向に伸長するものと反対方向に伸長するものの割合はほぼ1:1となったが、処理1と3では大部分の一次腋花房は頂花房と同一方向に伸長し、処理2では頂花房と反対方向に伸長した。頂花房と一次腋花房の伸長方向が処理によって異なった理由については不明である。しかし、この結果は一次腋花房の伸長方向は重力刺激だけで決まるのではなく、一次腋花房の伸長方向が決まる時期の頂花房の発育ステージやその位置も影響を及ぼしている可能性を示唆するもので、この点につい

ては今後の検討が必要と思われる。

本研究の結果、培養苗でも花房はクラウンの傾斜方向に伸長することがわかったが、そのメカニズムについては明らかになっていない。クラウン部分の傾斜の発生は、重力刺激に対する負の屈地性によるものであるが、花房自体は屈地性を失っていると仮定すれば、クラウン部分に傾斜が発生することで、茎頂に形成された花房は生長とともに傾斜方向に倒れていくため、結果的にクラウンの傾斜方向に花房が伸長していくと考えられる。

第3章 促成栽培における主茎腋芽の発育に及ぼす日長，温度および株栄養の影響

第1節 日長，定植時期および定植後の株栄養の影響

緒言

短日植物である一季成り性イチゴは，一定の短日条件下で主茎頂部に花芽を分化し，その花芽は頂花房（第1花房）として発達する．主茎頂部に花芽を分化した株では，腋芽が一次側枝として発育を開始し，数枚の葉を分化した後，再びその頂端に花芽を分化する．この花芽は一次腋花房（第2花房）と呼ばれる（本多，1977；植松，1998）．同様に一次腋花房を分化した一次側枝の腋芽が二次側枝として発達し，その頂端に花芽を分化する．このように次々と葉腋に側枝を発達させ，その頂端に花芽を形成することで，長期間にわたる収穫が可能となる．

一次側枝は，花芽分化した茎頂直下の腋芽が発達したものであるが，その発生には品種間差があり（赤木ら，1985；本多ら，1985；竹内ら，1999），また，同一品種でも栽培条件によって，その発生パターンに違いが見られる（岩間ら，2001；植松，1998）．「女峰」では，頂花房直下およびその下に位置する2つの腋芽が一次側枝として発達し，一つの主茎から2つの一次腋花房を生ずることが多い．しかし，「女峰」に代わって全国的に普及した「とちおとめ」では，頂花房直下の腋芽のみが一次側枝に発達する場合の多いことが観察されている．さらに「とちおとめ」では一次側枝として発達すべき頂花房直下の腋芽がランナー化し（第6図），一次側枝を形成しない場合（心止まり）がある（栃木県農業試験場，2001；野口，2002；畠山ら，2002）．心止まりとなった株は，一次腋花房以降の花房が発生せず大幅な減収となるため，「とちおとめ」栽培では心止まりの発生が大きな問題となっている．このように，主茎1本仕立てを基本とする現在の促成栽培では，頂花房分化後の主茎腋芽の発育パターンを知ることが，長期間にわたって安定した収量を確保するだけでなく，果実生産上必要のない一次側枝やランナーの摘除といった定植後から収穫開始期にかけての本管理作業の省力化を図る上からも極めて重要である．しかし，これまでの腋芽の発育に関する研究は，苗増

殖の観点から植物体全体の傾向を調べたものか，主茎葉腋に着目した場合でも，露地栽培や半促成栽培における報告（江口，1932；香川，1971；本多，1977）があるにすぎず，現在の中心作型である促成栽培において，主茎葉腋の節位に着目し，腋芽発育の推移を検討した報告はほとんどない（岩間ら，2001）．

そこで本章では，日長，定植時期および定植後の株栄養条件の違いが，主茎腋芽の発育に及ぼす影響について，代表的な促成栽培用品種である「とちおとめ」と「女峰」の2品種を用いて検討した．



第6図 「とちおとめ」で発生する心止まり症状

材料および方法

1. 日長が腋芽の発育に及ぼす影響

品種は「とちおとめ」と「女峰」を供試した．2002年7月29日に本葉2～3枚のランナー苗を採苗し，鹿沼土と燐炭の混合培地（容積比2：1で混合）を充填した10.5cm径ポリポットに植え付けた．活着後，ECを0.6～0.8dS・m⁻¹に調整した液肥（大塚A処方）を，かん水を兼ねて株毎に点滴方式で試験終了まで施用した．1日の給液回数および給液量は，ポットの乾き具合を見ながら適宜調整した．9月20日に頂花房の花芽分化を確認してから日長処理を開始した．処理区は，9月20日から11月13日までの期間，日没から白熱灯による日長延長方式の電照を行った（14時間日長となるよう電照終了時間を適宜調整，照度はイチゴ株上で100lxとした）．対照区として無電照区を設けた．電照開始後は，昼温25℃，最低夜温15℃を目安に管理した．11月13日に電照処理を終了し，頂花房直下の節を第1節として第4節までの腋芽のタイプを調査した．腋芽は，ランナー，一次側枝および休眠芽の3つのタイプに区分した．休眠芽は，腋芽の長さが3mm以下のものとした．供試株数は，「とちおとめ」が1区50株，「女峰」が1区15株とした．

2. 定植時期（作型）および定植後の株栄養が腋芽の発育に及ぼす影響

品種は「とちおとめ」と「女峰」を供試した。供試作型は夜冷育苗により花芽分化促進を図り8月下旬に定植する作型（以下、夜冷作型という）と自然条件下で花芽分化させ、9月中旬に定植する作型（以下、ポット作型という）の2作型とした。夜冷作型は2002年6月25日に、ポット作型は7月15日にそれぞれ本葉2～3枚のランナー苗を採苗し、鹿沼土と燐炭の混合培地（容積比2：1で混合）を充填した10.5cm径ポリポットに植え付けた。活着後に錠剤型肥料（N：P₂O₅：K₂O=7：8：6）を株当たり窒素成分で140mg施用して育苗した。夜冷作型は、8月1日から実体顕微鏡下で花芽分化が確認された8月30日まで夜冷短日処理を行った後、本ばに定植した。ポット作型は9月17日に花芽分化を確認後、直ちに本ばに定植した。本ばは栃木農試開発の閉鎖型養液栽培システム（栃木県農業試験場、2002）を用いた。本ば定植後の給液管理は給液EC（大塚A処方）を0.5dS・m⁻¹（以下、低EC区という）および1.5dS・m⁻¹（以下、高EC区という）とする2処理を設けた。給液方法は栃木分場の養液栽培の慣行とした。処理区は、品種、定植時期（作型）および定植後の給液濃度を組合せた8処理区を設けた。本ば定植後10月27日まで雨よけ栽培とし、10月27日夜から保温を開始し、昼温25℃、最低夜温8℃を目安に管理した。11月12日に処理を終了し、試験1と同様に、頂花房直下の第1節から第4節までの腋芽のタイプを調査した。腋芽は試験1と同様にランナー、一次側枝および休眠芽の3つに分類した。供試株数は各処理

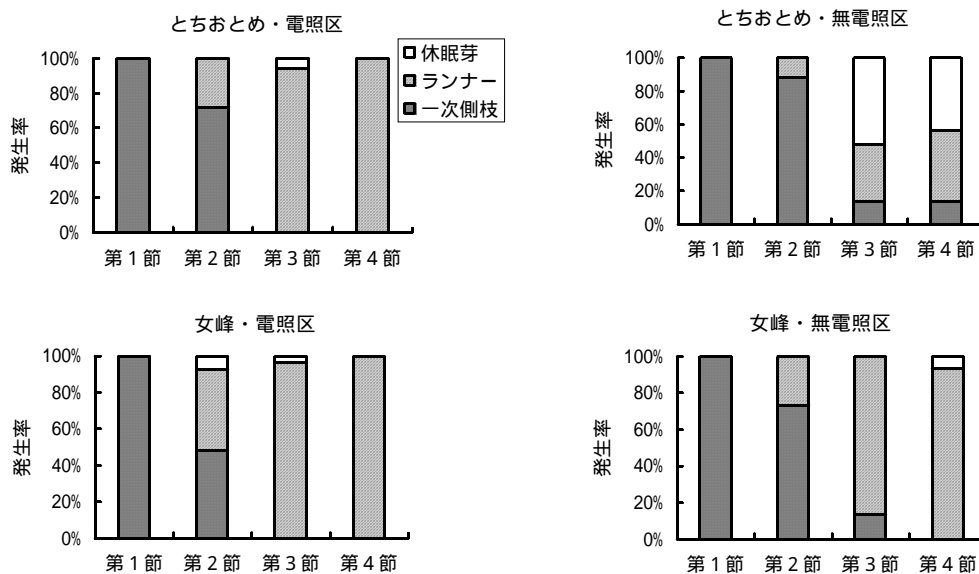
40株とした。本ば定植後、株の栄養状態を確認するため、9月14日から約2週間間隔で葉柄汁液中の硝酸イオン濃度を測定した。測定方法は、第3展開葉の葉柄部分約2gを2mm長に裁断し、重量比で5～10倍量の純水を加えてよく攪拌した浸出液をRQフレックス（メルク社）を用いて測定した。一回の調査には4株を供試した。

結果

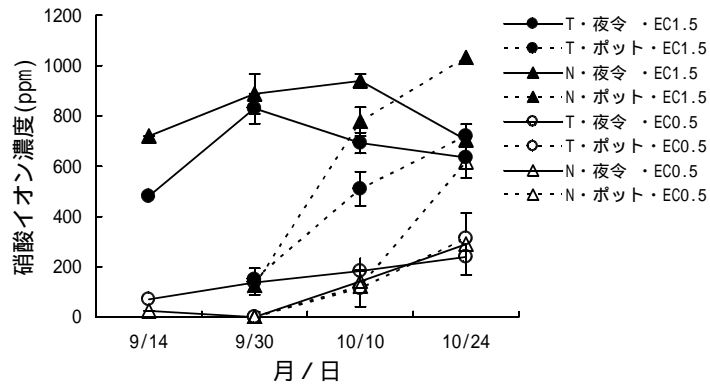
1. 日長が腋芽の発育に及ぼす影響

電照の有無が腋芽のタイプに及ぼす影響を第7図に示した。頂花房直下の第1節の腋芽は、電照の有無にかかわらず両品種ともすべて一次側枝となった。電照区における第2節～第4節までの腋芽タイプを品種間で比較すると、第2節の一次側枝発生率が「とちおとめ」でやや高かったこと、および「女峰」でわずかに休眠芽が発生したことを除いてほぼ同じ発生パターンを示した。つまり、両品種とも第3節でわずかに休眠芽が発生したが、それ以外はすべてランナーになり、第4節の腋芽もすべてランナーになった。

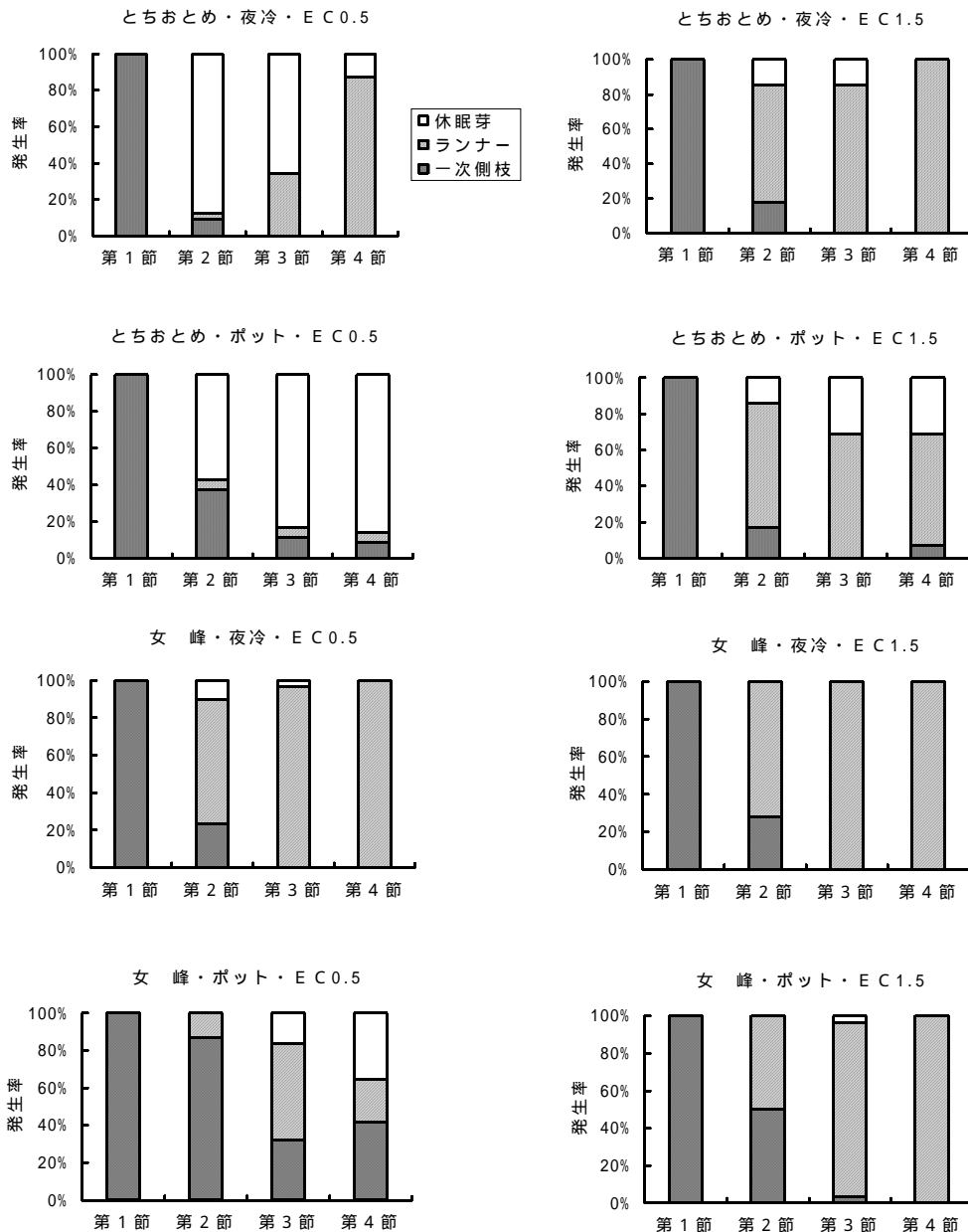
一方、無電照区においては、両品種とも電照区に比べ第2節以下のランナー発生率が低下する傾向が見られた。この傾向は「とちおとめ」で顕著であり、第3節および第4節における休眠芽の発生率が高かった。「女峰」は第3節、第4節ともほとんどがランナーになり、電照区と比べて腋芽の発生パターンに大きな差は見られなかった。「女峰」では第3節で休眠芽の発生は見られず、第4節でわずかに休眠芽が発生したが、一次側枝は発生しなかった。



第7図 電照の有無が腋芽のタイプに及ぼす影響



第8図 葉柄汁液中の硝酸イオン濃度の推移
 図中の垂線は標準誤差を示す (n=4)
 T; とちおとめ, N; 女峰



第9図 定植時期(作型)および定植後の株栄養が腋芽のタイプに及ぼす影響

2. 定植時期（作型）および定植後の株栄養が腋芽の発育に及ぼす影響

本ぼ定植後の葉柄汁液中の硝酸イオン濃度の推移を第8図に示した。低EC区の葉柄汁液中の硝酸イオン濃度は、高EC区に比べ常に低く推移した。各処理区における硝酸イオン濃度の推移を見ると、夜冷作型の高EC区では9月14日から9月30日にかけて増加し、その後は横ばいから減少傾向で推移した。夜冷・低EC区の「女峰」では定植後から約1か月間は低い値で推移し、9月30日以降増加傾向に転じた。夜冷・低EC区の「とちおとめ」では定植後わずかではあるが、増加傾向を示した。一方、ポット作型では、高EC区は9月30日以降急激に増加し、10月24日には夜冷・高EC区と同程度かそれ以上となった。低EC区は定植後ゆるやかに増加したが、女峰・低EC区だけは例外的に10月10日から24日にかけて濃度の著しい上昇が見られた。

処理終了時の腋芽のタイプを第9図に示した。第1節の腋芽は、品種、作型および給液ECにかかわらず、すべて一次側枝になった。しかし、第2節以下の腋芽のタイプには、品種および処理間で顕著な差が認められた。

「とちおとめ」は夜冷・低EC区で第2節の休眠芽の発生率が極めて高く、下位節ほど休眠芽は減少し、代わってランナーが増加した。夜冷・高EC区は他の3処理に比べ、休眠芽の発生率が最も少なく、ランナー発生率が最も高かった。ポット・低EC区はランナー発生率が最も低く、休眠芽の発生率が高かった。また第2節以下の一次側枝発生率が高かった。ポット・高EC区は夜冷・高EC区に類似した発生パターンを示したが、ランナー発生率がやや低く、休眠芽の発生率がやや高かった。

「女峰」では夜冷・低EC区で第2、第3節に休眠芽がわずかに発生したこと、ポット・高EC区で第2節の一次側枝発生率がやや高く、第3節でわずかに一次側枝と休眠芽が発生したことを除けば、夜冷・低EC区、夜冷・高EC区およびポット・高EC区の3処理区における腋芽発生パターンは極めて類似していた。これら3処理区では第3節の腋芽はほとんどがランナーとなり、第4節の腋芽はすべてランナーになった。

考 察

試験1では日長条件が主茎腋芽の発育に及ぼす影響を検討した。頂花房直下の第1節の腋芽は2品種とも日長条件にかかわらずすべて一次側枝になったが、第2節～第4節の腋芽は、長日条件によってランナー化する割合が増加した。この傾向は「とちおとめ」において顕著

で、無電照区では第3節および第4節の腋芽は休眠芽と一次側枝が多かったのに、電照区ではほとんどがランナーになった。Kurokuraら（2004）も、「とちおとめ」を用いた日長処理試験で同様の結果を報告している。従って、腋芽の発育に関して「とちおとめ」は「女峰」より日長の影響を受けやすく、短日条件下では腋芽が一次側枝や休眠芽になりやすい品種であると考えられた。

主茎腋芽が休眠芽、一次側枝、ランナーのいずれに発達するかは、定植時期の早晩や定植後の株の栄養状態の違いによっても変化することが経験的に知られている。そこで試験2では定植時期（作型）と定植後の株栄養状態を変えて、それらが腋芽の発育に及ぼす影響を調べた。「女峰」は、定植時期が遅く株栄養状態の悪いポット・低EC区で、第2節以下の腋芽が一次側枝や休眠芽になる割合が高かったが、それ以外の処理区では腋芽の発生パターンが極めて類似しており、処理間の差が小さかった。つまり「女峰」は腋芽の発育に関して、定植時期が早い場合は株の栄養状態の影響を受けにくく、高栄養状態では、定植時期の影響も受けにくい品種であると考えられた。一方、「とちおとめ」の場合は、「女峰」ほどではないにしても高栄養状態では定植時期の影響を受けにくい傾向が認められた。しかし、低栄養状態では、一次側枝や休眠芽の発生が多くなり、定植時期が遅くなるほどその傾向が助長された。このことから、「とちおとめ」では株の栄養状態が腋芽の発育に強く関わっていると考えられた。

イチゴの腋芽の発育は、ランナーまたは一次側枝に発達するか、ほとんど生長せず休眠（休眠芽）を維持する3つのパターンに区分され（Guttridge, 1955）、一般に、長日条件および高温条件下ではランナーが発生しやすく（Darrow, 1936 ; 本多, 1977 ; Piringer・Scott, 1964）、短日条件下では一次側枝が形成されやすい（Guttridge, 1955）。本試験でも、長日条件は腋芽のランナー化を促進し、短日条件下では休眠芽や一次側枝の形成が促進された。株の栄養状態が優れ栄養生長が旺盛なほど、腋芽がランナーとなりやすいことも確かめられた。

腋芽の発達には、前述の諸条件以外に頂芽優勢が関係していることが多くの植物で知られているが（Cline, 1994・1997 ; 川田, 1962 ; Kumar・Wareing, 1972）、イチゴでの知見は極めて少ない。Neriら（2003）は主茎腋芽の一次側枝、ランナーへの発達に対する頂芽優勢の役割を調べるため茎頂の切除処理を行い、主茎下部

の腋芽は頂芽優勢が破れると、長日、温暖な条件下でもランナーとならず一次側枝に発達することを示した。さらにSugiyamaら（2004）は、一次側枝の形成能力を推定するため「とちおとめ」と「女峰」の2品種を用いて同様の茎頂除去処理を行い、一次側枝の発生が「女峰」に比べて「とちおとめ」で多かったことから、頂芽優勢による腋芽の発育抑制効果は、「女峰」より「とちおとめ」で顕著であることを報告している。イチゴの主茎腋芽の形態形成には頂芽優勢が関与しており、「とちおとめ」は「女峰」より頂芽優勢が強いとするNeriら（2003）、Sugiyamaら（2004）の報告は、本試験において、「女峰」に比べ「とちおとめ」の方が株の栄養状態の影響を受けやすかった理由を説明する根拠となる。なぜならば、頂芽優勢の発現には植物の栄養状態が強く関わっており（Cline, 1991, 1994; 伊東, 2004）、もともと頂芽優勢の弱い「女峰」は、株の栄養状態の影響をそれ程受けず、逆に頂芽優勢の強い「とちおとめ」は、株の栄養状態の影響が顕著に現れたと考えられる。

以上の結果から、長日条件、早期定植および定植後の高栄養条件は、主茎腋芽のランナー化を促進することが明らかとなった。また、腋芽の発達には品種間差が認められ「とちおとめ」は「女峰」に比べて、日長および定植後の株栄養状態の影響を受けやすい品種であると考えられた。また、「とちおとめ」の腋芽の発育は、日長や定植時の影響も受けるが、それらの条件以上に株の栄養状態に強く支配されていると推察され、頂芽優勢の強弱との関連性が示唆された。

なお、本試験における処理要因の一つである定植時期の早晚に関しては、要因中に日長条件と温度条件の2つの要因を孕んでいることから、第2節において、日長、株栄養条件の他に本ば定植後の温度条件を加えて更に詳細な検討を行った。

第2節 日長、温度および定植前・後の株栄養の影響

緒言

第3章第1節において、定植時期、定植後の株栄養条件および日長の違いが、主茎の腋芽の発育に及ぼす影響を調べ、早期定植、定植後の高栄養および長日条件が、腋芽のランナー化を促進すること、また環境条件に対する反応には明確な品種間差のあることを明らか

にした。

果実生産上重要な頂花房直下の腋芽の発育に関しては多くの観察事例があり、植松（1998）は、採苗時期を遅らせ育苗中の窒素施用量を少なくすると、頂花房直下の第1腋芽のみが一次側枝に発達し、早期に採苗し、窒素を切らさず大苗に養成すると、第1腋芽以外の腋芽からも一次側枝が発生することを報告している。前節の試験では、育苗中の株栄養条件について未検討であったので、育苗中の株栄養条件を加えて試験を行う必要性を認めた。さらに、定植時期の違いが、腋芽の発育パターンに影響を及ぼすことを示したが、これは定植後の温度の違いによるものではないかと推測された。しかし、本ば定植後（頂花房分化後）の温度条件と主茎腋芽の発育の関係について言及した報告はない。そこで、本節では、育苗中および定植後の株栄養条件ならびに定植後の日長および温度条件の違いが、主茎腋芽の発育に及ぼす影響について、品種間差も含めて検討した。

材料および方法

1. 育苗中の施肥量並びに定植後の日長および株栄養が腋芽の発育に及ぼす影響

品種は「とちおとめ」を供試した。2003年6月25日に本葉2~3枚のランナー苗を採苗し、鹿沼土と燐炭の混合培地（容積比2:1で混合）を充填した9cm径ポリポットに植え付けた。育苗中の処理として、株当たりの施肥量を窒素成分で40mgおよび120mgとする2処理区を設けた。肥料は錠剤型肥料（N:P₂O₅:K₂O=7:8:6）を使用し、活着後にポット表面に置肥した。8月1日から28日まで夜冷短日処理（8時間日長、庫内温度10一定）を行い、8月28日に実体顕微鏡下で頂花房の花芽分化を確認してから本ばに定植した。本ばは栃木農試開発の閉鎖型養液栽培システム（栃木県農業試験場、2002）を用いた。定植後の培養液の給液濃度は2水準とし、定植直後からそれぞれECを0.8dS・m⁻¹（以下、低EC区という）および1.5dS・m⁻¹（以下、高EC区という）で管理した（大塚A処方）。日長処理は8時間日長、16時間日長および自然日長の3水準とし、定植直後から処理を開始した。8時間日長区は17時から翌朝9時まで不透光資材（サンシルバー；フィルム厚0.075mm）を被覆し遮光した。16時間日長区は日没直後から19時までと翌朝4時から日の出までの時間帯に白熱電球を用いて電照処理（イチゴ株上で照度100lx）を行った。処理区は、育苗中の施肥量2水準、定植後の培養液の給液濃度

2水準および定植後の日長時間3水準を組合せた12処理を設けた。10月10日に処理を終了し、主茎の葉腋に発生した腋芽のタイプを調査した。葉腋の順位は頂花房直下の節を第1節として第4節までの腋芽の形態を調査した。腋芽は、ランナー、一次側枝および休眠芽の3つのタイプに区分した。腋芽の長さが3mm以下のものを休眠芽とした。供試株数は各処理区40株とし1区制で行った。

2. 定植後の株栄養および温度が腋芽の発育に及ぼす影響

品種は「とちおとめ」、「女峰」および「とよのか」の3品種を供試した。2004年7月15日に、本葉2~3枚のランナー苗を採苗し、鹿沼土と燐炭の混合培地（容積比2:1で混合）を充填した10.5cm径ポリポットに植え付けた。活着後に錠剤型肥料（N:P₂O₅:K₂O=7:8:6）を株当たり窒素成分で70mg施用して育苗した。8月20日から9月10日まで夜冷短日処理を行い、9月10日に花芽分化を確認後直ちに15cm径ポリポットに定植した。定植培地は前述の混合培地を用いた。

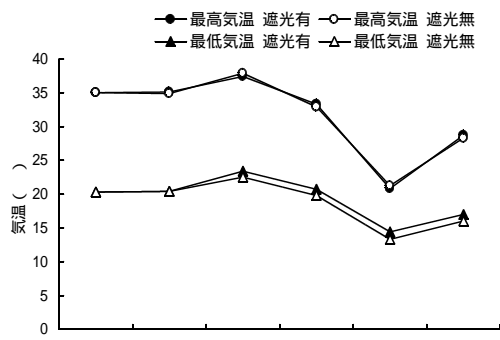
処理として定植後の株当たり施肥量を窒素成分で210mg（以下、低N区という）および420mg（以下、高N区という）とする2処理区を設けた。肥料は前述の錠剤型肥料を用い、ポット表面に置肥した。15cm径ポリポットに定植した株を直ちに明期32 / 暗期27（以下、高温区という）および明期22 / 暗期17（以下、低温区という）の人工気象室に搬入し、11月1日まで温度処理を継続した。処理区は、品種と移植後の施肥量2水準および明期 / 暗期の温度2水準を組合せた12処理を設けた。11月1日に処理を終了し、試験1と同様に主茎の葉腋に発生した腋芽のタイプを調査した。供試株数は各処理15株とし1区制で行った。

結 果

1. 育苗中の施肥量並びに定植後の日長および株栄養が腋芽の発育に及ぼす影響

定植後のハウス内気温の推移を第10図に示した。本試験を実施した2003年9月は、異常高温が続き、第1半旬から第3半旬まで最高気温が35℃を超える日が連続した。特に第3半旬の平均気温は30℃を超えていた（データ省略）。夕方5時から翌朝9時まで行った遮光資材被覆処理の影響をみると、遮光区でわずかに最低気温が高い傾向が見られたが大きな差ではなかった。

処理終了時に調査した腋芽のタイプを第11図、第12図および第13図に示した。頂花房直下の第1節の腋芽が



第10図 2003年9月の最高・最低気温の推移 (半旬毎)

遮光処理は、8時間日長処理区のみ17:00~翌朝9:00までの時間帯を行った

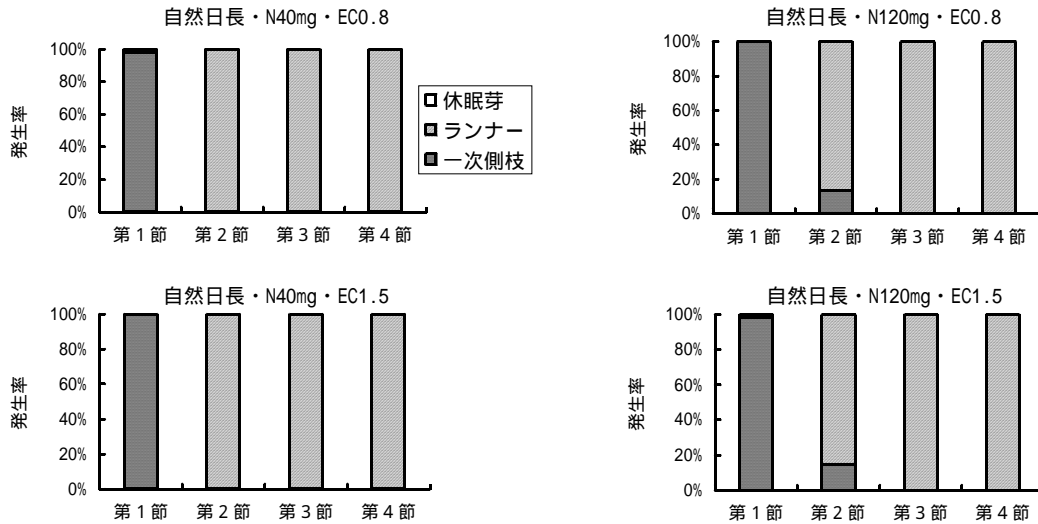
ランナー化した株（いわゆる心止まり株）が、N 40mg・低EC・自然日長区（発生率1.9%）、N120mg・高EC・自然日長区（発生率1.8%）およびN40mg・高EC・8時間日長区（発生率5.9%）の3処理区で発生した。第2節~第4節の腋芽は、ほとんどがランナーとなり、処理間の差は小さかった。ただし、育苗中の施肥量の多い120mg区で、日長時間の長さおよびECの高低にかかわらず第2節の腋芽が一次側枝となる割合が高い傾向であった。

2. 定植後の株栄養および温度が腋芽の発育に及ぼす影響

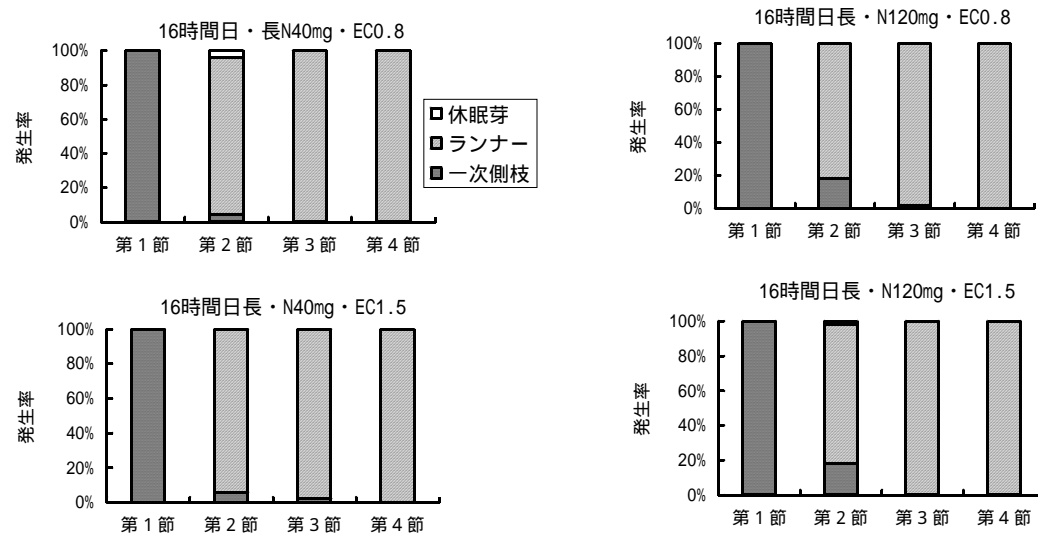
処理終了時における品種ごとの腋芽のタイプを第14図、第15図および第16図に示した。3品種とも第1節の腋芽はすべて一次側枝となり、ランナー化による心止まり株は発生しなかった。以下品種ごとに第2節~第4節までの腋芽の形態について述べる。

「とちおとめ」は、高温区でランナーの発生が多かった。第3節、第4節では、高N区のランナー発生が多かったが、第2節は一次側枝が多くなり、第3節および第4節とは傾向が異なっていた。低温区の第2節は低N区がランナーの割合が高かったのに対して、高N区では一次側枝の割合が高くなりランナーが減少した。第3節、第4節では、低N区はすべて休眠芽となったが、高N区はわずかに一次側枝が発生した。

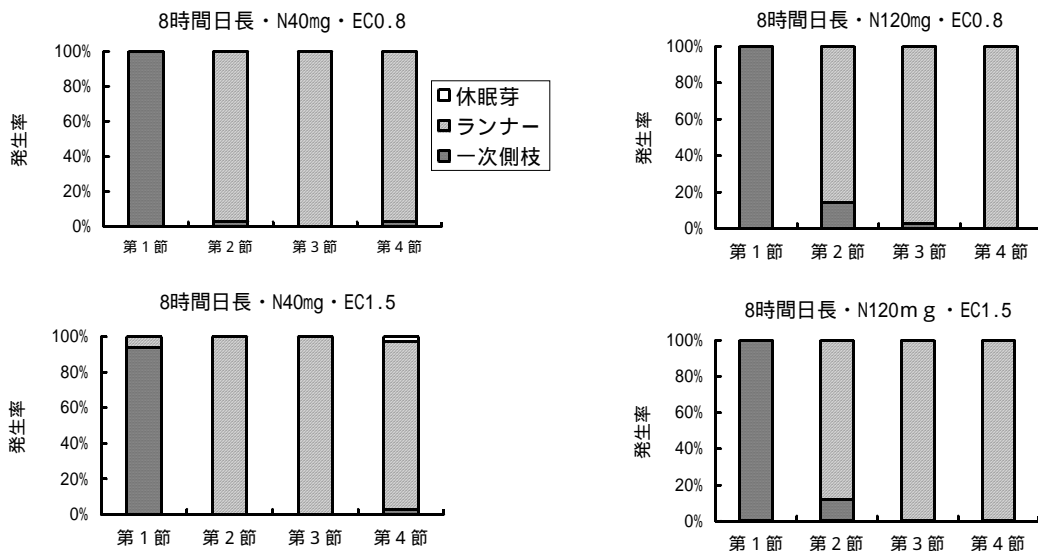
「女峰」は、高温区でランナーの発生が多く、高温区の第3節、第4節は、株の栄養状態にかかわらずすべての腋芽がランナーになった。第2節は、低N、高N区とも一次側枝発生割合は同程度だったが、高N区で休眠芽がなくなりランナー発生割合が増加した。低温区の第2節は低N区が一次側枝の割合が高く、ランナーの発生はみられなかったが、高N区では一次側枝の割合がやや減少し、ランナーの発生がみられた。第3節、第4節では、低N区はすべて休眠芽となったが、高N区はわずかに一次側枝とランナーの発生がみられた。



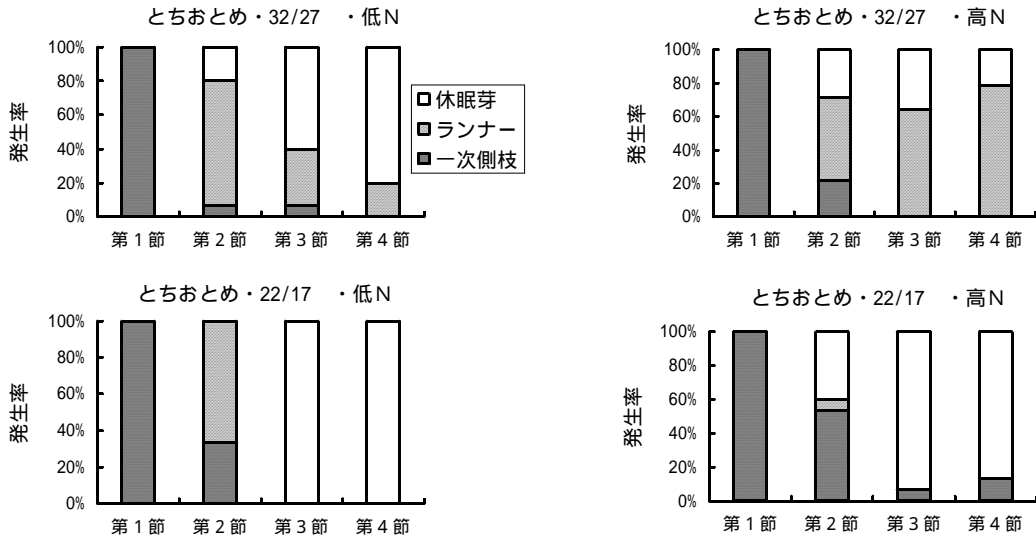
第11図 日長および定植前・後の株栄養が腋芽のタイプに及ぼす影響（自然日長）



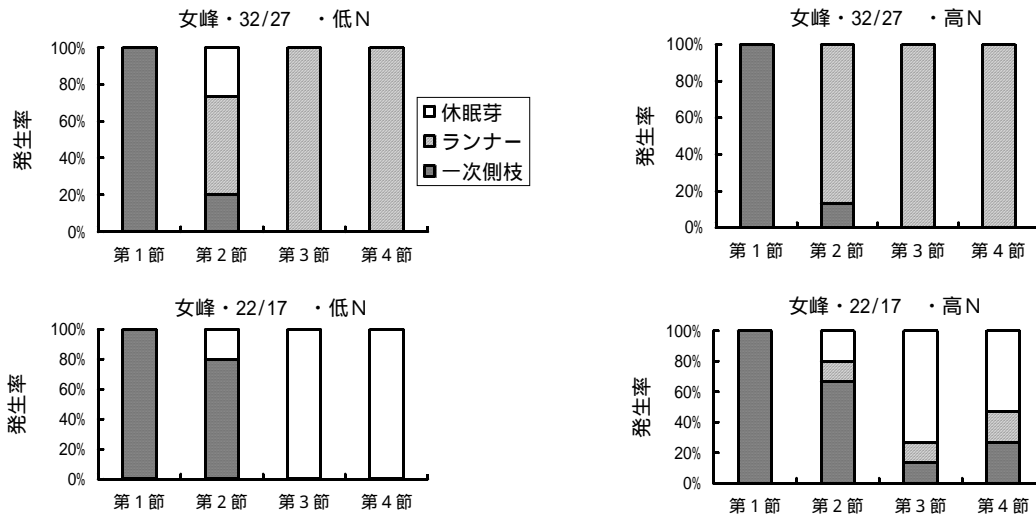
第12図 日長および定植前・後の株栄養が腋芽のタイプに及ぼす影響（16時間日長）



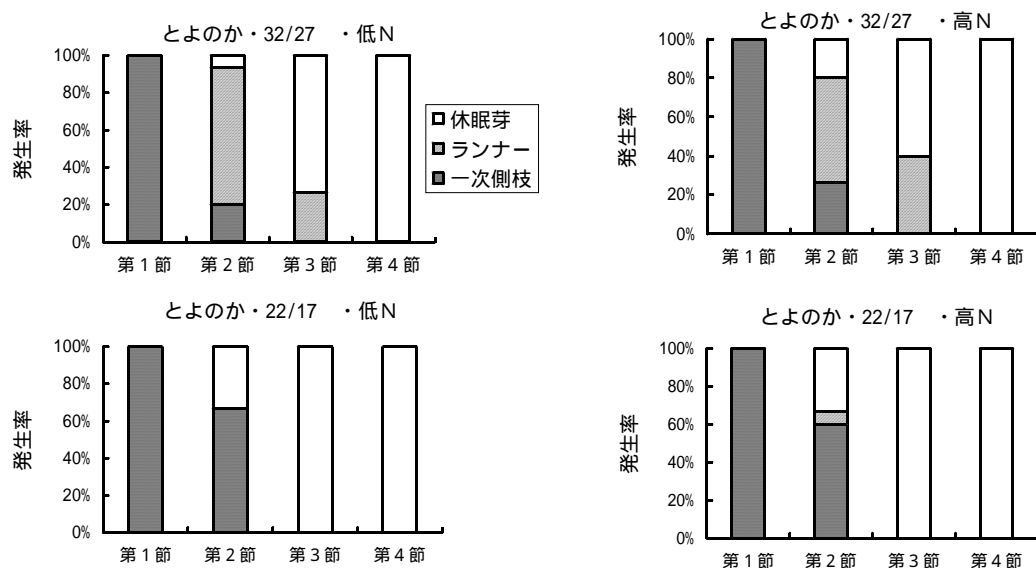
第13図 日長および定植前・後の株栄養が腋芽のタイプに及ぼす影響（8時間日長）



第14図 定植後の温度および株栄養が腋芽のタイプに及ぼす影響(とちおとめ)



第15図 定植後の温度および株栄養が腋芽のタイプに及ぼす影響(女峰)



第16図 定植後の温度および株栄養が腋芽のタイプに及ぼす影響(とよのか)

「とよのか」は、高温区でランナーの発生が多いという点では他の2品種と同様であったが、低N区と高N区における各節位の腋芽発生パターンの差は小さく、類似したパターンを示した。低温区においても、高N区の第2節にわずかにランナーが発生したことを除けば、低N区と高N区における各節位の腋芽発生パターンに違いはみられなかった。第4節は「とちおとめ」と「女峰」では低温・低N区のみすべて休眠芽となったが、「とよのか」は4処理すべてで休眠芽となった。

考 察

試験1では、すべての処理区で第1節の腋芽はほとんど一次側枝として発達し、第2節以下の腋芽はほとんどがランナーになった。この結果は、日長および定植後の株栄養条件が、腋芽の発育に影響を及ぼすとした第1節の結果と矛盾する。前節の結果によれば、供試した「とちおとめ」は、「女峰」に比べて日長や株栄養条件の影響を受けやすい品種である(岩間, 2002)と考えられるが、試験1ではほとんど処理間差が認められず、日長および定植後の株栄養条件の影響が判然としなかった。この原因として、高温の影響が推察された。本試験を行った2002年9月は、第10図に示したように極端な高温で推移したため、高温条件が腋芽の発育に影響を及ぼしたものと考えられる。キクでは高温が腋芽の発育に影響を及ぼすことが知られており、腋芽が形成されにくい無側枝性キクでは、高温が腋芽の形成を抑制する(金子・守田, 2002; 岡本・須藤, 2002)。さらに、この性質を利用した高温処理による生育・開花調節技術の開発が検討されている(久松, 2003)。また、スプレーキクの花房では、通常、頂花から下に向かって開花が進むが、まれに下から上へ逆に開花が進む逆転現象が観察されており、この現象にも高温条件が関与している(久松, 2003)。イチゴでは日長、温度および株栄養の3つの条件のうち、どの要因がより強く腋芽の発育を支配しているかは明らかにされていないが、温度が最も強く作用すると仮定すれば、試験1の結果と前節における結果の不一致について説明することが可能である。つまり、試験1の結果は、極端な高温条件下では、イチゴの腋芽の発育が、日長条件や株の栄養状態よりも温度条件に強く支配されることを示唆しており、主茎の第2節以下の腋芽がランナー化しやすいと考えられた。試験2において、高温区が低温区にくらべて明らかにランナー発生数が増加したことも、温度が腋芽の発育を左右する重要な要因であることを示

唆している。

試験1において、育苗中の施肥量を増やした高N区は、日長および定植後の株栄養条件が同じ場合には、低N区に比べ第2節の腋芽が一次側枝になる割合がわずかに高まった。これは苗の栄養条件が一次側枝の発生に影響を及ぼすとした植松(1998)の報告と一致するが、前節および本節の試験1の結果から判断して、育苗中の株栄養条件が腋芽の発育に及ぼす影響は比較的小さいと考えられた。

試験2では定植後の温度と株栄養の影響について検討した。3品種とも高温区で第2節~第4節のランナー発生率が高まり、休眠芽の割合が低下したことから、高温条件がランナーの発生を促進させることが再確認された。「とちおとめ」と「女峰」の場合は、前節の結果と同様に、定植後の高栄養条件がランナー発生を促進したが、「とよのか」はいずれの温度条件下でも株栄養条件にかかわらずランナーの発生が少なく、休眠芽が多かった。岩間(2002)は、頂芽優勢が強く作用していると腋芽は休眠を維持し、頂芽優勢が完全に打破されると腋芽は一次側枝に発達し、頂芽優勢の作用が不完全な場合にランナーが発生すると考察している。その考え方に従うと「とよのか」は他の2品種に比べて頂芽優勢が極めて強い品種であると考えられる。前節において、「とちおとめ」の頂芽優勢の発現が株の栄養条件に左右されることを示唆する結果を得ているが、「とちおとめ」よりもさらに頂芽優勢が強いと考えられる「とよのか」では、株栄養の影響は認められなかった。株栄養が頂芽優勢に及ぼす影響については、株栄養の程度および品種間差を含めて更に検討が必要と考えられた。

低温・高栄養条件下において「とちおとめ」と「女峰」では第3節および第4節に一次側枝が発生しやすい傾向が認められた。このことは作業管理上、重要な意味を持つ。何故なら、通常の促成栽培では第1節および第2節に発生した一次側枝(一次腋花房)だけを残し、それ以外は摘除する必要がある。第3節以下の不要な腋芽がランナーとなれば、その摘除作業は容易であるが、一次側枝として発達した場合には、その摘除作業にはランナー摘除以上に多くの労力を必要とする。従って、第3節以下の腋芽は、休眠芽かランナーとなることが作業管理の面からは望ましい。本試験の結果から、日長、温度および株栄養を組合せることによって、主茎腋芽の発育をコントロールできる可能性が示唆された。

本試験では、主茎上の腋芽の発達順序に関して検討

しなかったが、シロイヌナズナでは茎頂分裂組織が栄養生長を続けているときは、腋芽の発達には基部から順に求頂的に進み、茎頂分裂組織が花芽分化すると、逆に花芽直下の腋芽から求基的に腋部分裂組織の形成が進むことが報告されている (Grbic・Bleecker, 2000)。Kurokuraら (2005) は、イチゴの腋部分裂組織においてもシロイヌナズナと同様に、茎頂分裂組織の花芽分化を境として、花芽分化前は求頂的に、分化後は求基的に発達することを明らかにしている。さらに第2節および第3節の腋芽の発生時期は第1節腋芽より早いにもかかわらず、その発達は第1節腋芽より遅いことから、第1節腋芽 (一次側枝に発達) の発生によって第2節、第3節腋芽の発育が抑制されることを示した (Kurokuraら, 2005)。我が国におけるイチゴの花芽発育研究で先駆的業績を残した江口 (1932) も、最初生育が遅れていた第1、第2節腋芽が、頂芽の花芽分化後、急に発育して一次腋花房となり、下位の腋芽はランナーや休眠芽となることを報告している。

本試験で供試した3品種の第1節腋芽は、日長、温度および株栄養の影響をほとんど受けずに (試験1の「とちおとめ」の場合だけ、第1節腋芽の一部がランナー化) 一次側枝に発達したことから、第1節腋芽の運命は、主茎の頂芽が花芽分化を開始した時点ですでに決定されていたと考えられる。主茎における頂芽優勢が花芽分化によって弱まったこと (Cline, 1991) が、第1節腋芽の運命を決定した要因であると推察されるが、頂芽優勢の現象には植物ホルモンのオーキシンとサイトカイニンが関与し、アブシシン酸やエチレンも関係している (勝見, 1991)。イチゴ茎頂の花芽分化時期の前に、ジベレリンおよびオーキシンが減少し、サイトカイニン含量が増加する (谷沢ら, 1993)、イチゴの花成時にクラウン (主茎) においてサイトカイニン濃度が一次的に低下し、その後上昇する (Yamasaki・Yamashita, 1993) などの報告もあることから、今後は、頂芽優勢が崩れる花芽分化時期の茎頂における植物ホルモンの含量や動態の面からの検討も必要と思われる。

「とちおとめ」は第1節腋芽がランナー化する心止まり症状の発生しやすい品種で (栃木県農業試験場, 2001; 野口, 2002; 畠山ら, 2002)、本試験においてもわずかに発生が認められた。心止まり症状は四季成り性品種で多く見られ (高野, 1993)、一部の一季成り性品種でもまれに発生することがある (斎藤, 1997)。しかし、それらの心止まり症状は、いずれも花房の連続出蕾などによる着果負担に起因する腋芽の

発育不良 (休眠および座止) によるもので、「とちおとめ」に見られるような腋芽のランナー化によるものではない。頂花房直下の腋芽がランナー化する「とちおとめ」の心止まり症状は極めて特異的であり、「とちおとめ」は、ある条件下において第1節腋芽の運命決定が非常に不安定となりやすい特徴を持つ品種であると考えられる。このことは、頂芽優勢の消長と主茎上の腋芽の発達順序の関係を考察する上で興味深い現象であり、その発生メカニズムの解明が期待される。

第4章 花粉と雌ずいの受精能力

緒言

我が国のイチゴ栽培における不受精果の問題は、1960年代に入り、露地栽培からトンネル栽培そしてハウス栽培へと作型が前進化し、施設化が急速に進展する中で顕在化した。不受精による奇形果の発生は、施設におけるイチゴ栽培上の最大の課題であった。このような状況を背景に1960年代半ばから70年代にかけて、イチゴ花器の受精能力に関する基礎的研究が、当時の主要品種であった「宝交早生」や「ダナー」などを用いて積極的に行われた。その結果、花芽発育時期および開花受粉時の極端な高温や低温が花粉の機能低下を招くことが確認され、日照などの環境要因、施肥量や株の栄養状態などの栽培条件および散布農薬などが、花粉や雌ずいの受精能力におよぼす影響についても明らかにされた（阿部ら，1971；川里ら，1969，1971a，b，1972a，b，1973；川里・赤木，1981，川里，1989）。しかし、1970年に阿部ら（1970）によって、ハウス内にミツバチを放飼することで不受精による奇形果が減少することが報告され、その後短期間の内に受粉媒介昆虫としてミツバチの利用技術が確立し普及したことで、受粉・受精不良を原因とする不受精による奇形果問題は一挙に解決された（阿部，1970；川里・赤木，1971a）。ミツバチ導入によって不受精果問題が解決して以降は、大果系品種の「アイベリー」において特異的に発生する奇形果の発生原因究明とその防止対策に関する報告（森・庄下，1988；吉田ら，1987，1991a，b，c）がある程度で、イチゴの受精能力についての報告は殆どみられない。

イチゴの雌雄器官の受精能力は、品種間差の大きいことが知られているが（本多，1977；二宮・鈴木，1965），これまで実施された受精能力に関する試験は、「宝交早生」，「ダナー」，「芳玉」などの品種で実施されており、その後の主力品種となった「女峰」や「とよのか」を用いてその受精能力を検討した報告は極めて少ない。加えて、1990年代に入ってから、国や各県農業試験場および個人育種家により多くの新品种が育成され現地に普及しつつある（曾根，2002）。栃木県では1996年に種苗登録された「とちおとめ」が急速に普及し、2006年産の作付け面積568haのほぼ100%が「とちおとめ」になっている。さらに「とちおとめ」は、全国の品種構成割合でも第1位（34%）を占めるまでに普及している。全国の品種導入状況をもて

「女峰」の主力産地であった関東東海地域は「とちおとめ」に、「とよのか」の主力産地であった九州地域は、「さがほのか」，「あまおう」，「さちのか」などの品種導入が進んでおり、栽培品種の更新は全国的な動向となっている。

また、既往の受精能力に関する知見の大半は、露地栽培やハウス栽培でも半促成作型で得られたものであるが、現在は11月中下旬から出荷されるハウス促成栽培が全国的に主力作型となっている。作型の違いが、イチゴの生理生態におよぼす影響については、各種の作型開発の中で多くの報告（藤本，1972；川里，1989；松尾，1976；施山・高井，1986）がなされているが、花器の受精能力に関しての記述は極めて少ない。日長が急激に短くなり日射量が少なくなって外気温が低下していく環境下で頂花房の収穫が始まり、並行して一次腋花房以降の花芽が発育する現在の促成栽培作型では、他の作型以上に気象的要因が花器の受精能力に及ぼす影響は大きいものと推測される。

このように、全国的に栽培品種が大きく変わり、また夜冷育苗等の花芽分化促進技術の普及により、イチゴの作型が大幅に前進化した状況にあるにも関わらず、花器の受精能力に関する新しい報告は見あたらない。そこで、本章では受精能力の低下による不受精果発生が問題となる一次および二次腋花房について、代表的な促成栽培用品種である「とちおとめ」と「女峰」を用い、促成栽培作型において花粉と雌ずいの受精能力の品種間差、および日照、温度等の環境条件が受精能力に及ぼす影響について検討した。

材料および方法

試験1，2，3は「とちおとめ」と「女峰」の2品種を供試し、7月中旬に10.5cm径ポリポットに採苗仮植した苗を、8月20日から9月10日まで夜冷短日処理し、9月10日に本ばに定植した。本ばの施肥量は、とちおとめ専用肥料（8-10-6）を用いて、a当たり成分で窒素2.0kg，りん酸2.5kg，加里1.5kgを全量基肥として施用した。保温は10月下旬から開始し、昼温25℃，最低夜温8℃で管理した。試験4は「とちおとめ」を含む大果系4品種を供試し、7月中旬に10.5cm径ポリポットに採苗仮植した苗を9月17日に本ばに定植した。保温開始時期および保温後の温度管理は試験1から3と同様に行った。花粉発芽率調査のための花粉採取は、午後3時から4時の間に行い、花粉および雌ずいの受精能力調査のための交配作業は午前10時から12時の間に行った。なお、上記の

試験1～3の実施期間中の天候条件は概ね快晴で、2日以上に渡って曇雨天日が続くことはなかった。

1. 花粉の発芽率

花粉の受精能力低下が原因と考えられる不受精果が発生しやすい一次および二次腋花房について、花粉発芽率の推移および温度と発芽率の関係を調査した。1999年1月9日に開花した一次腋花房の2, 3番花の葯から開花2日後から10日後まで毎日花粉を採取し、蒸留水に粉末寒天1%, 白砂糖15%を加えて作成した人工発芽床に花粉を置床し、25℃の恒温条件下で置床20時間経過後の発芽率を調査した(川里ら, 1969)。調査は1区1～2視野(約200～300花粉粒)の3反復とした。同様に、1999年3月15日および3月24日に開花開葯した二次腋花房の1～3番花の葯から花粉を採取し、5, 15, 20, 25℃の各温度条件下で20時間経過後の発芽率を調査した。調査は1区1～2視野(約200～300花粉粒)の4反復とした。いずれも1区8花から採取した花粉を供試した。なお、花粉の発芽調査は、花粉管がわずかでも伸長していたものは発芽花粉とみなした。

2. 花粉および雌ずいの受精能力

交配に用いた花粉は、1998年12月22日から1999年1月15日の期間に開花した一次腋花房の2, 3番花から採取した。開花当日から開花8日後までのそれぞれの花から花粉を採取し、開花当日の「とちおとめ」(開花前日に除雄・袋かけ)の雌ずいに交配し、発達してきた果実の奇形果程度によって花粉の受精能力の経時変化を推定した。同様に、開花4日前から開花9日後までのそれぞれの雌ずいに、開花当日の「さちのか」の花粉を交配し、雌ずいの受精能力の経時変化を調査した。供試した雌ずいは、1998年12月17日から1999年1月9日の期間に開花した一次腋花房の1, 2番花を用い、開花前日に除雄・袋かけを行い自然交雑を防止した上で、所定の期日に交配を行った。交配花粉として用いた「さちのか」は、花粉量が多くその発芽率が高い品種で、今回の供試時には常時70～80%台の高い発芽率であった。花粉および雌ずいの受精能力調査には1区5花以上を供試した。果形の形状は0から4の指数で奇形果程度を示し、0:健全果, 1:不稔部分少, 2:不稔部分中, 3:不稔部分多, 4:花床未発達の不受精果とした(第17図)。

3. 花芽発育時の日照条件と花粉および雌ずいの受精能力の関係

一次腋花房の花芽発育時期に黒寒冷紗を2重被覆して遮光した(遮光率80%)。処理は花芽の発育ステージ

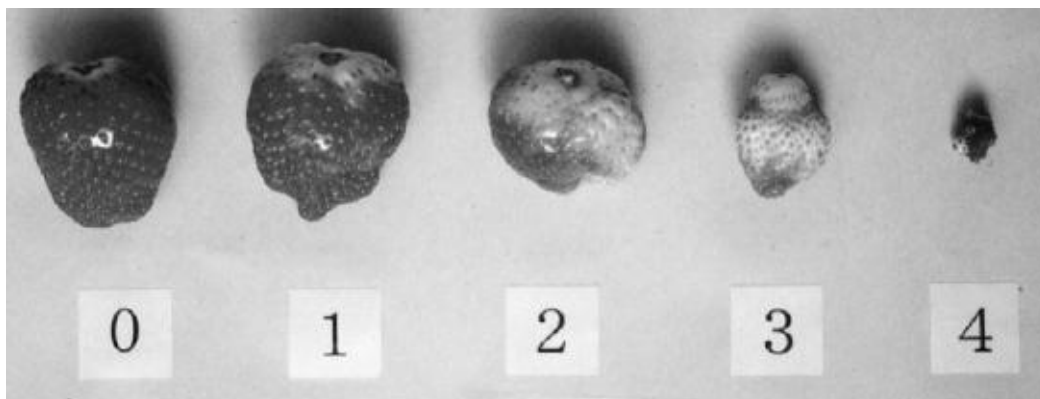
の影響を検討するため遮光期間を異にする3処理を設け、遮光無しを対照とした。遮光期間は次の通りとした。処理1:遮光期間10月15日～10月31日, 処理2:同11月1日～11月15日, 処理3:同11月16日～11月30日。花粉の発芽率の調査は試験1と同様に行った。また、遮光処理開始時期の10月15日, 11月1日および11月16日にそれぞれ4株づつ抜き取り、花芽の発育状況を調査した。

開花当日から開花10日後までの花粉を順次採取し、それぞれ開花当日の自家雌ずい(開花前日に除雄)に交配して、発達してきた果実の奇形果程度によって花粉の受精能力を推定した。同様に、開花当日から開花10日後までの雌ずい(開花前に除雄・袋かけ)に、開花当日の健全な自家花粉を交配して、雌ずいの受精能力を調査した。また、上記の各処理区にミツバチを放飼して、虫媒受粉を行い一次腋花房の奇形果発生程度を調査した。花粉および雌ずいの受精能力調査には、1999年12月中下旬に開花した一次腋花房の1～3番花を用い、1区5花以上を供試した。奇形果程度は試験2と同じ指数を用いた。

4. 大果系品種の雌ずいの受精能力

大果系品種である「アイベリー」, 「章姫」, 「久留米54号」および「とちおとめ」の4品種を供試し、雌ずいの受精能力保持期間を調査した。開花3日前から開花当日および開花後5日から8日の雌ずい(開花前に除雄・袋かけ)に開花当日の自家花粉を交配し、発達してきた果実の奇形果程度によって雌ずいの受精能力の経時変化を推定した。交配に用いた花粉と雌ずいは、各品種とも2000年12月下旬から2001年1月上旬の期間に開花した一次腋花房の1, 2番花を用い、1区5花以上を供試した。また、開花前日に花弁, がく片, 雄ずいを除去し、袋をかけて受粉をさせずに10日間経過させた雌ずいを0.1%トリフェニルテトラゾリウムクロライド(TTC)溶液で染色(25℃, 2時間, 暗黒状態)し、雌ずい柱頭部の着色程度からその活性を推定した(吉田ら, 1987)。供試した雌ずいは、2001年4月上旬に開花した花から採取した。

正常に肥大し収穫期を迎えた一次腋花房の1, 2番果の果形比(縦径/横径), そう果列数, そう果総数および果重を調査した。果実の横径は果実中央部の最大幅と最小幅を測定しその平均値とした。そう果列数は、花床上に交互に並んだそう果列の数とし、花床基部から先端部までの数を測定した。供試果数は各10果とした。



第17図 奇形果程度の指標

結果

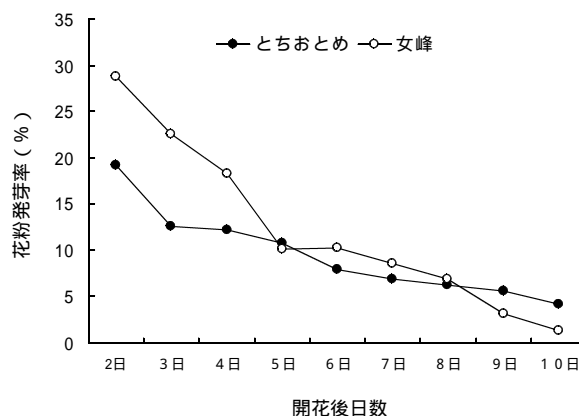
1. 花粉の発芽率

第18図に開花後の花粉発芽率の推移を示した。花粉の発芽率は、開花2日後では「とちおとめ」が19.2%、「女峰」が28.8%であった。また開花4日後までは「女峰」の発芽率が「とちおとめ」よりも高く推移した。両品種とも開花後、日数が経過するに従い発芽率が低下し、開花10日後では両品種とも5%以下に低下した。花粉の発芽におよぼす温度の影響を第19図に示した。5

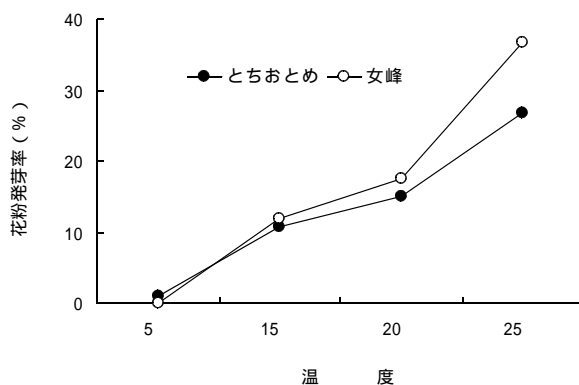
では両品種とも花粉の発芽はほとんどみられず、15では「とちおとめ」が10.8%、「女峰」が11.9%、20ではそれぞれ15.1%、17.5%、25では「とちおとめ」が26.7%、「女峰」が36.7%となり、高温区ほど発芽率が高かった。品種間では20以上の温度域で、「女峰」の方が高い発芽率を示した。なお、花粉管がまったく伸長せず発芽が認められなかった5区の花粉を、25に温度を変更して5時間経過した後再度発芽率を調査したところ、「とちおとめ」が17.2%、「女峰」が24.6%の発芽率を示した（データ省略）。

2. 花粉および雌ずいの受精能力

第20図に開花後の花粉受精能力の推移を示した。「とちおとめ」の花粉は、日数経過とともに奇形果程度が高くなり、開花8日後の花粉を交配した雌ずいは花床が発達せず受精能力が認められなかった。「女峰」の花粉は「とちおとめ」よりも奇形果程度が低く、日数経過に伴う受精能力の低下程度が小さい傾向であった。開花後の雌ずい受精能力の推移を第21図に示した。「とちおとめ」の雌ずいは、開花4日後以降急激に奇形果程度が高くなり、開花8日後以降の雌ずいは健全花粉を交配しても花床が発達せず受精能力が認められなかった。「女峰」でも同様の傾向がみられたが、開花後の雌ずいの受精能力低下は「とちおとめ」よりも緩慢

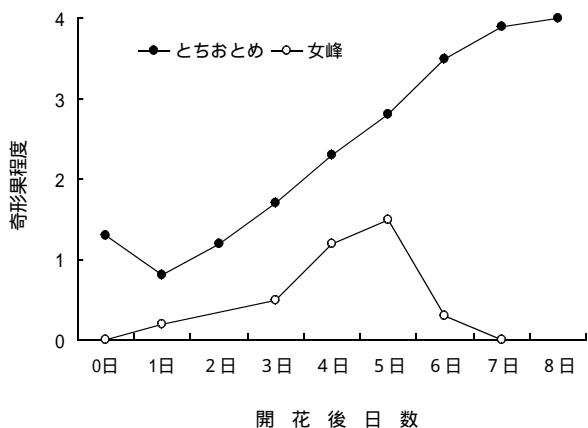


第18図 開花後の花粉発芽率の推移

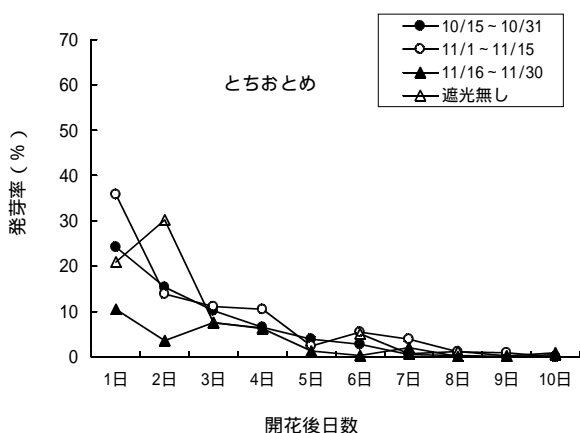


第19図 温度と花粉発芽率の関係

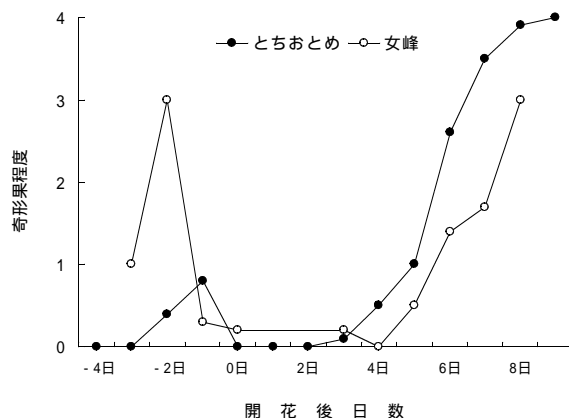
で、開花8日後の雌ずいでもわずかに受精能力が認められた。また、「とちおとめ」では開花3、4日前の雌ずいであっても健全花粉を交配すると完全に受精し、正常果として発達した。「女峰」でも開花前の雌ずいにわずかに受精能力が認められたが、「とちおとめ」ほどではなかった。



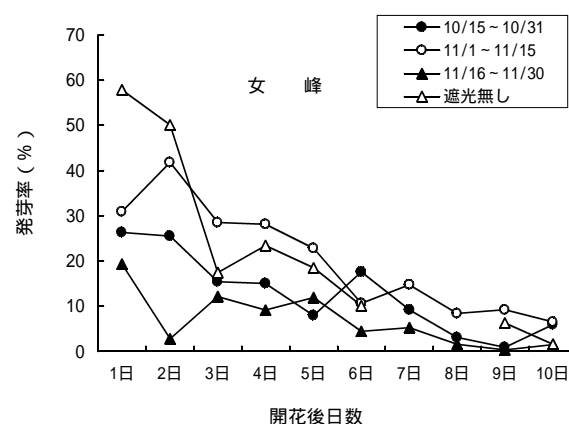
第20図 開花後の花粉受精能力の推移



第22図- a 遮光期間と花粉発芽率の関係



第21図 開花後の雌ずい受精能力の推移



第22図- b 遮光期間と花粉発芽率の関係

3. 花芽発育時の日照条件と花粉および雌ずいの受精能力の関係

それぞれの処理開始時期における一次腋花房花芽の発育ステージを第5表に示した。10月15日が「とちおとめ」で花房分化期、「女峰」でがく片形成から花弁形成期、11月1日が「とちおとめ」で花弁形成から雄ずい形成期、「女峰」で花弁形成期から雌ずい形成期、11月16日が「とちおとめ」で雌ずい形成期から花器完成期、「女峰」で花器完成期で、各処理開始時期とも「女峰」の方がわずかに生育ステージが進んでいた。

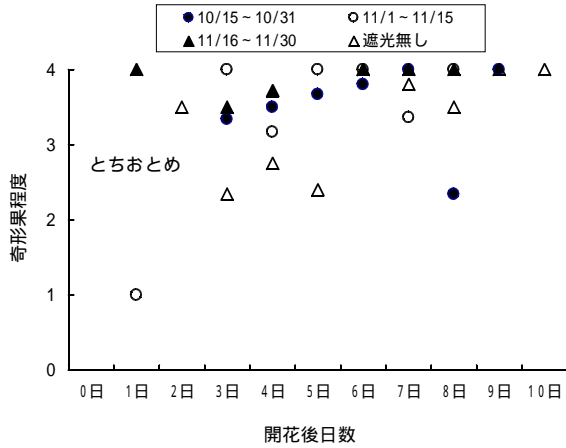
第22図に遮光期間と花粉発芽率の関係を、第23、24図に遮光期間と花粉および雌ずいの受精能力の関係を示した。花粉の発芽率はいずれの処理区も「女峰」の方が高かった。遮光の時期では10月15日～10月31日遮光区（花房分化から雌ずい形成期）および11月16日～11月30日遮光区（花器完成期から出蕾期）で発芽率の低下が大きい傾向を示し、特に11月16日～11月30日遮光区の発芽率が低く推移した。

花粉の受精能力は、両品種とも対照区に比べ遮光処理区の奇形果程度が高く、処理間では11月16日～11月30日遮光区が高い傾向であった。雌ずいの受精能力は、「とちおとめ」では対照区に比べ遮光処理区で奇形果程度が高く、10月15日～10月31日遮光区と11月16日～11月30日遮光区がやや高い傾向であった。「女峰」は対照区と遮光処理区の差が小さく、遮光の影響が小さかった。

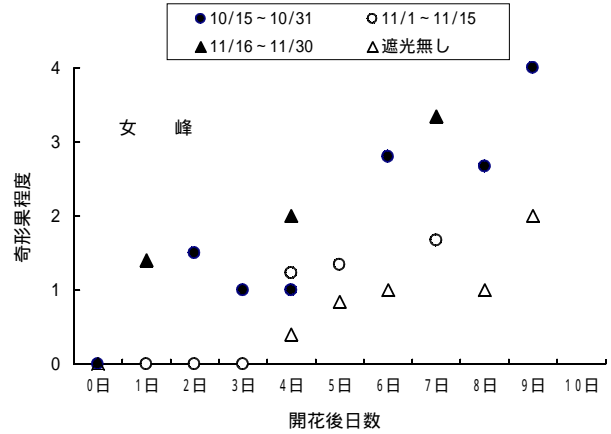
上記の各処理区において、実際にミツバチを放飼し虫媒受粉させて結実させた結果を第25図に示した。「とちおとめ」の10月15日～10月31日遮光区と11月16日～11月30日遮光区で不受精果が多発したが、その他の処理区での発生は極めて少なかった。また11月16日～11月30日遮光区では、一次腋花房の開花時期に葯の退化した花が多くみられ、収穫時の調査でも花房の1～3番果に花床の発達しない完全な不受精果が多発した。

第5表 遮光処理開始時期の一次腋花房の花芽发育ステージ

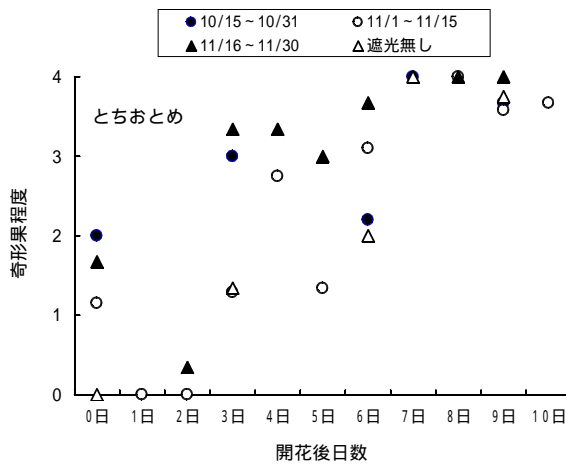
品 種	10月15日	11月1日	11月16日	11月30日
とちおとめ	出蕾始め			
女 峰	出蕾～開花始め			
花房分化期：	，	がく片形成期：	，	花弁形成期：
花器完成期：	として示した	雄ずい形成期：	，	雌ずい形成期：



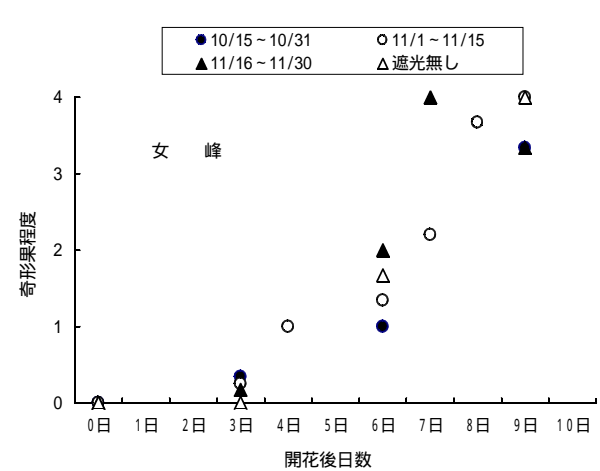
第23図- a 遮光期間と花粉の受精能力の関係



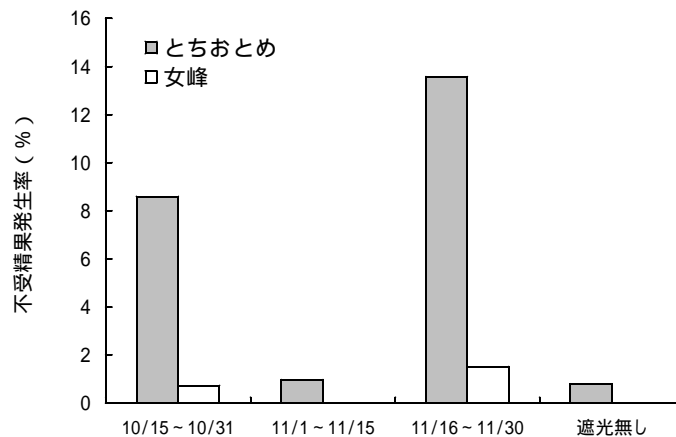
第23図- b 遮光期間と花粉の受精能力の関係



第24図- a 遮光期間と雌ずいの受精能力の関係



第24図- b 遮光期間と雌ずいの受精能力の関係



第25図 虫媒受粉による遮光期間と不受精果発生率の関係

第6表 開花10日後の雌ずい活性の品種間差

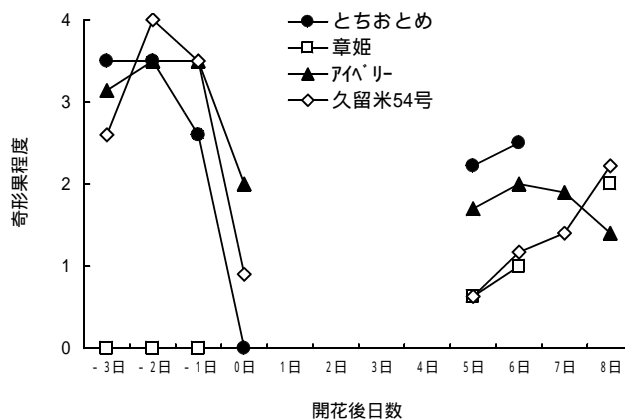
品 種	雌ずい色の状態	TTC染色
とちおとめ	退色	×
女 峰	やや退色	
章 姫	退色	×
アイベリー	黄色(基部やや退色)	
久留米54号	黄色	

TTC染色の結果は、無着色：×，やや着色：○，着色：●，鮮明に着色：▲で示した

第7表 大果系品種の果実形態の比較

品 種	果形比 (縦径/横径)	そう果列数	そう果総数	果重(g)
とちおとめ	1.18	24.3 a	455.4 a	43.5
章 姫	1.78	23.1 a	285.6 b	36.3
アイベリー	1.39	25.4 a	458.4 a	40.6
久留米54号	1.09	25.4 a	445.9 a	51.7

LSD検定で同一文字間に1%水準で有意差がないことを示す



第26図 大果系品種の雌ずい受精能力の推移

4. 大果系品種の雌ずいの受精能力

雌ずい色の観察結果およびTTC染色による雌ずい活性を第6表に、雌ずいの受精能力の推移を第26図に示した。開花10日後の雌ずいの状態は、「とちおとめ」と「章姫」は花床全体の雌ずいが黄色味を失い退色していた。「女峰」は全体にやや退色していたが、「とちおとめ」や「章姫」ほどではなかった。「アイベリー」と「久留米54号」は、雌ずい全体が黄色味を残していて、特に「久留米54号」は花床の基部および先端部の雌ずいとも黄色であった。「アイベリー」では花床基部の雌ずいがやや退色していた。TTC染色による雌ずいの着色程度は雌ずい色の観察の結果と概ね一致

し、雌ずいが退色していた「とちおとめ」と「章姫」はTTC染色でまったく着色しなかった。「アイベリー」は花床基部の着色がやや不鮮明であったが、先端部は赤紫色に着色した。「久留米54号」は花床全体の雌ずいが鮮明に着色した。「章姫」は開花3日前の雌ずいでも奇形果が発生せず、開花前雌ずいの高い受精能力が認められたが、「とちおとめ」、「アイベリー」、「久留米54号」は開花前の受精能力が低かった。開花5日後以降では、他の3品種に対して「とちおとめ」の奇形果程度がやや高い傾向であった。「アイベリー」における奇形果の発生状態は、開花前雌ずいでは花床先端部分が不受精となった先づまり果が殆どであった。

しかし開花後では花床先端部分の雌ずいの不受精と花床基部の雌ずいが不受精となったものが混在した。「アイベリー」と同様に開花前の雌ずいで奇形果が多かった「とちおとめ」と「久留米54号」では、開花前、開花後とも花床全体の雌ずいに不受精部分が見られ、「アイベリー」とはその発生様相を異にしていた(データ省略)。

それぞれの品種の収穫時の果実形態の比較を第7表に示した。果形は「とちおとめ」が円錐形であったのに対して、「アイベリー」はやや長円錐、「章姫」は長円錐、「久留米54号」はやや短円錐形であった。そう果列数は品種間で有意な差はみられなかった。そう果総数は「章姫」が少なかったが、他の品種間では有意な差はみられなかった。

考 察

1. 花粉の発芽率

イチゴ花粉の受精能力は品種間差が大きいことが古くから知られており、「秋香」、「紅鶴」は、不稔花粉が多く、「福羽」、「宝交早生」、「ダナー」などの品種は、花粉の受精能力が高いことが確認されている(本多, 1977; 二宮・鈴木, 1965)。「女峰」は親品種の「麗紅」と比較して花粉量が少なく、その受精能力が低い。そして厳寒期に開花する一次腋花房の第1, 第2番花に雄ずいの退化した花が発生することがあり、栽培条件によっては不受精果の発生をみることがある(赤木ら, 1985; 川里, 1989)。従って「女峰」は、現在普及している促成栽培用品種の中では、花粉の受精能力の低い品種として位置づけられている。

開花2日後の「とちおとめ」と「女峰」の花粉発芽率を比較すると、明らかに「女峰」の発芽率が高く、通常、受粉が完了すると考えられる開花4日後までみても「女峰」の方が高い発芽率を維持していた。また、温度と発芽率の関係をみると、花粉の発芽適温は25~30の温度域(並木・藤本, 1968; 植松, 1998)と言われているが、25では「女峰」の方が発芽率が高かった。本試験では、花粉染色による受精能力調査は行わなかったが、「とちおとめ」で発芽率調査時の不発芽花粉に不整形で小さいものが多く観察された。本試験では両品種の花粉量については調査していないが、「とちおとめ」は明らかに「女峰」より花粉量が少ないことが、多くの現地栽培ほ場で観察されている。

花粉の発芽率に対する温度の影響は、「幸玉」、「福羽」では35で受精能力の低下がみられ(二宮・

鈴木, 1965)、「ダナー」では40で高温障害を認めている(川里ら, 1969; 川里ら, 1972a)。いずれにしても栽培適温を超える高温に長時間遭遇した場合は、花粉の受精能力は明らかに低下する。本試験では、イチゴの生育適温を超える30以上の高温域での発芽率は調べていないが、高温域ほど花粉の受精能力保持期間は短縮される(斉藤, 1982)と考えられることから、温度と花粉の受精能力および受精能力保持期間の関係について更に検討する必要がある。

なお、5 恒温条件下でまったく発芽しなかった花粉を25 条件下に移すことで、「とちおとめ」が17%、「女峰」で25%程度まで発芽率が向上した。このことは、厳寒期、曇雨天でハウス内の日中温度が上昇しないような時に、暖房機を稼働させ昼間暖房することで、花粉発芽率が向上し、受精促進に結びつく可能性を示唆している。

2. 花粉および雌ずいの受精能力

花粉の発芽率や稔性に関する報告(阿部, 1971; 並木・藤本, 1968; 大和田ら, 1970)は多いが、実際の受精能力について能力保持期間を含めて検討した報告は少ない。雌ずいの受精能力に関しては2, 3の報告があるに過ぎず、阿部ら(1971)が「芳玉」を用いて行った試験では2月の低温期で開花10日、4月の高温期で開花5日後まで高い受精能力をもっていたとしており、吉田(1991a, c)、森ら(1988)が「アイベリー」を用いて行った試験でも開花8日後くらいまでは受精能力を持つことを報告している。大和田ら(1970)が「ダナー」を用いて花粉と雌ずいの受精能力について調査した結果では、花粉は開花2日後から急速に受精能力を低下させたが、雌ずいは開花4日後でも高い受精能力を持っていることを報告している。

これらの報告は、作型や時期および品種間の差はあるものの、いずれも雌ずいに関しては相当長期間にわたって受精能力が保持されていることを示している。花粉に関しては、「アイベリー」で開花8日後まで受精能力が認められたという報告(森・庄下, 1988)があるが、一般的には雌ずいよりも能力保持期間は短いと考えられる。

本試験では、「とちおとめ」、「女峰」とも開花10日後の花粉でもわずかに発芽が認められたが、実際の受精能力についてみると、「とちおとめ」では開花3日後以降から奇形果程度が高くなっていることから、促成作型における一次腋花房の花粉の受精能力保持期間は開花後2日から3日程度と考えられる。「女峰」は開

花後6, 7日の花粉でも奇形果程度が低かったことから、「とちおとめ」よりも遅くまで高い受精能力を維持していると推察された。

一方、雌ずいでは、開花3日~4日後までは、両品種とも受精能力が高かったが、その後急速に受精能力が低下し、「とちおとめ」では、8日後には完全に受精能力を失っていた。しかし、「女峰」は花粉同様、雌ずいでも遅くまで高い受精能力を維持していることがわかった。

本試験で供試した2品種の花粉受精能力保持期間については、既往の報告と概ね一致したが、雌ずいの受精能力については、12月中下旬から1月上旬の低温期の試験であったにも関わらず、能力保持期間が極めて短く、特に「とちおとめ」でその傾向が顕著であった。このことはこれら2品種の基本的な特性であると考えられるが、作型と栽培環境の影響も無視できないと思われる。既往の報告の殆どは、露地栽培やハウス半促成栽培での結果であるが、これらの作型では、日長、日射量、温度などの環境条件が日増しに良くなっていく状況下でのものであり、現在の主力作型である促成栽培と比較すると、イチゴにとっての基本的栽培環境は大きく異なっていると考えられる。

3. 花芽発育時の日照条件と花粉および雌ずいの受精能力の関係

長期間にわたる日照不足が、作物の生育・収量や品質に与える影響の大きさについては、多くの作物で検討されている。しかし、それらは収量や品質への直接の影響を主眼としたものが多く、イチゴに関しても花器の質におよぼす影響を検討した報告(並木・藤本, 1969)は少ない。イチゴでは大田ら(1972)が花芽発育時の遮光処理により、雄ずいの花糸が短い短花糸花が多くなり、花粉の発芽率も低下し、不受精果が多発することを報告している。

本試験では、一次腋花房の花房分化期から出蕾開花までの花芽発育ステージを3つの時期に分け、各時期毎の遮光の影響について、花粉および雌ずいの受精能力を含めて検討した。花粉と雌ずいの受精能力は、「とちおとめ」の方が遮光の影響を受けやすく、花芽の発育ステージでは、花器完成期から出蕾期に影響を強く受けることが確認された。日照不足の影響は雌ずいでは比較的少ないが、花粉の発芽率や受精能力に大きく影響することが報告されており(並木・藤本, 1969; 大田ら, 1972)、本試験でも同様の結果となった。しかし、本試験の範囲では、「とちおとめ」は明らかに

遮光区で雌ずいの受精能力低下が認められたのに対し、「女峰」の雌ずいは、遮光の影響が小さかった。ミツバチによる虫媒受粉の結果をみても、「とちおとめ」では、花粉の発芽率および雌ずいの受精能力が低かった処理区で不受精果が多発した。本試験は同一ハウス内に処理区を設け、各処理区を隔離せずに同一群のミツバチによる自然交配で着果させたため、他株の健全花粉がミツバチの訪花活動により受粉されていた可能性が高い。従って、同一処理区内での自家花粉による受精だけが行われたと仮定した場合の不受精果の発生は、極めて高い値となった可能性がある。

西沢・堀(1988)はイチゴにおける¹⁴CO₂光合成産物の転流・分配におよぼす花房の発育段階の影響を検討している。それによれば、開花前に¹⁴CO₂を施与した場合は、根に40%、花房に20%が分配され、肥大期および着色期では根への分配はわずか2%にすぎず、花房への分配率が47%および86%に増加したことから、果実の肥大着色期に花房のシンク活性が急激に高まることを報告している。

9月上中旬に定植される促成栽培では、11月下旬が頂花房の収穫開始時期に当たるが、頂花房の果実肥大はすでにそれ以前から開始されている。本試験で問題にしている一次腋花房の花芽分化は、通常10月上中旬頃に始まり、12月上旬に出蕾開花期を迎える。本試験では11月16日~11月30日(花器完成期~出蕾期)まで遮光した区で最も受精能力が低下したが、この時期は頂花房のシンク活性が急激に高まる肥大・着色期に相当する。

促成栽培の作型では、頂花房の果実肥大・着色期と一次腋花房の花芽発育時期が完全に重なってくることから、頂花房と一次腋花房の間で常に激しい養分競合が起こっていると推測される。「とちおとめ」のように11月中旬以降から急激に花房全体の果実肥大が始まり、頂花房1番花が30~40g以上にもなる品種においては、花房間の養分競合はより激しいと考えられる。さらに、11月中旬以降日射量が急激に減少し、同化作用が低下してくることから、この時期の日照不足が発育途上の花芽に与える影響は極めて大きいと言える。

4. 大果系品種の雌ずいの受精能力

「とちおとめ」は、頂花房頂果が30~40gとなり、可販果の平均一果重も15gを上回り、いわゆる大果系品種として位置づけられている(石原ら, 1996)。「アイベリー」に代表される大果系の品種では、花床先端部分の雌ずいで受精が行われない結果発生する先づまり

果や、受精は行われるものの花床基部と先端部の受精時期のずれによって発生する先青果、先白果が発生しやすい(以下、先青果という)。「とちおとめ」の親品種である「栃の峰」は、頂花房頂果の最大果が「アイベリー」並の60~70gに肥大する品種であるが、「アイベリー」同様先青果が発生しやすい(植木ら, 1993)。

イチゴの花芽分化は求心的で、がく片、花弁、雄ずい、雌ずいの順に分化していき、花床上の雌ずいは基部から先端部に向けて分化発育が進む。吉田ら(1987, 1991a, b, c)は、「アイベリー」が花床基部の雌ずいと先端部の雌ずいの成熟の時間差が大きいことを認め、このことが先青果発生に直接の要因であることを明らかにした。そして先青果防止対策として同一花床上の雌ずい間の成熟差を少なくするための苗質、株の窒素栄養および温度管理について詳細な検討を行っている。

「とちおとめ」は、先青果が発生しやすい「栃の峰」を花粉親に持つにも関わらず、先青果の発生はまったくみられない。同様のことが大果系品種の「章姫」においても認められる。「とちおとめ」と「アイベリー」の果実形状をみると、果形比は「アイベリー」で大きくやや長円錐形であることを示しているが、そう果列数やそう果総数についてはまったく差が認められない。しかし、「章姫」では明らかに長円錐であり、そう果総数が少ない。「アイベリー」の先青果発生の原因とされた花床基部と先端部の雌ずいの成熟差は、花床上の雌ずい列数が多いことで説明されているが(吉田ら, 1987, 1991a, b, c)、同様に雌ずい列数の多いとちおとめで先青果の発生がみられないことは極めて特徴的なことである。

まったく先青果の発生しない「とちおとめ」と「章姫」では、開花後の雌ずい受精能力の低下が早いことが、雌ずい色の肉眼による観察やTTC染色による結果から明らかとなった。また、雌ずいの受精能力は、「章姫」では開花3日前の雌ずいでも、健全花粉を受粉することで正常果として肥大したことから、開花前にすでに高い受精能力を持つことが確認された。しかし、「とちおとめ」は試験2では開花前に高い受精能力が認められたが、試験4では開花前の雌ずいの受精能力は低く、異なった結果を示した。この理由は、試験2では、受粉花粉に受精能力の高い「さちのか」の花粉を用い、試験4では、「とちおとめ」の自家花粉を用いたことが原因と考えられる。「とちおとめ」の雌ずいそのものの受精能力は、開花前の状態であってもかなり高いこ

とは、育種素材として「とちおとめ」を種子親に用いた場合、開花前の早い段階で交配を行っても果実が正常に肥大する事実からも支持される。

イチゴの花器は雌ずい先熟であるといわれているが(生井, 1991, 1992)、阿部ら(1971)が「芳玉」を用いた試験で開花前日の雌ずいがすでに受精能力を持つことを報告している程度で、雌ずいの先熟性程度やその品種間差に言及した報告は見当たらない。本試験で供試した大果系の4品種のうち、「とちおとめ」と「章姫」は花床上の雌ずいの成熟差が小さく先熟性程度が高いことから開花前でも高い受精能力をもつ反面、開花後の受精能力低下が早かった。先青果が発生しやすい「アイベリー」は、花床基部の雌ずいは開花前でも受精能力を持っており先熟性を示したが、花床先端部の雌ずいは開花前は未成熟であり、花床全体の雌ずいの成熟差が大きかった。同様に軽い先青果が発生する「久留米54号」では、花床上の雌ずいの成熟差は小さく、先熟性程度も小さかった。以上のように開花前の雌ずいの先熟性程度には明らかな品種間差が認められた。本試験の結果から、大果系品種の先青果発生には、「アイベリー」で指摘された花床上の雌ずいの成熟差以外の要因として、雌ずいの先熟性程度が大きく影響していると考えられる。

大果系であって、先青果が発生しないためには、花床基部と先端部の雌ずい間の成熟差が小さく、花弁が離脱する以前に花床先端部の雌ずいが成熟しミツバチの訪花によって先端部雌ずいの受粉受精が完了する、という2つの条件が必要であると考えられる。「とちおとめ」と「章姫」は雌ずいの先熟性程度が高く、花床上の雌ずい間の成熟差が小さいことからこの2つの条件を満たしていると考えられる。「アイベリー」や「栃の峰」のような品種は、花床全体でみると開花前の雌ずいの先熟性程度が小さく、開花後の雌ずいの受精能力は長く維持されるが、花床基部と先端部の雌ずいの成熟差が大きいため、花弁が離脱しミツバチの訪花がなくなった頃にやっと花床先端部の雌ずいが受精能力を持つまでに発育する。一方、「とちおとめ」や「章姫」では、雌ずいの先熟性程度が大きく、花床基部と先端部の雌ずい間の発育差が小さいため、開花後の雌ずいの受精能力保持期間は短くなるものの、開花1, 2日後の雄ずい開薬の最盛期には、花床先端部の雌ずいは受精能力を有するまでに成熟しており、かつ、花床基部の雌ずいはまだ高い受精能力を維持していると考えられる。その結果「アイベリー」や「栃の峰」

では先青果が発生しやすく、「とちおとめ」や「章姫」では発生しないと推察される。

イチゴの開花・開葯には、温度の影響が大きいことが知られているが（斉藤，1982；斉藤ら，1983），厳寒期の晴天条件下で「とちおとめ」と「女峰」の開葯時期を比較すると，「とちおとめ」では開花翌日から2日後，「女峰」では開花当日から翌日に最盛期を迎え，「とちおとめ」の開葯は「女峰」より1日程度遅い傾向が観察されている．開葯時期の遅れが，花床先端部分の雌ずいの成熟と受粉のタイミングのずれをより少なくしているとも考えられる．

第5章 光合成速度の日変化

緒言

イチゴの栽培現場で光合成を促進して収量と品質を向上させる技術開発を行うには、イチゴの光合成に関する諸特性を把握することが重要である。

我が国におけるイチゴ育成品種の光合成特性に関しては、織田ら（1974, 1975, 1984, 1990, 1991）の一連の報告があるものの、最近育成され、現在主力品種の1つになっている「とちおとめ」に関する研究事例は極めて少ない。そこで、本研究では、まずイチゴ品種「とちおとめ」について基本的な光合成の特徴を、光強度とCO₂濃度に対する反応から調査した。光合成速度は光強度に強く依存するので、イチゴ栽培現場における一日の光合成速度は、主に光強度に支配される日変化を示すと考えられる。しかし、本研究では同一の光強度下でも午後には午前より見かけの光合成速度が低くなる傾向を認めた。このような光合成速度の「日中低下」あるいは「ひるね」現象は、一部の作物において報告されているが（石原・斉藤, 1987; 玖村, 1976）、イチゴ品種に関する報告はない。今後、イチゴ栽培方法の改善や品種改良を目的としてイチゴ葉の光合成速度を比較、検討していく上で、イチゴ葉の光合成速度の日変化の程度とその原因を明らかにすることは重要である。そこで本章では、休眠に入らないように留意して栽培したイチゴ苗「とちおとめ」、「女峰」および「とよのか」を供試し、光合成速度の日変化を比較し、その原因について検討した。

材料および方法

1. 光強度およびCO₂濃度が光合成速度に及ぼす影響

品種は「とちおとめ」を供試した。2004年7月15日に10.5cm径ポリポットに採苗仮植し、雨よけ状態で育苗した苗を11月23日に15cm径ポリポットに定植した。定植後直ちに温室内に搬入し、光合成実験に供するまでの期間、昼温25℃、最低夜温10℃を目標に管理し、液肥を適宜施用しながら株の育成に努めた。光合成速度の測定は、携帯型光合成蒸散測定装置（LI-6400, Li-Cor社）を用い、12月20日に行った。光 - 光合成曲線の測定に当たっては、CO₂濃度を354~369ppmの範囲に保ち、午前8:30に第4葉の中央小葉（以下、光合成測定は各葉位の中央小葉を用いた）を同化箱にセットして400μmol・m⁻²・s⁻¹の光強度で9:30まで1時間予め光合成速度を十分安定させてから1,000, 2,000μmol・m⁻²・s⁻¹

の光強度に順次上昇させ、各光強度で10分以上光合成速度が安定していることを確認した。午後は2,000μmol・m⁻²・s⁻¹から光強度を順次低下させて測定を行った。CO₂ - 光合成曲線の測定に当たっては光 - 光合成曲線測定終了後に第5葉を用い、光強度を1,000μmol・m⁻²・s⁻¹として流入空気のCO₂濃度を2,000ppmから順次低下させて測定を行った。以上の測定で同化箱内の温度は20±0.3℃に保った。供試株数はそれぞれ1個体とした。

2. 光合成速度の日変化

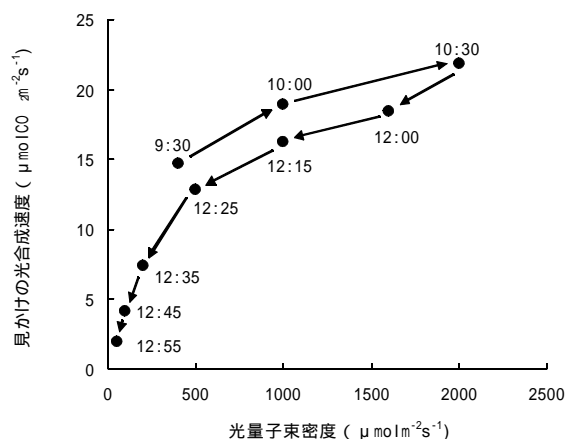
品種は「とちおとめ」、「女峰」および「とよのか」の3品種を供試した。供試株は試験1と同一条件で管理した株を用いた。光合成速度の測定は、携帯型光合成蒸散測定装置（LI-6400, Li-Cor社）を用い、2005年5月8日から11日に行った。測定には第3葉を用い、毎日各品種1個体を供試した。測定時の設定条件は、葉温25℃、LI-6400-02B LED光源を用い光強度1,000μmol・m⁻²・s⁻¹、CO₂濃度400ppm、相対湿度70~75%（室内湿度65%）とした。4日間で得られた測定値を、9:00~11:00、12:00~14:00および15:00~17:00の3つの時間帯に分けて整理し、各品種各時間帯4反復として統計解析を行った。クロロフィル蛍光の日変化は、クロロフィル蛍光測定装置（FMS-2, HANSATECH, UK）を用いて、5月10日の午前9時から夕方5時まで約2時間おきにクロロフィル蛍光値F_v/F_mを測定した。F_v/F_mの測定にあたっては、屋外（測定日は快晴であり、日中の最高光強度約1,800μmol・m⁻²・s⁻¹であった）においた植物の葉を測定前に約30分間の暗処理を行ってから実施した。測定には第3葉を用い、各品種2個体を供試した。水ポテンシャルは、プレッシャーチェンバー法（PMS社製, USA）を用いて5月20日の9:00, 10:00, 14:00および16:00の4回測定した。測定には第2~4葉を用い、各品種2個体を供試した。細胞間隙CO₂濃度C_i - 光合成曲線は各品種の第3, 4葉を供試して5月12日と13日に実施した。測定方法は、光源にLI-6400-02Bを用いた以外はUenoら（2003）と同一の方法で行い、葉温25℃、光強度1,000μmol・m⁻²・s⁻¹の条件下で外圍空気のCO₂濃度を100, 50, 0 ppmに変化させて実施した。この関係の最小二乗法で求めた直線回帰式の勾配を見かけの炭酸固定効率とした。なお、直線回帰の決定係数はすべて0.99以上であった。見かけの炭酸固定効率は、2日間で得られた測定値を、9:00~11:00, 12:00~14:00および15:00~17:00の3つの時間帯に分けて整理し、各品種各時間帯4反復として統計解析を行った。

結果および考察

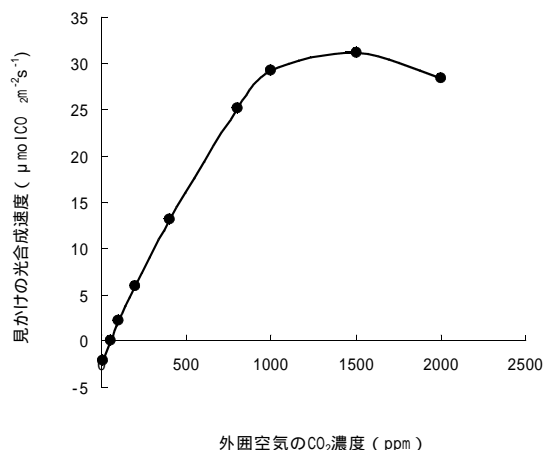
1. 光強度およびCO₂濃度が光合成速度に及ぼす影響

「とちおとめ」の光 - 光合成曲線を第28図に示した。光強度と見かけの光合成速度の関係をみると、光強度の増加に伴い見かけの光合成速度は増加し、 $400\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ あたりから増加傾向は緩やかになったが、 $1,000\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ でも完全な光飽和には達せず、 $2,000\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ まで上昇し続けた。増加傾向が緩やかになった $400\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ あたりを「とちおとめ」の光飽和点と考えると、この値は従来イチゴ葉で織田ら(1975)により報告されてきた「ダナー」や「宝交早生」の16~25klx(約320~500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)という値とほぼ同一であった。「とちおとめ」の見かけの光合成速度は、午前中高く、同一の日射強度でも午後には午前中よりも低い値となった。たとえば $1,000\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ では10:00に $18.9\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ であったのに対して12:15には $16.2\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ と約15%低下した。このような個葉光合成速度の日変化パターンは、ダイズ(玖村, 1976)や水稲(石原・斉藤, 1987)でも報告されており、イチゴでも「宝交早生」の株で同一の光強度の下で午前より午後のほうが光合成速度が低くなることが報告されている(織田・柳, 1984)。このようにイチゴの個葉光合成速度の品種間差異などを比較する場合、測定時刻に留意する必要がある。そこで本研究では、「とちおとめ」に加えて「女峰」と「とよのか」を供試して個葉光合成速度の日変化の程度とその原因についてさらに検討することにした。

「とちおとめ」のCO₂ - 光合成曲線を第29図に示した。CO₂濃度と見かけの光合成速度の関係をみると、見かけの光合成速度は、CO₂濃度が1,000ppmまでは直線的に増加したが、1,000ppmを超えると横ばい傾向を示し1,500ppmで最大となり、2,000ppmではやや減少した。長岡ら(1994)は「とよのか」を用いて光 - 光合成曲線とCO₂ - 光合成曲線を調べ、自然大気条件下では見かけの光合成速度は $1,000\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ で光飽和に達し、光強度 $205\sim 1,034\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、温度10~30の範囲では、光強度、温度に関係なCO₂濃度1,000ppmで見かけの光合成速度はほとんど増加しなくなるとしているが、本実験の結果はこの結果とほぼ一致した。また、これらの傾向は織田・田辺(1990)、織田・鈴木(1991)が「女峰」および「とよのか」を用いて得た結果ともほぼ一致した。イチゴはCO₂施肥技術が広く普及している数少ない作物の1つであるが、現場レベルでの施用基準や施用方法についての具体的な知見



第28図 光 - 光合成曲線



第29図 CO₂ - 光合成曲線

は少ない。一般的には1,000~2,000ppmがCO₂濃度の施用基準とされているが、3,000ppmを超えるような高濃度施用も多くみられる。本実験の結果から判断して、イチゴでは1,000ppm前後の濃度を目安としCO₂施肥を行うのが良いと考えられる。CO₂施肥は、日中のハウス換気が少ない寡日照地域での終日施用で高い効果が認められている(川島, 1991)。植松(1998)は午前中の早い時間帯に換気をしなければならない多日照地域では、CO₂施肥の効果は少ないとしている。しかし、栃木県のように冬場の日照が全国一多い多日照地域においても、換気前のCO₂施肥だけで16%の増収効果が認められている(重野ら, 2001)。以上のことを総合すると午前中で短時間のCO₂施肥であっても増収効果が期待できることを示すものと考えられる。

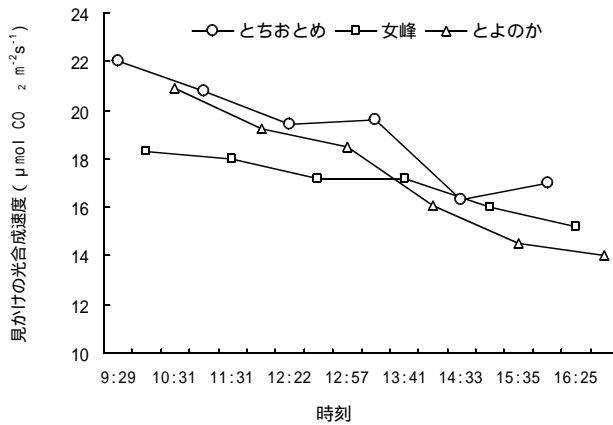
2. 光合成速度の日変化

3品種の見かけの光合成速度と気孔コンダクタンスの日変化の1例を第30図と第31図に示した。見かけの光合

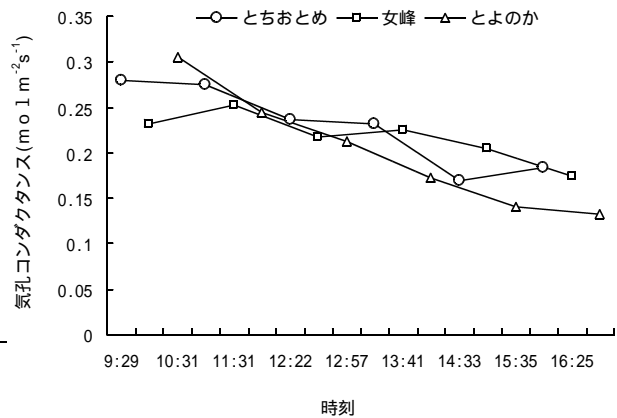
第8表 時間帯ごとに整理した3品種の見かけの光合成速度と品種，時間帯の一元配置分散分析結果

品 種	光合成速度 ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)			分散分析 (時間帯)
	9:00-11:00	12:00-14:00	15:00-17:00	
とちおとめ	18.9±2.4 (100)	16.8±2.0 (89)	14.2±2.7 (75)	*
女 峰	18.1±1.1 (100)	16.8±0.8 (93)	14.3±1.4 (79)	*
とよのか	18.6±1.6 (100)	16.4±3.2 (88)	13.6±2.1 (73)	*
分散分析 (品種)	ns	ns	ns	

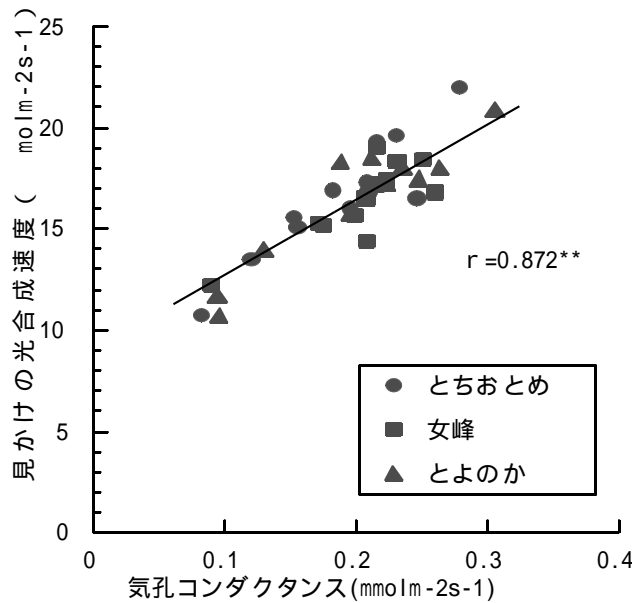
表中の数値は4反復の平均値±標準偏差，()内の数値は9:00-11:00の値に対する相対値を示す
 表中の*およびnsは，それぞれ5%で有意および5%で有意でないことを示す



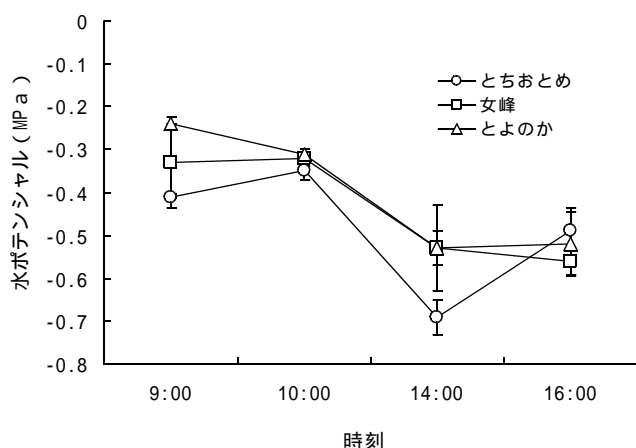
第30図 光合成速度の日変化



第31図 気孔コンダクタンスの日変化

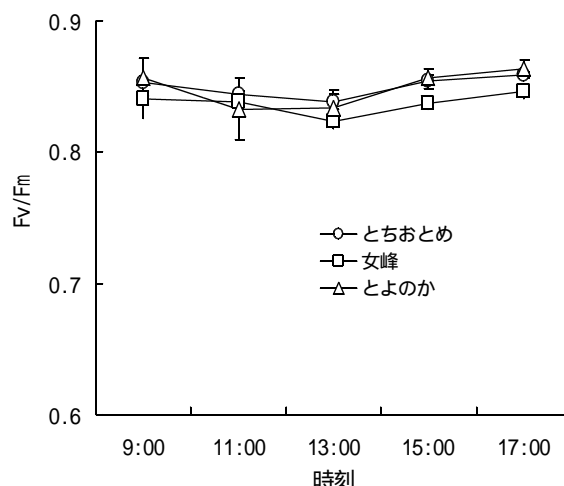


第32図 気孔コンダクタンスと光合成速度の関係



第33図 水ポテンシャルの日変化

図中の垂線は2反復のレンジを示す



第34図 クロロフィル蛍光値 (Fv/Fm)の日変化

図中の垂線は2反復のレンジを示す

第9表 時間帯ごとに整理した3品種の見かけの炭酸固定効率と品種，時間帯の一元配置分散分析結果

品 種	炭酸固定効率 (mol・mol ⁻¹)			分散分析 (時間帯)
	9:00-11:00	12:00-14:00	15:00-17:00	
とちおとめ	0.113 ± 0.013	0.115 ± 0.015	0.110 ± 0.025	ns
女 峰	0.098 ± 0.003	0.095 ± 0.011	0.076 ± 0.015	*
とよのか	0.102 ± 0.013	0.101 ± 0.005	0.088 ± 0.008	ns
分散分析 (品種)	*	*	ns	

表中の数値は、4反復の平均値 ± 標準偏差を示す

表中の*およびnsは、それぞれ5%で有意および5%で有意でないことを示す

成速度と気孔コンダクタンスは、いずれも午前中に高く時間の経過とともに低下した。得られた測定値を、9:00～11:00、12:00～14:00および15:00～17:00の3つの時間帯に分けて整理し、各品種各時間帯4反復として分散分析を行った結果を第8表に示した。いずれの品種も時間帯の進みに伴う見かけの光合成速度の低下は有意であったが、同一の時間帯における見かけの光合成速度の品種間差異は有意ではなかった。したがって、本実験で供試した品種では9:00～11:00に比べて、12:00～14:00には約10%、15:00～17:00には約20%程度見かけの光合成速度が低下すると推定された。第32図に示したように、見かけの光合成速度と気孔コンダクタンスの間には品種、時刻を通してきわめて高い正の相関が見られたので、本実験で見られたイチゴ品種の見かけの光合成速度の午後の低下は主に気孔コンダクタンスの低下に基づくものと考えられる。水ポテンシャルの日変化を見ると(第33図)、午前中に高く、午後には有

意に低下していたことから、気孔コンダクタンスの低下は、水ポテンシャルの低下が原因していると考えられた。クロロフィル蛍光の測定結果(第34図)は日変化せず、ほぼ一定で0.8以下になっていなかった。光阻害を受けていない健全な葉はFv/Fmが0.8～0.83の値をとるとされる(彦坂, 2003)。したがって、イチゴ葉は快晴日の日中の最高光強度1,800 μmol・m⁻²・s⁻¹に置いた条件下でも光阻害は起こっていなかったと推定され、イチゴ葉の見かけの光合成速度の日中低下には光阻害は関与していないと考えられた。第9表に3品種のイチゴ葉の見かけの炭酸固定効率を時間帯ごとに整理して分散分析を行った結果を示した。見かけの炭酸固定率は9:00～11:00および12:00～14:00には品種間差が有意でいずれも「女峰」が他の2品種より低い値であった。また、時間帯の進みの影響は「女峰」のみ有意な低下を示したが、「とちおとめ」と「とよのか」では有意ではなかった。

以上の結果から、本実験で供試した3品種のイチゴ葉の見かけの光合成速度はいずれも午前中に高く、午後有意に低下することが明らかとなった。その原因の一つとして水ポテンシャルの低下による気孔コンダクタンスの低下が関与すると考えられた。平沢（1994）は、このような光合成速度の日中低下には葉の水分状態が関係しているとしており、玖村（1976）も午後の光合成の低下をもたらすものの一つは、体内水分レベルの低下による気孔開度の減少であるとしているが、他のしくみによる光合成抑制もあり得るとしている。織田（1997）は、午前の光合成速度が高く午後からのそれが低いことの理由として、光合成産物の転流障害を最大の理由としている。つまり、単糖および多糖類、デンプンなどの形で葉中に蓄積された光合成産物が、光合成速度の低下を招くと推測している。この場合には炭酸固定効率の低下が関与することになるが、本実験でも「女峰」では見かけの炭酸固定効率の低下が認められたので、品種によっては見かけの光合成速度の午後の低下に関与している可能性がある。この点に関しては光合成産物の動態を含めてさらに詳細な検討が必要と思われる。イチゴ葉の光合成速度には葉齢（織田・阪本，1975）や施肥との関係（Jurikら，1982）、果実の成熟過程での変化（荻原ら，2004）も報告されており、現場での光合成活動の実態について今後さらに解明していかなければならない。

第6章 10月どり作型における一次腋花房の連続出蕾技術の開発

緒言

イチゴの促成栽培では、夜冷短日育苗などの花芽分化促進技術の開発普及により、収穫開始時期の大幅な前進化が図られ、11月上中旬からの安定した連続収穫が可能になっている（植木ら、1993）。しかし、イチゴの市場価格は、早期出荷するほど高単価であることから、収穫開始時期を現在の11月上中旬からさらに前進させ、年内収量および総収量の向上を可能とする早期出荷技術の開発が強く求められている。

現在の促成栽培における花芽分化促進処理は、頂花房の花成促進のみを目的に行われているため、一次腋花房以降の花芽分化は本ば定植後の自然条件下で進行することになる。従って頂花房収穫始期の極端な前進化は、頂花房果実と一次腋花房果実の間に収穫の中休み期間を生ずるため、年内収量の向上に結びつかず、経営的なメリットは少ない（堀田、1987；野口、2002；斉藤、1970；植木ら、1993；植松、1998）。

そこで、夜冷短日処理（以下、夜冷処理という）により頂花房を花芽分化させた苗を8月中旬に本ばに定植し、本ばにおいて再度夜冷処理を行うことで一次腋花房の花芽分化促進を図り、10月上中旬から頂花房の収穫を開始し、さらに一次腋花房を連続的に収穫する技術（以下、本ば短日ウォーター夜冷処理という）を開発した（家中・稲葉、2006）。しかし、この方法は本ばで夜冷処理を行うための水冷設備（ウォーターカーテン）を必要とする。さらに一次腋花房の花成促進のため、8月中旬から9月中旬までの約1か月間、短日処理としてハウス全体を覆う遮光資材の開閉作業を毎日行なわねばならず、労働負担が大きい。また、連棟ハウスでは構造上、完全密閉による遮光処理が難しいといった問題点を抱えている。

そこで、本章では、本ば短日ウォーター夜冷処理に比べてより省力低コストで、単棟ハウス、連棟ハウスのいずれにも対応可能な汎用性の高い一次腋花房の花芽分化促進処理として、夜冷育苗装置（以下、夜冷库という）を利用して頂花房だけでなく一次腋花房まで花芽分化させる夜冷処理方法を検討した。しかし、本方法は頂花房が花芽分化した苗に対して夜冷処理を継続し、一次腋花房の花芽分化を促進しようとするものなので、すでに分化している頂花房の発育に対して夜冷処理の低温短日条件が抑制的に作用することが懸念さ

れる。芳賀ら（1996）は、周年穫り作型の開発にあたって、夏季の花成促進のための短日処理が着花数を減少させ、開花時期の遅れを招くことを報告している。また、本ば短日ウォーター夜冷処理においても頂花房着花数が著しく減少し、そのことが初期収量低下の要因として指摘されている（家中・稲葉、2005、2006）。

以上の点をふまえ、頂花房分化後一時的に夜冷処理を中断して分化した頂花房の発育促進を図ることにより、収穫開始時期を前進化させるとともに十分な頂花房着花数を確保し、同時に、安定的に一次腋花房の花成促進を図ることができるか否かを明らかにすることを目的に本研究を実施した。また、追肥技術と組合せることによる10月どり作型の可能性についても検討した。

材料および方法

1. 夜冷処理中断の有無と定植前の追肥打ち切り時期の影響

品種は「とちおとめ」を供試した。2005年6月8日に本葉2～3枚のランナー苗を採苗し、10.5cm径ポリポットに植え付け、活着後に錠剤型肥料（N：P₂O₅：K₂O = 7：8：6）を株当たり窒素成分で140mg施用した。処理は、頂花房花芽分化後一次腋花房の花芽分化まで連続して夜冷処理を行う区（中断日数0日）および8日間の中断期間後に夜冷処理を再開する区に、追肥打ち切り時期を本ば定植予定日の5日前および15日前とする2処理を組合せた計4処理を設けた。頂花房の花成促進を目的とした第1回目の夜冷処理（8時間日長、庫内温度10一定）は7月6日から8月4日まで行った。一次腋花房の花成促進を目的とした第2回目の夜冷処理は、8月4日または8日間の処理中断後の8月14日から開始し、それぞれ9月5日まで処理を継続した。頂花房の花芽分化確認後、8月7日から液肥（N：P₂O₅：K₂O = 5：6：4）による追肥を開始した。追肥は2日おきに行い、1回の追肥量は株当たり窒素成分で5mgとし、かん水を兼ねて施用した。定植15日前に追肥を打ち切った区の株当たり窒素追肥量は20mg（追肥回数4回）、5日前に追肥を打ち切った区は45mg（追肥回数9回）であった。9月5日に夜冷処理を終了し、直ちに本ば（栃木農試開発のイチゴ閉鎖型養液栽培システム）に定植した。以下、処理区の表示については、夜冷処理中断日数・追肥打ち切り時期の順に「中断0日・5日前追肥打ち切り」のように記載する。対照区は2005年6月25日に本葉2～3枚のランナー苗を採苗し、10.5cm径ポリポットに植え付け、

活着後に前述の錠剤型肥料を株当たり窒素成分で140 mg施用した。8月5日から9月5日まで夜冷処理（8時間日長，庫内温度10 一定）を行い，頂花房の花芽分化（二分期）を確認して9月5日に本ばに定植した。定植時に各処理区から5株をサンプリングし苗質を調査した後，実体顕微鏡を用いて剥皮法により頂花房と一次腋花房の花芽の発育状況を観察した。葉色は葉緑素計（ミノルタ，SPAD-502）を用いて，完全展開第3葉の三つの小葉のうちの中央小葉を測定しSPAD値で表した。本ば定植後の栽培管理は栃木農試の養液栽培の慣行（栃木県農業試験場，2002）で行った。育苗培地および本ば培地は杉皮粉碎培地を用いた。本ばにおける生育および収量の調査は1区10株の3区制で行った。10月中に一次腋花房が開花した株は夜冷処理によって一次腋花房の花芽分化が促進されたものとみなして，供試個体中10月に一次腋花房が開花した個体の割合を計算し，一次腋花房夜冷処理有効株率とした。収量は7g以上を可販果として2005年12月末日まで調査した。

2. 夜冷処理中断期間の長さ，中断期間中の追肥および第2回目の夜冷処理期間中の追肥の影響

品種は「とちおとめ」を供試した。2004年6月8日に本葉2～3枚のランナー苗を採苗し，10.5cm径ポリポットに植え付け，活着後に錠剤型肥料（N：P₂O₅：K₂O = 7：8：6）を株当たり窒素成分で140mg施用した。処理は第1回目の夜冷処理と第2回目の処理の間の処理中断期間を5日または10日に変え，これと処理中断期間中の追肥の有無および第2回目の夜冷処理期間中の追肥の有無を組合せた8処理区および通常の夜冷育苗による11月上中旬どり作型を擬した対照区を設けた。頂花房の花成促進を目的とした第1回目の夜冷処理（8時間日長，庫内温度10 一定）は7月6日から8月4日まで行った。一次腋花房の花成促進を目的とした第2回目の夜冷処理は，中断5日目の8月9日および10日目の8月14日から開始した。これら4区とも追肥区は，頂花房の花芽分化確認後，8月5日から液肥による追肥を開始した。追肥は1日おきに行い，1回の追肥量は株当たり窒素成分で5mgとし，かん水を兼ねて施用した。夜冷処理中断期間中の窒素追肥量は，5日中断区が15mg（追肥回数3回），10日中断区が30mg（追肥回数6回），第2回目の夜冷処理中の窒素追肥量は，5日中断区が50mg（追肥回数10回），10日中断区が35mg（追肥回数7回）であった。以下，処理区の表示については，夜冷処理中断日数・中断期間中の追肥量・第2回目夜冷処理中の追肥量の順に「5日・15N₁・50N₂」のように記載する（N₁，N₂は中断

中および夜冷処理中の窒素追肥量を示す）。9月1日に夜冷処理を終了し，直ちに本ば（栃木農試開発のイチゴ閉鎖型養液栽培システム）に定植した。対照区は2004年6月25日に本葉2～3枚のランナー苗を採苗し，10.5cm径ポリポットに植え付け，活着後に他の8処理と同様，錠剤型肥料を株当たり窒素成分で140mg施用した。8月1日から9月1日まで夜冷処理（8時間日長，庫内温度10 一定）を行い，頂花房の花芽分化（二分期）を確認して9月1日に本ば（前述）に定植した。定植時の苗質，花芽の発育状況およびSPAD値の測定は試験1と同様に行った。本ば定植後の栽培管理は栃木農試の養液栽培の慣行で行った。育苗培地および本ば培地は杉皮粉碎培地を用いた。本ばにおける生育および収量の調査は対照区を除き1区10株の2区制で行った。対照区は1区10株1区制で行ったので，統計処理には加えなかった。一次腋花房夜冷処理有効株率は，側枝葉数が6枚以内で，かつ11月中旬までに一次腋花房が開花した株を処理有効株とみなして算出した。収量は7g以上を可販果として2005年4月末日まで調査した。

結果

1. 夜冷処理中断の有無と定植前の追肥打ち切り時期の影響

定植時の苗質を第10表に示した。株重およびクラウン径は，追肥量が多い15日前区が大きい傾向であった。また中断日数で見ると，株重は0日区に比べ8日区が大きかったが，クラウン径には明瞭な差は認められなかった。葉色（SPAD値）は0日区が高かったが，追肥打ち切り時期による差は小さかった。頂花房の発育状況は，中断8日・15日前追肥打ち切り区が雌ざい形成期から花器完成期であったが，それ以外はいずれも花器完成期であった。未展開葉（いわゆる頂花房内生葉）は，発育の遅れていた中断8日・15日前追肥打ち切り区が1枚でやや多かったものの処理間に有意差は見られなかった。一方，一次腋花房の花芽発育は中断0日・15日前追肥打ち切り区が，がく片形成期で最も進んでおり，ついで0日・5日前区が分化～花房形成期で8日・15日前区と8日・5日前区は肥厚期～分化期であったが，有意な差ではなかった。一次側枝葉数は，中断日数0日区および8日区とも，追肥量が多い15日前追肥打ち切り区で多かったが有意な差ではなかった。

本ばにおける生育および収量を第11表に示した。頂花房着花数は，連続処理した0日区で中断日数8日区に比べて有意に少なかった。頂花房開花日は，夜冷処理

第10表 夜冷処理中断の有無と追肥打ち切り時期が定植時の苗質に及ぼす影響^z (実験1)

処 理	追肥量 (窒素mg/株)	株重 (g)	クラウン径 (mm)	葉色 (SPAD値)	頂花房 花芽発育	未展開葉数 (枚)	一次腋花房 ^y 花芽発育	一次側枝葉数 (枚)
中断日数・追肥打ち切り								
0日・15日前	20	26.8b ^x	13.2ab	42.4ab	花器完成	0.2a	4.0a	3.0a
0日・5日前	45	32.7ab	14.4a	44.4a	花器完成	0.2a	2.6a	4.0a
8日・15日前	20	31.0b	12.8bc	36.0b	雌ずい~花器完成	1.0a	1.4a	3.0a
8日・5日前	45	38.1a	14.0a	35.8b	花器完成	0.4a	1.8a	3.8a
対 照	-	18.9c	11.3c	35.5b	分化~がく片形成	4.0b	-	-

^z データは5個体の平均値

^y 一次腋花房の花芽発育は未分化：0，肥厚初：1，肥厚：2，分化：3，花房形成：4，がく片形成：5とした

^x 同一英文字間に1%水準で有意差なし (Tukey検定)

第11表 夜冷処理中断の有無と追肥打ち切り時期が生育および収量に及ぼす影響 (実験1)

処 理	頂花房着花数 (個/株)	開花日(月/日) ^y		収穫始期(月/日) ^x		一次腋花房夜冷処理 有効株率(%) ^w	年内収量(g/株)			頂花房平 均1果重 (g)	頂花房乱 形率 (%)
		頂花房	一次腋花房	頂花房	一次腋花房		頂花房	一次腋花房	合計		
0日・15日前	14.0a ^z	9/19.0±2.0	10/29.1±19.5	10/17	11/21	70.0bc	112c	135b	247a	11.1b	3.9a
0日・5日前	14.5a	9/17.3±2.0	10/23.0±14.2	10/14	11/18	86.7ab	122c	167ab	289a	11.8b	7.5a
8日・15日前	19.3b	9/21.8±1.8	11/ 2.9±20.0	10/15	11/23	63.3c	158b	123b	281a	11.1b	3.7a
8日・5日前	18.1b	9/18.8±2.5	10/20.2±14.6	10/17	11/19	93.3a	151b	198a	349b	11.0b	4.6a
対 照	20.4b	10/8.8±1.9	12/ 3.5± 6.9	11/ 9	1 / 5	-	253a	0c	253a	14.9a	5.7a

^z 同一英文字間に5%水準で有意差なし (Tukey検定)

^y 平均開花日±標準偏差 (n=20)

^x 収穫始期は30%の株で収穫が始まった時期とした

^w 10月中に一次腋花房が開花した株の割合

中断期間を設けず連続処理した0日区で早い傾向があった。追肥打ち切り時期では、定植直前まで追肥をした5日前追肥打ち切り区で早い傾向であった。一次腋花房開花日は5日前追肥打ち切り区で早かった。一次腋花房夜冷処理有効株率は、5日前追肥打ち切り区が高かった。頂花房の収穫始期は、4処理間で大きな差は見られず、10月14日~17日であった。一次腋花房収穫始期は開花日のやや遅かった中断8日・15日前追肥打ち切り区が11月23日とやや遅かったが、処理間で大きな差は見られなかった。対照区の頂花房および一次腋花房の開花日はそれぞれ10月9日および12月4日で、収穫始期は11月9日および翌年の1月5日で他の4区に比べて大幅に遅れた。

頂花房収量は、中断日数8日区で有意に高くなったが、追肥打ち切り時期の影響は認められなかった。また、これら4区の頂花房収量は対照区に比べて著しく低かった。年内の一次腋花房収量は中断日数にかかわらず、5日前に追肥を打ち切った区で高かった。対照区では一次腋花房からは年内に収穫できなかった。頂花房と一次腋花房を合わせた年内収量は、中断8日・5日前追肥打ち切り区が他区に比べて有意に多く、対照の早出し夜冷作型に比べ約38%程度多かった。

頂花房の平均1果重は11g程度で4処理間に有意差は認

められなかったが、対照区と比べると明らかに小さかった。乱形果発生率は、追肥打ち切り時期の遅い5日前区でやや高い傾向が見られたが、有意な差ではなかった。

2. 夜冷処理中断期間の長さ、中断期間中の追肥および第2回目の夜冷処理期間中の追肥の影響

定植時の苗質を第12表に示した。株重およびクラウン径は、追肥の総量が多い区ほど大きい傾向であった。葉色も同様の傾向であった。頂花房の発育状況は5日・0N₁・0N₂区、10日・0N₁・35N₂区および10日・0N₁・0N₂区が雄ずい形成期~雌ずい形成期でやや遅れていたが、それ以外の処理区はいずれも花器完成期であった。未展開葉数は、5日・15N₁・0N₂区、5日・0N₁・0N₂区、10日・0N₁・35N₂区および10日・0N₁・0N₂区がそれぞれ2.0枚、2.5枚、1.8枚および2.8枚となり、追肥をしなかった区あるいは追肥の総量が少ない区で多かった。一次腋花房は各処理区とも未分化~肥厚期で分化期(二分期)の株はなかった。5日・15N₁・0N₂区、5日・0N₁・0N₂区、10日・0N₁・35N₂区、10日・0N₁・0N₂区の4処理区で未分化株が認められた(データ省略)。なお、対照区はすべて未分化であった。

本ばにおける生育および収量を第13表に示した。頂

第12表 夜冷処理中断日数、中断中の追肥および2回目夜冷処理中の追肥が定植時の苗質に及ぼす影響^z (実験2)

処 理	追肥量 (窒素mg/株)	株重 (g)	クラウン径 (mm)	葉色 (SPAD値)	頂花房 花芽発育	未展開葉数 (枚)	一次腋花房 ^y 花芽発育
5日・15N ₁ ・50N ₂	65	30.2a ^x	13.0a	42.0a	花器完成	1.0d	1.0a
5日・15N ₁ ・0N ₂	15	17.1bc	11.5b	39.0ab	花器完成	2.0bc	0.3b
5日・0N ₁ ・50N ₂	50	25.8ab	13.2a	43.2a	花器完成	1.0d	1.0a
5日・0N ₁ ・0N ₂	0	13.7c	11.6b	31.8b	雄ずい~雌ずい	2.5bc	0.4a
10日・30N ₁ ・35N ₂	65	30.9a	12.6ab	41.4a	花器完成	0.6d	1.4a
10日・30N ₁ ・0N ₂	30	29.9a	12.8ab	37.8ab	花器完成	1.0d	1.0a
10日・0N ₁ ・35N ₂	35	19.7b	12.4ab	41.0a	雌ずい	1.8c	0.8a
10日・0N ₁ ・0N ₂	0	13.9c	10.6c	27.8b	雄ずい~雌ずい	2.8b	0.4a
対 照	-	11.0c	9.9c	31.0b	分化~がく片形成	3.8a	0

^z データは5個体の平均値

^y 一次腋花房の花芽発育は未分化:0, 肥厚初:1, 肥厚:2, 分化:3とした

^x 同一英文字間に1%水準で有意差なし (Tukey検定)

第13表 夜冷処理中断日数、中断中の追肥および2回目夜冷処理中の追肥が生育および収量に及ぼす影響 (実験2)

処 理	頂花房着花数 (個/株)	開花日(月/日) ^x		収穫始期(月/日) ^w		一次腋花房夜冷処理 有効株率(%) ^v	一次側枝葉数 (枚)	年内収量(g/株)			総収量 (g/株)	頂花房乱 形果率 (%)
		頂花房	一次腋花房	頂花房	一次腋花房			頂花房	一次腋花房	合計		
5日・15N ₁ ・50N ₂	15.8ab ^z	9/15.7±2.1	11/ 4.5±19.1	10/12	11/19	60.0a	6.3b	151a	122a	273a	900a	18.1a
5日・15N ₁ ・0N ₂	13.6b	9/20.8±1.5	11/15.0±13.3	10/15	11/26	50.0ab	6.5b	140ab	89ab	229ab	865a	6.2c
5日・0N ₁ ・50N ₂	14.2b	9/16.1±1.0	11/15.1±14.2	10/12	11/26	35.0bc	7.7ab	128b	83ab	211ab	836a	26.1a
5日・0N ₁ ・0N ₂	15.1b	9/24.4±1.2	11/27.7± 5.6	10/22	12/29	5.3d	8.7a	158a	29b	187bc	818a	3.6c
10日・30N ₁ ・35N ₂	17.7a	9/17.3±1.7	11/16.1±16.2	10/12	11/26	35.0bc	7.5ab	161a	83ab	244ab	914a	18.0a
10日・30N ₁ ・0N ₂	17.2a	9/19.5±1.8	11/11.4±14.3	10/15	11/26	50.0ab	6.4b	156a	117a	273a	867a	9.3bc
10日・0N ₁ ・35N ₂	15.8ab	9/19.3±1.0	11/27.5± 7.2	10/15	12/29	5.0d	9.0b	126b	17b	143c	802a	16.0ab
10日・0N ₁ ・0N ₂	15.3b	9/23.5±1.3	11/25.6± 8.5	10/22	12/24	21.1cd	8.0ab	147ab	23b	170c	846a	6.3c
対 照 ^y	18.2	10/4.0±2.3	12/ 5.0± 6.9	11/ 5	12/29	-	-	195	11	206	855	5.8

^z 同一英文字間に5%水準で有意差なし (LSD検定)

^y 対照区は1区制であるため統計処理は対照区のデータを含めないで実施した

^x 平均開花日±標準偏差 (n=20)

^w 収穫始期は30%の株で収穫が始まった時期とした

^v 一次側枝葉数が6枚以内で、かつ11月中旬までに一次腋花房が開花した株の割合

花房着花数は、中断期間の長い10日区で多い傾向であった。頂花房開花日は5日・15N₁・50N₂区、5日・0N₁・50N₂区、および10日・30N₁・35N₂区が早く、9月16日~17日の期間に開花した。追肥をしなかった5日・0N₁・0N₂区および10日・0N₁・0N₂区は開花が遅れた。収穫始期も同様の傾向であった。なお、追肥区はいずれも10月12日~15日の期間に収穫開始となったが、無追肥区は10月22日とやや遅れた。

一次腋花房の夜冷処理有効株率は、夜冷中断中の追肥によって有意に上昇し、5日・15N₁・50N₂区が60%と最も高く、5日・0N₁・0N₂区および10日・0N₁・35N₂区は5%程度と低かった。夜冷処理有効株率の低かった区は、一次腋花房の開花日が11月下旬と遅く、収穫始期も12月下旬と極端に遅れた。8処理区の頂花房収穫始期の平

均日は10月16日で、対照区の頂花房収穫始期である11月5日と比べ19日早かった。また、一次腋花房夜冷処理有効株率が35%以上だった区では、いずれも11月下旬から収穫開始となったが、対照区は約1か月遅い12月下旬からの収穫開始となった。一次側枝葉数は、夜冷処理中断中に追肥を行った区で少なかった。

夜冷処理中断中に追肥を行わないで夜冷中に追肥を行うと頂花房収量が低下した。これら8処理区の頂花房収量は対照区のそれに及ばなかった。一次腋花房収量は、花芽分化が促進された区(一次腋花房夜冷処理有効株率の高い区)で高い傾向があった。一次腋花房の年内収量、頂花房と一次腋花房を合わせた年内収量は、中断日数10日の場合には夜冷処理中断中に追肥をしないう区で低かったが、中断日数5日の場合には、中断中、

夜冷中に追肥をしなかった区のみ低かった。年内収量は5日・15N₁・50N₂区と10日・30N₁・0N₂区が株当たり273gで最も高かった。対照区では、一次腋花房の年内収量が著しく低かったが、頂花房収量が多かったため、年内収量は夜冷処理中断中に追肥をしなかった区よりは高いが、ほとんど差がなかった。総収量は802~914gで、処理による差は明らかでなかった。頂花房の乱形果発生率は、夜冷処理中に追肥を行った区で有意に高かった。

考 察

イチゴの促成栽培の収穫開始時期は、冷蔵施設を用いた暗黒低温処理や夜冷短日処理などの育苗技術の開発普及により、11月上中旬まで前進化している。これらの花成促進技術を用いれば、収穫開始時期をさらに前進化することは十分可能であり、実際に促成栽培の前進化の限界について、収量および果実品質の両面から検討がなされている。植木ら(1993)は一次腋花房の連続収穫の観点から10月下旬を早出し限界とし、小林・小林(1996)は極端な前進化が果実肥大を抑制し、糖度やビタミンCの低下を招くことから、前進限界を10月中旬頃としている。これらの報告は、年内収量と果実品質の低下が、前進化の限界を規定する主要因であることを示している。そこで本研究では、作型前進化の妨げとなっている要因の一つである一次腋花房の収穫遅れを回避し、年内収量の向上を可能とする育苗方法について検討した。

前進化作型では初期収量の確保が極めて重要であり、そのためには頂花房着花数を多くする必要がある(家中・稲葉, 2005, 2006)。試験1では夜冷処理中断期間を0日および8日とし、試験2では5日および10日とした。その結果、処理中断期間を0または5日から8または10日に延ばすと頂花房着花数は有意に増加し、対照区と同等になることが明らかとなり、頂花房着花数の増加に夜冷中断処理が有効であることが示された。一方、頂花房着花数に対して、夜冷処理中の追肥方法および追肥量の影響はあまり認められなかった。前川・峰岸(1991)は、夜冷処理中の窒素供給量の差が頂花房着花数に及ぼす影響は小さいことを報告しており、本試験でも同様の結果となった。

「とちおとめ」では頂花房分化時点の茎頂には通常4~5枚の未展開葉があり、試験1、試験2でも頂花房分化時の未展開葉は4枚前後であった(データ省略)。試験1では、定植時の未展開葉は0.2~1.0枚まで減少し、対

照区を除き処理間に有意な差は見られなかった。このことから、夜冷中断処理は、葉の展開速度にあまり影響を及ぼさないと考えられた。試験2では、夜冷処理中断中と夜冷処理中の追肥量の総量が少ない区で未展開葉数が多かったが、これは栄養不足により葉の展開速度が遅くなったためと考えられる。定植時の未展開葉が多かった区は、いずれも開花日および収穫始期が遅かった。従って、夜冷処理中断中と夜冷処理中の追肥は、頂花房の発育促進と収穫始期の前進化に有効であると考えられた。

10月どり作型を安定化するためには、頂花房着花数を増やすことで初期収量の確保を図るとともに、一次腋花房を連続的に分化させなくてはならない。試験1では一次腋花房夜冷処理有効株率が63~93%と高かったが、試験2では60%が最高で、無追肥あるいは追肥量の少ない区では5~21%の株でしか促進されなかった。頂花房の花芽分化促進を目的にした夜冷育苗では、苗の窒素濃度を一定レベルで維持した方が花芽分化が安定し、果実生産が高まるが(川上ら, 1990; 前川・峰岸, 1991)、本試験の結果は、一次腋花房の花芽分化によっても株栄養条件が極めて重要であること示している。つまり、夜冷処理中断中の追肥は頂花房の発育促進だけでなく、一次腋花房の花成促進に対しても有効であることが明らかとなった。なお、試験1で一次腋花房の夜冷処理有効株率が高く、試験2で低かった原因は、株栄養条件以外に本ぼ定植時点での花芽発育状態の差が影響していた可能性が考えられる。熊倉・宍戸(1993)は暗黒低温処理した苗で、処理後の高温が暗黒低温処理による頂花房の花芽誘導効果を消去することを報告している。本試験の場合、試験1では一次腋芽茎頂(生長点)の完全な肥厚状態を確認してから本ぼに定植したのに対し、試験2では各処理区とも分化期(二分期)以前の未分化から肥厚初期段階で本ぼに定植した。従って、試験2では栄養生長から生殖生長への生長相の転換が不十分であったため、Battey・Lyndon(1990)の言うFloral reversion が起こった可能性がある。花芽の剥皮調査で生長点の肥厚が確認できた苗は、その後高温・長日・高栄養状態に置かれても花成が中断されることなく花芽発育が順調に進むことが経験的に知られている。しかし、花芽分化に必要な十分な低温短日条件を与えられた肥厚期直前の生長点が、その後の高温・長日・高栄養条件に対してどのように反応するかはほとんど明らかにされておらず、品種間差を含めて今後の詳細な検討が必要である。

収量に及ぼす影響をみると、試験1では、夜冷処理中断期間を設けた区で頂花房着花数が増加し、頂花房収量も増加した。また、中断期間を設けた区では追肥打ち切り時期を遅らせる（追肥量を増やす）ことで一次腋花房の花芽分化が促進され、年内の一次腋花房収量も多くなった。試験2で夜冷処理中断期間の長さを検討したところ、5日に比べ10日の処理中断が頂花房着花数の増加により効果的であることが示された。頂花房着花数が多い区で頂花房収量も高くなる傾向が見られたが、中断期間中に追肥を行わずに2回目の夜冷処理中に追肥を行うと収量が低下したことから、頂花房収量には夜冷処理中断中の追肥の効果も大きいことが示唆された。追肥を行わなかった5日・0N₁・0N₂区および10日・0N₁・0N₂区の頂花房収量が高かったのは、頂花房着花数に大きな差がなかったこと、収穫開始時期が他の処理区に比べて7~10日遅かったことなどから判断して、収穫時期が遅れた分、果実肥大が促進されたためと推察される。一方、一次腋花房では夜冷処理中断期間中に追肥を行わないと年内収量が顕著に低下した。これは一次腋花房の花芽分化が促進されず、収穫開始時期が大幅に遅れたことによると考えられる。

以上の結果から、夜冷庫を利用して頂花房および一次腋花房の花成誘導を連続して行う夜冷育苗においては、頂花房着花数を確保するため頂花房分化後に8日~10日の夜冷処理中断期間を設ける必要があること、また頂花房分化後の苗に対して継続的な追肥を行うことで、頂花房の発育促進と一次腋花房の花芽分化促進が図れることが明らかとなった。ただし、定植直前まで追肥を行った場合、頂花房の乱形果発生率が高くなるので、最終追肥時期や適正な追肥量について更に検討が必要と考えられた。

作型前進化に伴う果実品質への悪影響として、果実肥大が抑制され小玉化することが指摘されており（小林・小林，1996；植木ら，1993），本試験でも同様の結果となった。野口・山川（1988）は、平均1果重の大小には成熟期間の平均気温の影響が大きいことを明らかにしている。従って、果実肥大期が高温期となる10月どり作型では、果実肥大を促進させるための何らかの高温抑制対策が必要と考えられる。

近年イチゴの周年生産を視野に入れ、高温抑制対策が容易な高軒高ハウスがイチゴ栽培にも導入されつつある。厳寒期の生産を主にしたこれまでの促成栽培では考えられないことであるが、作型前進化と収穫終了時期の延長によるイチゴ栽培期間の長期化を想定した

とき、高軒高ハウスは栽培環境的に多くの優位性を備えており、同ハウスの普及が進むことにより本研究の普及の可能性が高くなると考えられる。

第7章 イチゴ品種の近親交配の程度および近交係数と収量の関係

緒言

イチゴの栽培種 (*Fragaria* × *ananassa* Duchesne) は、南米原産のチリイチゴ (*F. chiloensis*) と北米原産のバージニアイチゴ (*F. virginiana*) との交雑から生まれた雑種植物が起源とされ (Darrow, 1966), 育成されてからまだ250年程度の歴史を持つに過ぎず、栽培植物としての歴史は非常に浅い。これまで日本国内で育成されたイチゴ品種は100品種を超えるが、その系譜を見ると最初の国産品種「福羽」と海外品種「Haward17」および「Haward17」を祖先に持ち、日本国内でも栽培された「Donner」の血統が色濃く引き継がれている (木村, 1999)。さらに近年では、「女峰」、「とよのか」、「アイベリー」など一部の品種が繰り返し交配親として利用されてきたため、品種の近親交配の程度が急激に高まっていると考えられる (吉田, 2003)。栄養繁殖作物であるイチゴは、カンショやパレイショと同じように近親交配により近交弱勢がおこることが指摘されているが (望月, 1999; 森下, 1997; 成川・石川, 1997; 齋藤ら, 1998;), これまでのところ、どの程度近親交配が進むと近交弱勢がおこるかについての具体的な知見はない。

近親交配の程度を示す指標として家畜の改良に広く使われているものに近交係数がある。近交係数は個体の相同遺伝子が同一の祖先遺伝子から由来する確率として定義され、個体の近交度を表わすときによく用いられる (井山, 1974; Kempthorne, 1969; Wright, 1922)。肉用牛や乳用牛などの家畜の改良には近交係数をもとに綿密な交配計画が立てられることが一般的であるが (水間ら, 1982)、植物での近交係数の計算例は少なく、また品種改良に利用されることもほとんどない。これまでに、カンショで近交係数が0.1を超えると収量低下がおこることが明らかにされている程度である (吉田, 1985, 1986)。

近交係数の計算は、子はその両親からおのこの遺伝子の半分ずつを受け取ることを前提に計算され、両親の祖先の中から共通品種を探し、その共通祖先までの世代数から、 $(1 + F_A) \times (1/2)^{(n+1)}$ の式にあてはめ (F_A は共通祖先の近交係数、 n は共通祖先から両親へたどる世代数の和)、この値を共通祖先をたどる全経路について計算することから求められる。しかし、家系が複雑な近年の育成品種では手計算は事実上不可能で、

コンピュータを利用しても煩雑である。一方、推論型のコンピュータ言語 Prolog の持つ、推論、再帰的処理、バックトラックなどの機能を利用することにより (柴山ら, 1986)、系譜の血縁関係の処理が容易となる (水田ら, 1996)。さらに、水田ら (1996) のプログラムをもとに、イチゴなど栄養繁殖作物の近交係数計算プログラム (吉田, 2003)、その Windows 版 (吉田, 2004) が開発されており、イチゴの近交係数の計算が容易にできるようになった。

本章では、栃木県農業試験場栃木分場の1995年～2002年までの育成系統の栽培データをもとに、近交係数が収量に及ぼす影響を検討した。また、近年育成された国内品種の近交係数を計算することで、近親交配の程度を推定し、今後のイチゴの育種計画に活用することを試みた。

材料および方法

1. 近交係数の計算

近交係数の計算は推論型言語の Prolog を用い、自殖作物の近縁係数計算用プログラム (水田ら, 1966) を栄養繁殖作物の近交係数の計算用に改良し (吉田, 2003)、さらに Windows 上で作動可能にしたもの (吉田, 2004) を利用した。

まずイチゴ交配記録データベースを作成した。古い品種の交配記録は諸説あるが、育成元および農林水産省の品種登録ホームページに記載されたデータ、木村 (1999) など参考にした。近交係数の計算には共通祖先の近交係数の値が必要である。そのため、まず共通祖先の近交係数が0である古い品種の近交係数を計算し、計算に必要な近交係数データを蓄積し、共通祖先と同時にそのデータも加え計算した。

その品種の概要は、家系図中の親の総数、そのうちの共通なものを除いた親の数、最終祖先 (他と類縁関係のない品種) までの世代数 (家系図の端までの世代数で、以後、最終世代数と称す) により示した。最終祖先については、国内で育成されたものは、可能な限り最終親まで遡って計算したが、外国からの導入品種はその親まで遡って計算しなかった。また、大果系品種育成の交配母本として重要な位置を占めている「アイベリー」については、来歴不詳として計算を行った。従って「アイベリー」を直接の親とする品種の近交係数はすべて0となった。

2. 交雑実生の近交係数と選抜率

2001年～2004年の4年間で合計160組合せの交配を行

い、23,802個体の交雑実生を育成し、促成栽培により選抜した。組合せあたりの個体数は12～803であった。交雑実生の選抜は、交配年の12月から翌年の2月に行い、開花・収穫時期の早晚、果実の大きさ・色・硬さ・食味などの果実形質を中心に行った。

3. 育成系統の近交係数と収量の関係

1995年～2002年の8年間に行った特性検定予備試験（実生選抜に続く2年目の系統選抜を経て選抜された3年目の育成系統の特性を調査する）に供試した58系統について近交係数を求め、収量との関係を調べた。収量は気象の影響による年次変動が大きいことから、各年次ごとに対照品種とした「とちおとめ」の収量を100とした相対比で表した。

4. 主要品種の近交係数

近年育成された一季成り性品種15品種および四季成り性品種15品種の近交係数と育成に関わった親の数および最大世代数を調べた。また、一季成り性品種15品種を用いて総当たり交配を行った場合の雑種の近交係数を計算した。

供試した一季成り性品種と四季成り性品種は以下の通りである（品種名・育成年・育成者の順に記載）。

一季成り性品種；「とちおとめ」1996・栃木県，「女峰」1985・栃木県，「とよのか」1984・野菜茶試（久留米），「章姫」1992・静岡・萩原章弘，「さちのか」2000・野菜茶試（久留米），「さがほのか」2001・佐賀県，「あまおう（福岡S6号）」2005・福岡県，「さつまおとめ」2002・鹿児島県，「ひのしずく（熊研い548）」2006・熊本県，「やよいひめ」2005・群馬県，「アスカルビー」2000・奈良県，「紅ほっぺ」2002・静岡県，「濃姫」1998・岐阜県，「越後姫」1996・新潟県，「ふさの香」2000・千葉県。

四季成り性品種；「とちひとみ」2007・栃木県，「サマーベリー」1988・奈良県，「エパーベリー」1990・野菜茶試（盛岡），「セリーヌ」1993・(株)ホープ，「ペチカ」1995・(株)ホープ，「みよし」1987・徳島県，「池光」1996・徳島・川人健一，「スイートチャーミー」1997・川人健一，「サマールビー」2005・(有)ミカモフレテック，「サマープリンセス」2003・長野県，「カレイニャ」2004・北海道・畑中克彦，「夏実（エッチェス-138）」2004・(株)北海三共，「なつあかり」2007・農研機構東北農研，「デコルージュ」2007・農研機構東北農研，「きみのひとみ」2005・(株)旭川ブリックス。

結果

1. 交雑実生の近交係数と選抜率

近交係数と実生選抜率の関係を第35図に示した。交雑実生の近交係数は0～0.63の範囲に分布し、実生選抜率は0～14.7%であった。近交係数と実生選抜率の間の相関係数は-0.051で、相関は認められなかった。

交雑実生の近交係数の頻度分布を第36図に示した。160組合せのうち、0.1～0.2が55組合せで最も多く、0.2～0.3が45組合せ、0～0.1が27組合せ、0.3～0.4が22組合せ、0.4～0.5が10組合せ、0.6～0.7が1組合せであった。ちなみに最も高い近交係数0.63は「とちおとめ」の自殖実生であった。

2. 育成系統の近交係数と収量の関係

供試した58系統の近交係数と収量の関係を第37図に示した。近交係数と収量の相対比との間には、有意な負の相関（ $r = -0.37^{**}$ ）が認められた。

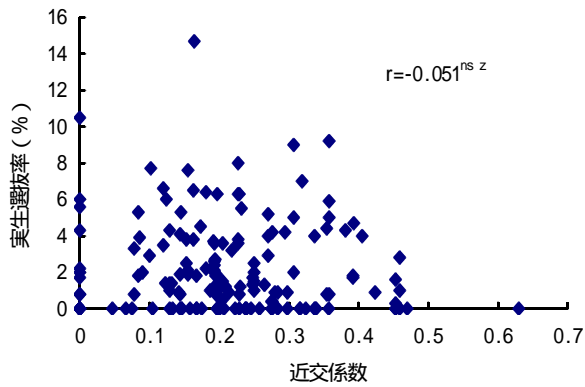
3. 主要品種の近交係数

第14表および第15表に一季成り性品種および四季成り性品種それぞれの近交係数と家系図中の親の数および世代数を示した。

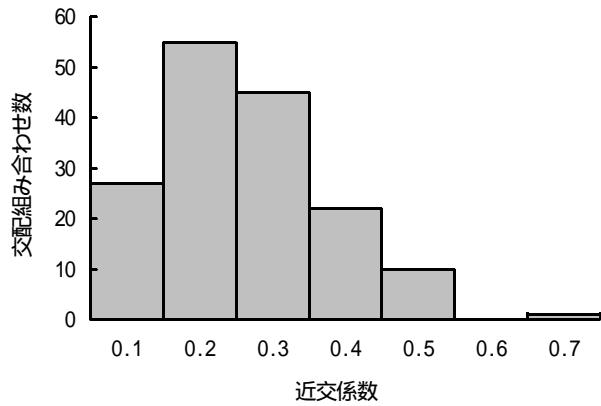
一季成り性品種では近交係数が0.1以下のものは、「さちのか」，「とよのか」，「紅ほっぺ」，「濃姫」の4品種のみで、近年の育成品種はいずれも近交係数が0.2を越えており、「やよいひめ」の0.346が最も高かった。なお、平均の近交係数は0.172であった。育成に関わった総親数は「とちおとめ」が72，「さがほのか」が34，「あまおう」が82，「やよいひめ」では最も多い120の親品種が関与していた。総親数の平均は57であった。共通親を除いた総親数は10～28品種で平均親数は21.3であった。最大世代数は4～10世代で、平均は7.3世代であった。

四季成り性品種では「サマープリンセス」と「きみのひとみ」の近交係数がそれぞれ0.183，0.195で比較的高かったが、その他の品種はいずれも極めて低い値を示した。総親数は「サマールビー」，「カレイニャ」，「きみのひとみ」が多かったが、その他の品種の総親数は一季成り性品種に比べて少ない傾向であった。共通親を除いた総親数は10～44品種で平均親数は23.3で一季成り性品種よりやや多かった。最大世代数は3～9世代、平均は6.5世代で一季成り性品種よりやや少なかった。

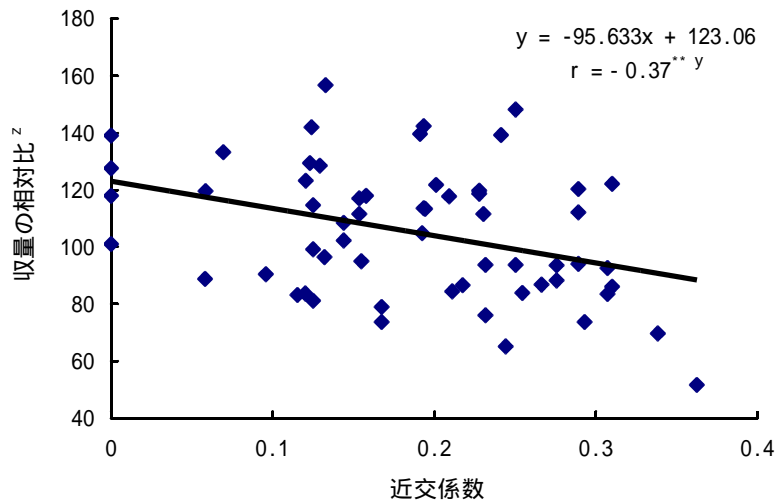
一季成り性の15品種間で総当たり交配を行った場合の雑種の近交係数を第16表に、雑種の近交係数の頻度分布を第38図に示した。自殖での値を除いた雑種の近



第35図 交雑実生の近交係数と選抜率の関係
^z n s 有意性なし



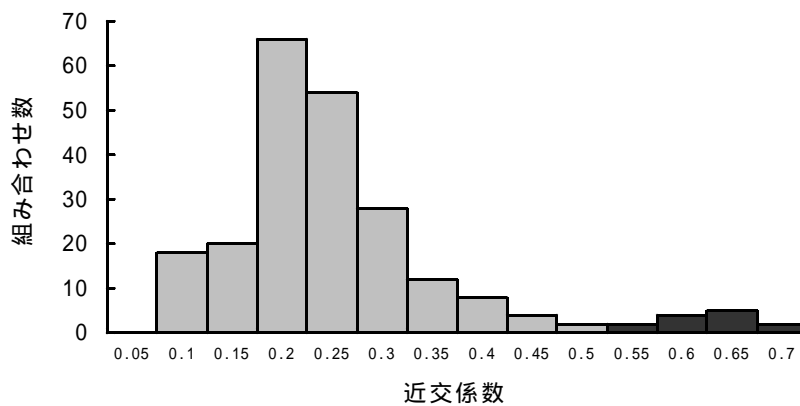
第36図 交雑実生の近交係数の頻度分布



第37図 育成系統の近交係数と収量の関係

^z とちおとめ の収量を100とした

^y ** 1%水準で有意



第38図 主要品種間で交配した場合の雑種の近交係数の頻度分布
 近交係数0.5以上は自殖した場合の値で，相互交配を含む

第14表 主要な一季成り性品種の近交係数と家系図中の親の数

	近交係数	総親数	共通親を除いた総親数	世代数
とちおとめ	0.261	72	24	8
女峰	0.171	20	10	6
とよのか	0.062	16	15	4
章姫	0.222	40	16	7
さちのか ^z	0	18	17	5
さがほのか	0.257	34	18	6
あまおう	0.213	82	26	9
さつまおとめ	0.257	40	20	6
ひのしずく	0.247	106	28	9
やよいひめ	0.346	120	28	10
アスカルビー	0.130	68	27	7
紅ほっぺ	0.084	60	25	8
濃姫 ^y	0	44	12	7
越後姫	0.119	46	27	8
ふさの香	0.250	90	27	9
平均	0.172	57	21.3	7.3

^z アイベリー（来歴不詳）を片親とする品種の近交係数は0とした

第15表 主要な四季成り性品種の近交係数と家系図中の親の数

	近交係数	総親数	共通親を除いた総親数	世代数
とちひとみ	0	32	30	6
サマーベリー	0	26	15	6
エバーベリー	0	26	16	5
セリーヌ	0	12	11	3
ペチカ	0	32	21	7
みよし	0	24	19	6
池光	0.039	42	26	8
スイートチャ-ミ-	0.062	44	27	9
サマールビー	0.068	148	44	8
サマープリンセス	0.183	38	18	7
カレイニヤ	0.019	52	29	7
夏実(イチイ-138)	0	36	26	7
なつあかり	0.007	36	24	7
デコルージュ	0	10	10	4
きみのひとみ	0.195	102	34	8
平均	0.038	44	23.3	6.5

第16表 主要品種間で交配をした場合の雑種の近交係数

	とちおとめ	女峰	とよのか	章姫	さちのか ^y	さがほのか	あまおう	さつまおとめ	ひのしずく	やよいひめ	アスカルビー	紅ほっぺ	濃姫 ^y	越後姫	ふさの香
とちおとめ	0.630	0.386	0.250	0.289	0.125	0.250	0.230	0.125	0.275	0.302	0.250	0.207	0.193	0.234	0.440
女峰	0.386	0.585	0.191	0.404	0.095	0.248	0.204	0.095	0.240	0.316	0.358	0.250	0.292	0.259	0.345
とよのか	0.250	0.191	0.531	0.169	0.265	0.394	0.328	0.265	0.202	0.134	0.167	0.217	0.095	0.325	0.253
章姫	0.289	0.404	0.169	0.661	0.084	0.206	0.164	0.084	0.187	0.223	0.266	0.348	0.202	0.196	0.265
さちのか ^y	0.125	0.095	0.265	0.084	0.500	0.197	0.256	0.378	0.224	0.067	0.083	0.292	0.172	0.162	0.126
さがほのか	0.250	0.248	0.394	0.206	0.197	0.628	0.267	0.197	0.187	0.155	0.196	0.201	0.124	0.274	0.291
あまおう	0.230	0.204	0.328	0.164	0.256	0.267	0.606	0.225	0.182	0.134	0.169	0.210	0.133	0.227	0.218
さつまおとめ	0.125	0.095	0.265	0.084	0.378	0.197	0.225	0.562	0.193	0.067	0.083	0.231	0.172	0.162	0.126
ひのしずく	0.275	0.240	0.202	0.187	0.224	0.187	0.182	0.193	0.623	0.159	0.161	0.206	0.182	0.169	0.224
やよいひめ	0.302	0.316	0.134	0.223	0.067	0.155	0.134	0.067	0.159	0.673	0.197	0.145	0.158	0.156	0.239
アスカルビー	0.250	0.358	0.167	0.266	0.083	0.196	0.169	0.083	0.161	0.197	0.565	0.175	0.179	0.187	0.237
紅ほっぺ	0.207	0.250	0.217	0.348	0.292	0.201	0.210	0.231	0.206	0.145	0.175	0.542	0.187	0.179	0.196
濃姫 ^y	0.193	0.292	0.095	0.202	0.172	0.124	0.133	0.172	0.182	0.158	0.179	0.187	0.500	0.129	0.172
越後姫	0.234	0.259	0.325	0.196	0.162	0.274	0.227	0.162	0.169	0.156	0.187	0.179	0.129	0.559	0.229
ふさの香	0.440	0.345	0.253	0.265	0.126	0.291	0.218	0.126	0.224	0.239	0.237	0.196	0.172	0.229	0.625
平均値 ^z	0.254	0.263	0.232	0.220	0.180	0.227	0.210	0.171	0.199	0.175	0.193	0.217	0.170	0.206	0.240

^z 平均値は自殖での値を除いて計算した

^y さちのか^y、濃姫^y は近交係数を0として計算した

交係数の平均値は、「女峰」が0.263で最も高く、「とちおとめ」、「とよのか」、「章姫」、「さがほのか」、「あまおう」などの主要品種はいずれも近交係数の平均が0.2を超えた。「濃姫」は近交係数の平均が0.170で最も低かったが、それでも0.1を超えていた。近交係数が0.3を超える交配組合せは24組合せ（正逆交配を1組合せとした場合は12組合せ）あり、「女峰」×「章姫」および「とちおとめ」×「ふさの香」の組合せでは0.4を超えていた。自殖での近交係数が0.5となったのは、「さちのか」と「濃姫」の2品種のみで、その他の品種はいずれも0.5を超え、0.6を超えるものも7品種あった。総当たり交配における近交係数の頻度分布をみると、半数以上の組合せが0.2～0.25の範囲に分布したが、0.3を超える組合せが29.8%（225組合せ中67組合せ）あり、逆に0.2未満の組合せは16.9%（225組合せ中38組合せ）であった。

考 察

1. 交雑実生の近交係数と選抜率

交雑実生の近交係数と実生選抜率との間には、相関が認められなかった。これは、交配は年に30～50組合せの範囲で行ったが、交配組合せごとに交配目的が異なる場合が多く、同一基準で選抜を行っていないためと考えられる。

自殖の場合の近交係数は0.5となるが（共通祖先の近交係数が0の場合）、近親交配の進んだ品種の自殖ではそれ以上の値となる。本試験では160組合せのうち、自殖の実生は「とちおとめ」だけであったが、「とちおとめ」の自殖実生は近交係数が0.63で、草勢の低下が著しく、またほとんどの個体の果実に不受精が認められた（データ省略）。供試ハウスは多数の実生が混在し、ミツバチによる訪花受粉が行われていたことから「とちおとめ」自殖実生の不受精の原因は、花粉と雌ずいの両方に問題があったものと推察される。

交配組合せの近交係数の頻度分布をみると0.3～0.4が22組合せ、0.4～0.5が10組合せあり、栃木分場の交配母本の近縁程度はかなり高いことが推察できた。

2. 育成系統の近交係数と収量の関係

育成系統の近交係数と収量の間には、弱い負の相関が認められた。カンショでは近交係数が0.1を超えると収量の低下が認められ、0.2を超えると極端に収量が低下する（吉田，1986）。本試験で用いたイチゴでは0.3程度までは極端な収量低下は認められなかった。他殖性作物でも種によって近交弱勢の程度は異なり、倍数

性の高いものは近交弱勢の程度が低い傾向があるとされており（角田ら，1991）、カンショは6倍体でイチゴは8倍体であることが原因しているかもしれない。

近年育成された品種の多くが0.25程度の近交係数であり、0.3を超える普及品種（「やよいひめ」）もあること、また近交係数が0.35を超える系統の中には、収量が極端に少なく、稔性障害を持つものが見られたことなどから、イチゴにおける近交係数の上限値は0.3とすることが妥当であると考えられた。

本研究では、近交係数と量的形質である収量性だけに着目して論じてきたが、実際の交配計画策定には、一般組合せ能力および特定組合せ能力についても十分考慮することが大切である。なぜなら、近交係数が低い組合せでも草勢が弱く収量の低い場合があり、逆に近交係数が高くて草勢が強く収量が高い場合も観察されている（データ省略）。従って、交配組合せの近交係数の把握と、本交配の前に少ない実生を用いて事前に組合せ能力の検定を実施した上で、本交配で大規模に実生育成を行う二段階育種法（森下，1994，1997）の組合せは、育種の効率化に極めて有効であると考えられる。

なお、糖度、果形、果皮色、硬さ、香気などの果実形質は自殖しても弱勢化はみられず（森下，1994）、またイチゴの重要病害である炭疽病では、実生集団に病原菌の噴霧接種による淘汰圧を加えた集団間の任意交配による世代更新が、抵抗性遺伝子の集積に極めて有効であることが報告されている（森，2001，2003）。上記の理由から自殖系統間交配育種法により「麗紅」（成川ら，1981）をはじめとして、その後大果系品種育成のための中間母本「いちご中間母本農1号（旧系統名「久留米54号」）」や炭疽病抵抗性品種「サンチーゴ」（森ら，2000）などが自殖系を利用して育成されている。さらに、自殖系を使った種子繁殖性品種の育成も一部で試みられている（成川・石川，1997；齋藤ら，1998）。

3. 主要品種の近交係数

近年育成された一季成り性の15品種の近交係数は、平均が0.172で、「とちおとめ」や「章姫」、「さがほのか」、「あまおう」などの主要品種はいずれも0.25前後と高かった。これは交配親として利用頻度が高い「女峰」と「とよのか」がそれぞれ0.171，0.062であることと比べ、近親交配が一層進んでいることを示している。また、「やよいひめ」は戻し交配を行った結果、0.346と高い値を示した。一方、「さちのか」と「濃

姫」の近交係数が0であるのは、それぞれ「アイベリー」を直接の親に持つことによる。「アイベリー」の育成に関しては、一部で「麗紅」の偶発実生に「宝交早生」を交配して育成されたといわれているが、一般的には来歴不詳とされている。仮に、「アイベリー」が「麗紅」の偶発実生と「宝交早生」の交配で育成されたとすると、「さちのか」の近交係数は0.148となり、「アイベリー」が育成の途中で親として用いられた品種の近交係数は、本論文で記載した値よりいずれも高い値となる。「アイベリー」の育成経過については、國久ら（私信）によるDNAマーカーを用いた品種識別の結果では、「麗紅」の偶発実生と「宝交早生」の交配で育成されたとした場合に、矛盾した遺伝様式を示すマーカーの存在することが示されている。従って「アイベリー」に関しては、従来の定説どおり来歴不詳として扱って問題ないと考えられる。

育成に関わった総親数と共通親を除いた総親数をみると近年の育成品種は育成過程に多くの共通親を持ち、各品種とも20品種程度の親品種が交配に用いられてきたことが明らかになった。

一方、近年注目されている四季成り性品種に関しては、近交係数は多くの品種で0か0.1以下であった。これは四季成り性の遺伝子をもつ母本が極めて限られていること、四季成り性品種と一季成り性品種の交配が限られた品種間でのみ行われてきたこと、一季成り性品種に比べて品種改良が遅れていることなどの理由が考えられる。「サマープリンセス」と「きみのひとみ」は一季成り性品種並の近交係数であったが、育成の過程で共通の一季成り性品種を多く用いたためと考えられる。また、「サマールビー」は総親数148、共通親を除いた総親数でも44と一季成り性、四季成り性品種を通して最も多くの親により育成されていたが、近交係数は0.068と低い値であった。これは、遺伝的類縁関係の極めて少ない「サマーベリー」と「みよし」および「アスカウェーブ」との交配により育成されたためと考えられる。これらの最大世代数や総親数は、イネで平均の最大世代数が13.7、総親数が493.5、共通親を除いた総親数が85.5、コムギで同8.1、86.6、42.8、ビールムギで同9.3、147.0、36.4（吉田，1998）に比べるとかなり少なく、イチゴの品種育成過程がイネやムギ類よりかなり単純であることを示している。

次に、一季成り性15品種の間で総当たり交配をした場合、近交係数の全平均は0.210であった。「とちおとめ」と「女峰」の平均値はそれぞれ0.254と0.263となり、

他の品種に比べ高い値を示した。これは両品種が他の品種と遺伝的類縁関係が高いことを示しており、この2品種は国内で育成されたイチゴの遺伝子をまんべんなく集積して育成された品種といった見方もできる。

交配組合せの近交係数の頻度分布からは、0.25を超える組合せが半数を超える状況にあり、0.4を超える自殖に近い組合せもみられた。現状の品種をもとにこのまま品種改良を続けていくと品種の近縁程度は益々高くなっていくことが予想される。このことから、本論文で示した方法により交配後代の近交係数を予め計算し、その値が小さい組合せの交配を行うことにより近親交配を避けるように努めていくべきであろう。

第8章 四季成り性品種「とちひとみ」の育成と普及

第1節 四季成り性品種「とちひとみ」の育成

緒言

イチゴは年間を通じて高い周年需要があるが、国産イチゴの流通期間は11月から翌年の6月までに限定されており、端境期となる7月から10月の業務用を中心とする需要をまかなうために、夏秋期を中心に年間5,000トン前後が米国等から輸入されている（東京青果物情報センター，2006）。しかし、近年、食の安全・安心や地産地消など食生活に対する関心の高まりを背景に、端境期となる夏秋期に、新鮮で安全性が高く、高品質な国産イチゴを供給しようという動きが、全国的な広がりを見せている（下山，2004；高橋，2006；東北地域いちごの超促成栽培確立プロジェクトチーム，2005）。

現在普及している一季成り性品種は、夏の高温・長日条件下では開花しないことから、人為的に低温・短日処理を加えて花成誘導しない限り、夏秋期の果実生産ができない。第6章において、夜冷短日処理を応用することによって、現在の促成栽培における収穫始期をさらに1か月前進化させ、10月上旬から安定的に出荷できる技術について述べた。しかし、これ以上の前進化は、労力と生産コストの面から経営的に成り立たないと考えられる。また、イチゴは、本来冷涼な気候を好む作物であるため、夏季の温度がイチゴの生育適温を大きく上回る平坦地において、高品質の果実生産を行うことは難しい。

そこで、近年注目を集めているのが、冷涼地（北海道、東北地方および標高の高い中山間地域など）における、四季成り性品種（高温長日な夏秋期でも自然条件下で開花結実する特性を持つ）を用いた夏秋どり栽培である。しかし、我が国におけるイチゴの育種は一季成り性品種の育成に主力が注がれてきた結果、四季成り性品種の育種は立ち遅れた状況にある（高橋，2001，2006）。これまでに育成された四季成り性品種の多くは、果実が小さく軟らかい、収量が低い、食味が良くない等の問題点を抱えており、実需者の要求を完全に満たす夏秋どり品種はまだ育成されていない。

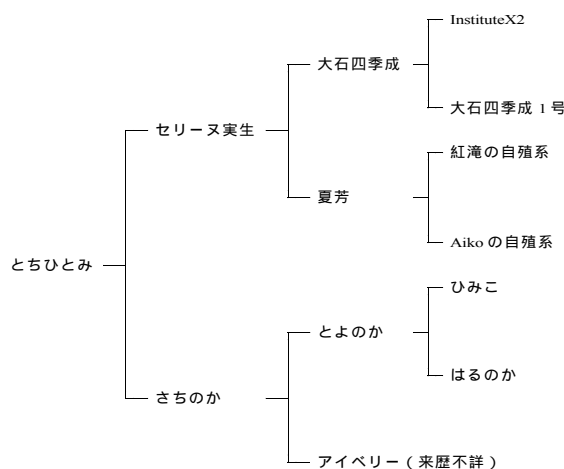
そこで、筆者らは、夏秋どり栽培に適し業務および生食用として利用可能な四季成り性品種の育成に取り

組み、2004年に四季成り性イチゴの新品種「とちひとみ」を育成した（植木ら，2006）。本節では、その育成経過と品種特性について述べる。

材料および方法

1. 育成経過

夏秋どり栽培に適し、業務および生食用として利用可能な多収・高品質の四季成り性品種の育成を目的に、1996年に四季成り性品種「セリーヌ」の実生を母親に「さちのか」を父親にした組合せを含む15組合せの交配を行い、「セリーヌ実生×さちのか」の473個体を含む2,916個体の実生を養成した。1997年から選抜を始め、「セリーヌ実生×さちのか」の3個体を含む41個体、1998年の2次選抜（系統選抜）では、「セリーヌ実生×さちのか」の組合せから「96-64-5」、「96-64-12」および「96-64-13」の3系統を選抜した。1999年に「サマーベリー」および「セリーヌ」を対照品種として3次選抜（特性検定予備試験）を行い、収量性および食味が優れ、果実の硬い「96-64-13」の1系統を選抜し、系統名を「栃木18号」とした（第17表）。2000年に「栃木18号」の系統適応性試験を開始し、2001年からは夏秋どり栽培の適地と考えられる中山間地における適応性を確認するため現地試験を実施した。2001年～2003年の3か年にわたる現地試験の結果、「栃木18号」は、夏秋期の収量性が高く、果実の外観、果実硬度および食味などの果実品質が、これまでの四季成り性品種に比べて格段に優れていることが実証されたため、2004年7月に「とちひとみ」と命名し種苗登録申請した（2007年3月15日登録，第15007号）。「とちひとみ」の系統図を第39図に、着果状況および果実を第40，41図に示した。



第39図 「とちひとみ」の系統図

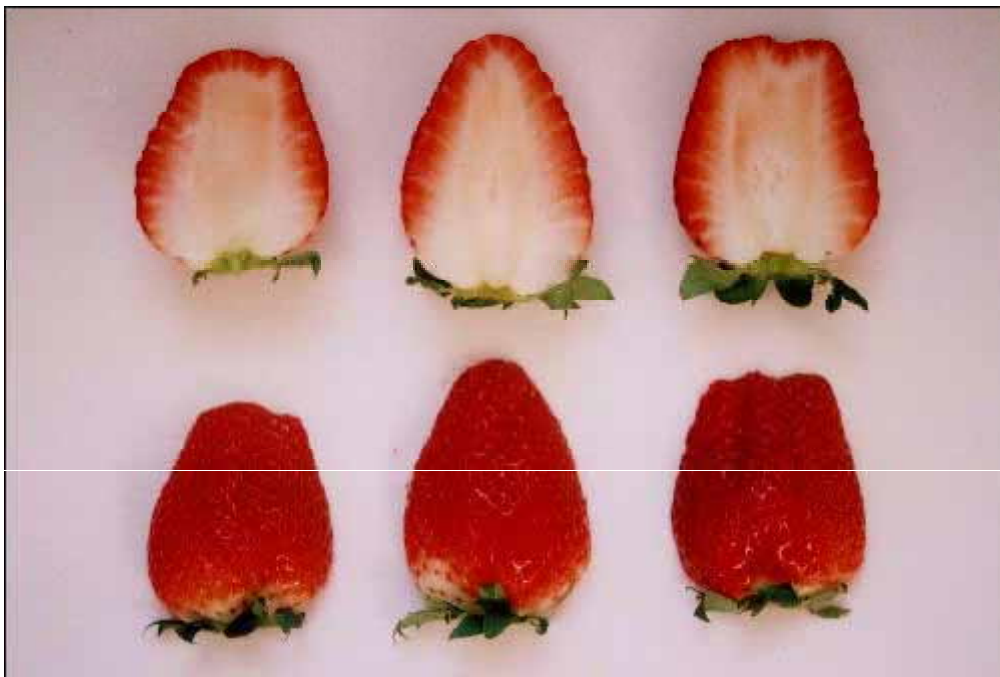
印は四季成り性品種

第17表 「とちひとみ(栃木18号)」の育成経過

1996年	1997年	1998年	1999年
セリーヌ実生		96-64-5	96-64-13
×	交雑実生437個体	96-64-12	(栃木18号)
さちのか		96-64-13	



第40図 「とちひとみ」の着果状況



第41図 「とちひとみ」の果実

収量調査にあたっては、6g以上の果実を可販果とした。1果重は可販果の平均果重とした。果実の糖度（屈折糖度）、酸度（滴定酸度）および硬度（今田式硬度計、2mmプランジャー使用）の調査にあたっては、1回の測定に適熟な果実5～10個を供試した。食味の評価は、対照品種を基準とした相対評価で行った。

2. 四季成り性の遺伝

2004年3月に四季成り性の強い「とちひとみ」と四季成り性の弱い「栃木17号」（栃木分場育成の四季成り性系統）を用いて、一季成り性品種の「とちおとめ」との間で正逆交雑を行い実生を育成した。9月に交雑実生苗を雨よけハウス内に定植し、翌2005年5月上旬～6月下旬にかけて開花調査を行い四季成り性を判定した。春先に出蕾開花した最初の花房はすべて摘除し、同時に腋芽もすべて除去して主茎1本仕立てとした。四季成り性の判定は出蕾花房数の多寡を指標とし、6月20日の調査時点までに、最初の摘除花房を含めて5つ以上の花房が出蕾した株を四季成り性個体とみなした。

結果および考察

1. 品種特性

1) 形態的特性

主な形態的特性を第18表に示した。草姿は立性で、草勢は「セリーヌ」や「ペチカ」より旺盛である。分げつ数はやや多い。葉色は新葉の展開時はやや淡い緑色をしているが、成熟葉は濃緑色となる。葉の形状は上向きで小葉の大きさは「セリーヌ」や「ペチカ」と同程度である。

2) 生態的特性

四季成り性品種としては、ランナーの発生が極めて旺盛である（第42図）。季性は四季成り性で、四季成り性の程度は「ペチカ」並に強く、夏秋期に連続して出蕾開花する。休眠について詳細な検討はしていないが、5以下の低温遭遇時間が700時間を超えた株を保温すると茎葉の伸長とランナーの発生が認められることから、休眠が深いとされる四季成り性品種（沖村・五十嵐，1992）の中では、休眠の浅いタイプと考えられる。

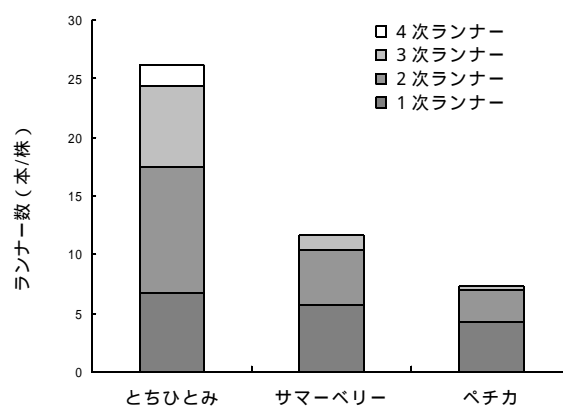
3) 収量および果実特性

2000年に栃木分場内で行った栽培試験や品質検定の結果を第19-a, 19-b表に示した。収量は対照品種の「サマーベリー」および「セリーヌ」と比較して極めて多収である。果実の大きさは「サマーベリー」よりやや小さく「セリーヌ」よりやや大きい。一季成り性品種に

第18表 「とちひとみ」の主な形態的特性

	とちひとみ	セリーヌ	ペチカ
草姿	立性	開帳性	開帳性
草勢	やや強	やや弱	中
草丈	やや高	やや低	やや高
分げつの多少	やや多	やや少	やや多
ランナー数	多	やや少	やや多
葉色	濃緑	やや濃緑	緑
葉の形状	上向き	上向き	平面
小葉の大きさ	中	中	中

いちご種苗特性分類調査基準に準拠した



第42図 ランナー発生の品種間差

12月上旬に親株を定植し、翌年の6月上旬に発生したランナー数を調査した（3株の平均値）

に比べると屑果（6g未満の小果および不受果）の発生率が高い。果形は円錐形で果皮色は鮮紅色である。糖度は栽培条件および収穫時期によって変動が大きいですが、概ね7～10%（Brix）である。酸度は糖度ほど変動はみられず概ね0.8～0.9%でやや酸味が強い。果実硬度は「サマーベリー」よりやや高く「セリーヌ」と同程度である。糖酸比が高いことから食味が優れる。

4) 病害抵抗性

「とちひとみ」はイチゴの主要な病害に対する抵抗性はないと見られる。炭疽病、萎黄病およびうどんこ病にそれぞれ罹病性で、特に萎黄病とうどんこ病に弱い。

2. 四季成り性の遺伝

第20表に四季成り性個体の発現頻度を示した。四季成り性の強い「とちひとみ」と「とちおとめ」の正逆交雑では、四季成り性と一季成り性の個体の比率は1対

第19-a表 「とちひとみ」の生育および収量の評価（2000年；場内試験）

品種名	定植後の生育 (cm)			収穫始期 (月/日)	月別収量 (g/株)				1果重 (g)	可販果率 (%)
	葉柄長	葉身長	葉幅		6月	7月	8月	合計		
とちひとみ	14.7	9.9	8.0	6/10	77	112	9	198	11.3	43.1
サマーベリー	17.6	12.1	8.6	6/10	68	47	1	116	12.7	51.1
セリーヌ	14.0	12.5	9.8	6/9	63	28	10	101	10.1	37.8

2000年4月25日に本圃定植（畝幅100cm，株間24cmの2条高畝）

第19-b表 「とちひとみ」の果実品質の評価（2000年；場内試験）

品種名	果形	果皮色	糖度 (Brix %)	酸度 (%)	硬度 (g/2mm)	糖酸比	食味
とちひとみ	円錐	鮮紅	7.1	0.77	69	9.2	良
サマーベリー	長円錐	濃赤	7.3	0.99	65	7.4	並
セリーヌ	円錐	濃赤	6.4	0.84	70	7.6	やや劣

糖度，酸度および硬度は6～7月の平均値

第20表 四季成り性品種と一季成り性品種の交雑実生における四季成り性個体の発現頻度

交配組合せ	総個体数	四季成り性 個体数	一季成り性 個体数	分離比 ²	χ^2 検定
とちひとみ × とちおとめ	103	45	58	1:1	0.1 < P < 0.9
とちおとめ × とちひとみ	102	57	45	1:1	0.1 < P < 0.9
栃木17号 × とちおとめ	103	17	86	1:1	P < 0.005
とちおとめ × 栃木17号	103	27	76	1:1	P < 0.005

² 四季成り性が単因子優勢遺伝すると仮定した場合の期待分離比

1となり，四季成り性が単因子優勢であるとする門馬ら（1990）の結果と一致した．しかし，四季成り性の弱い「栃木17号」と「とちおとめ」の正逆交雑では四季成り性個体の出現頻度が低く1対1とならなかった．門馬ら（1990）は，イチゴの四季成り性は基本的に単因子優勢と考えられるとしながらも，四季成り性の程度に強弱がみられることから，単因子支配と考えるにくい面のあることも指摘している．そして，四季成り性の程度の差は，四季成り性品種の改良に用いられてきた一季成り性品種の花芽分化のしやすさの差によるのではないかと推論している．いずれにしても，「とちひとみ」の四季成り性は後代に強く発現することから，「とちひとみ」は四季成り性の育種母本としても有望であると考えられる．

3. 栽培上の留意点

四季成り性品種はランナー発生数が少ないため，苗の増殖に問題を抱える品種が多い中で，「とちひとみ」はランナー発生数が多いことが特徴で，一季成り性品種と同様の育苗管理で十分な苗が確保できる．また，四季成り性が強いことから，株栄養や日長，温度条件に関係なく安定して花房が出蕾するため花成コントロールのための特別な管理は必要ない．夏秋どりイチゴの最大の課題である日持ち性についても，「とちひとみ」は，従来の四季成り性品種に比べ果実が硬く，傷み果の発生が少ない．夏秋どり用の四季成り性品種は，その殆どが業務専用品種であるため食味の改良が遅れており，一季成り性品種と比較して食味に課題を残す品種が多い．しかし，「とちひとみ」は育種の初

期段階から食味に配慮した選抜を行ってきたため、生食用としても十分通用する果実品質を持っている。

以上のように、「とちひとみ」、これまでの四季成性品種の常識をうち破る多くの優れた特性を備えているが、実際の栽培にあたっては、四季成り性が強いいため、着果負担による心止まり株が発生しやすいので、追肥など適切な肥培管理が重要である。また、不受精による奇形果の発生防止対策として、ハウス内の気温を下げるための遮熱・遮光資材の利用は欠かせない。さらに、冷涼地ではうどんこ病が発生しやすいのでその対策が重要になってくる。

第2節「とちひとみ」を用いた夏秋どり作型開発と普及

緒言

日本で育成された最初の四季成り性品種は、大石によって1954年に育成された「大石四季成一号」である（高橋，2001，2006）。現在，多くの国産四季成り性品種の育種母本ともなっている「大石四季成」は、「大石四季成一号」を母本にして大石自身が改良を加え，1967年に種苗登録された。「大石四季成」は四季成り性が安定し，夏秋期の収穫を可能とする品種であったが，果実品質が劣り，収量性が低かったことから広く普及することはなく，四季成り性の育種母本として利用されるにとどまった。その後，果実品質および収量性の優れた「サマーベリー」（泰松，1993）が育成されたことで，イチゴの夏秋どり栽培は，にわかに注目されるようになった。「サマーベリー」が育成されて以降，民間を中心に四季成り性品種の開発が積極的に行われるようになり，1990年以降でみると，すでに20以上の四季成り性品種が種苗登録されている（松永，2002）。

以上のように，四季成り性イチゴの品種改良が急速に進み，高品質で収量性の高い品種が育成・普及されるようになった結果，夏秋期の気候が冷涼でイチゴ栽培に適する北海道や東北地方および中山間高冷地をもつ地域で，夏秋どり栽培が徐々に普及定着するようになってきている（高橋，2006）。四季成り性品種を用いた夏秋どり栽培面積については，正確な統計資料がないためその詳細は分からないが，栽培の最も多い北海道で50ha程度の栽培面積があり（私信），2006年産における全国の総栽培面積は凡そ70ha前後と推測され

る（筆者の聞き取り調査による）。

栃木県では，これまで四季成り性品種を導入した夏秋どり栽培は行われていなかった。この度，果実品質が極めて優れる栃木県オリジナルの四季成り性品種「とちひとみ」が育成されたことから，本節では，夏季の気候が冷涼な栃木県の中山間高冷地における，「とちひとみ」を用いた夏秋どり作型の開発とその普及について述べる。

材料および方法

1. 夏秋どり作型開発

試験1では，標高の異なる地域での「とちひとみ」の適応性について検討した。試験2では，現在，国内で最も普及している夏秋どり栽培用の四季成り品種である「ベチカ」と比較することで，「とちひとみ」の栽培品種として評価と普及の可能性について検討した。試験3では，「とちひとみ」の栽培で問題となっている心止まり株について，その防止対策について検討した。

試験1～3では，平坦地である栃木分場で育苗した苗を直接山上げし定植するか，あるいは栃木分場で越冬させた苗を定植時に山上げする方法を取っていたが，将来的には栽培ほ場のある中山間地域で苗の増殖・育苗を行うことが想定される。その場合，平坦地と中山間地では越冬時の低温遭遇量が大きく異なる。そこで，試験4では，越冬時の低温遭遇量の違いが定植後の株の生育と収量に及ぼす影響について検討した。

1) 標高の異なる地域での適応性

本ば試験は2002年に標高を異にする県内の4か所，黒磯市（現那須塩原市）戸田（標高400m），栗山村（現日光市）日蔭（標高600m），塩原町（現那須塩原市）下塩原（標高800m）および藤原町（現日光市）高原（1,100m）で行った。品種は「とちひとみ」を供試した。供試苗は農業試験場栃木分場において，2001年10月1日採苗した苗（以下秋苗という）と2002年4月24日に採苗した苗（以下春苗という）の2種類を供試した。秋苗春苗ともそれぞれ本葉2～3枚のランナー苗を採苗し，鹿沼土と燐炭の混合培地（容積比2：1で混合）を充填した35穴のセルトレイ（すくすくトレイ）に植え付け，定植までかん水を兼ねて液肥を適宜施用し育苗した。秋苗については，採苗後雨よけハウス内に移動し自然状態で越冬させた。黒磯市と藤原町については，秋苗と春苗の2種類を供試したが，栗山村と塩原町については，春苗のみを供試した。各試験地の定植日は，黒磯市と藤原町が2002年5月9日，栗山村が7月3日，塩

原町が7月14日で、それぞれ畝幅110cm、株間24cmの2条高畝に定植した。本ぼの施肥は10a当たり成分で窒素15kg、りん酸20kg、加里15kgを全量基肥として施用した。栽培方法はいずれもパイプハウスによる雨よけ栽培とした。各試験地とも定植後1か月間は、株養成のため出蕾花房は適宜摘除した。収量は6g以を可販果として各試験地とも10月末日まで調査した。試験区は1区100株の1区制とした。

2) 普及品種「ペチカ」との比較

本ぼ試験は2003年に栗山村日蔭（標高600m）で行った。品種は「とちひとみ」の他に対照品種として「ペチカ」を供試した。「とちひとみ」は2003年6月3日に農業試験場栃木分場内の親株床から採苗した苗を、仮植を行わず翌日の6月4日に現地圃場に定植した。「ペチカ」は2002年秋に北海道で採苗し冷蔵保存（-1）しておいた苗を2003年4月28日に10.5cm径ポリポットに鉢上げし、定植までかん水を兼ねて液肥を適宜施用し育苗した。「ペチカ」は「とちひとみ」と同じ6月4日に定植した。定植様式、肥培管理および調査方法は試験1と同様に行った。定植後1か月間は、株養成のため出蕾花房は適宜摘除した。試験区は1区100株の1区制とした。

3) 摘花房処理が収量に及ぼす影響

本ぼ試験は2003年に栗山村日蔭（標高600m）で行った。品種は「とちひとみ」を用いた。2003年6月3日に農業試験場栃木分場内の親株床から採苗した苗を、仮植を行わず翌日の6月4日に現地ほ場に定植した。本ぼ定植後の処理として、株当たりの花房数を常時2花房に制限した。対照として放任区を設けた。花房の制限は直前の花房の1番果が収穫始期となった時点で出蕾開花期をむかえた後続花房だけを1つ残し、それ以外の花房を摘除した。定植様式、肥培管理および調査方法は試験1と同様に行った。定植後1か月間は、株養成のため出蕾花房は適宜摘除した。試験区は1区20株の1区制とした。

4) 苗の越冬場所の違い（低温遭遇）が生育収量に及ぼす影響

本ぼ試験は2004年に栗山村日蔭（標高600m）で行った。品種は「とちひとみ」を用いた。供試苗は農業試験場栃木分場で2003年8月26日に本葉2~3枚のランナー苗を採苗し、鹿沼土と燐炭の混合培地（容積比2:1で混合）を充填した35穴のセルトレイ（すくすくトレイ）に植え付け、かん水を兼ねて液肥を適宜施用し育苗した。苗の一部を、2003年11月20日に栗山村（標高

600m）へ移動し、セルトレイの状態に積雪下で越冬させた（以下、高地越冬苗という）。栃木分場に残した苗は、雨よけハウス内で自然状態のまま越冬させた（以下、平地越冬苗という）。本ぼへの定植は、高地越冬苗、平地越冬苗とも2004年4月30日に行った。定植はそれぞれ畝幅110cm、株間24cmの2条高畝へ行った。本ぼの施肥は10a当たり成分で窒素15kg、りん酸30kg、加里15kgを全量基肥として施用した。栽培方法はパイプハウスによる雨よけ栽培とした。定植後1か月間は、株養成のため出蕾花房は適宜摘除した。6月30日~9月10日まで遮光率30%の遮光資材で被覆した。また7月16日~8月20日までは遮光率50%の遮光資材を2重被覆し遮光率80%とした。収量は6g以を可販果として、10月末日まで調査した。試験区は1区20株の2区制とした。

2. 「とちひとみ」を用いた夏秋どり栽培の経営的評価

2004年に上都賀農業振興事務所経営普及部と協力して「とちひとみ」の普及実証のための展示ほ（栽培面積17a）を標高600mの栗山村日蔭地区に設置した。栽培管理は、日蔭地区の住民10名による共同管理とした。なお、10名はいずれもこれまで野菜などの換金作物の栽培経験をもたない人たちであった。2003年秋に栗山村地内で増殖した苗を採苗し、寄せ植え状態で越冬させた。2004年4月30日に苗を掘り上げて雨よけハウス内に定植した。収穫は7月5日~10月30日までの期間行った。収穫した果実は、一部を除き全量市場出荷（東京中央卸売市場（株）東京青果）した。

結果および考察

1. 夏秋どり作型開発

標高および苗質の違いが、収量に及ぼす影響を第21表に示した。標高の最も低い黒磯市（標高400m）と最も高い藤原町（標高1,100m）では、苗質にかかわらず株当たり150g以上の収量が得られた。一方、春苗のみを供試した栗山村と塩原町では収量が低かった。栗山村と塩原町では定植時期が遅かったため（7月上中旬）、収穫期間が短かったことが原因と考えられる。1果重は、最も標高の高い藤原町でやや大きかった。平均1果重の大小には成熟期間の平均気温の影響が大きい（野口・山川、1988）ことが知られており、標高の高い藤原町で果実肥大が促進されたと考えられる。収量の高かった黒磯市と藤原町において、秋苗と春苗で収量差が小さかったことから、「とちひとみ」の場合は、苗質が収量に及ぼす影響は比較的小さいと考えられた。さらに、標高400mの黒磯市において、藤原町（標高1,100

第21表 標高および苗質の違いが「とちひとみ」の収量に及ぼす影響(2002年; 現地試験)

試験地名	苗質	定植日 (月/日)	収穫始期 (月/日)	月別収量 (g/株)					換算収量 (t/10a)	1果重 (g)
				7月	8月	9月	10月	合計		
黒磯市戸田 (標高400m)	秋苗	5/9	7/19	50	32	50	85	217	1.63	9.6
	春苗	5/9	7/21	43	21	46	119	229	1.87	9.9
栗山村日蔭 (標高600m)	春苗	7/3	9/1	0	1	42	16	58	0.44	8.2
塩原町下塩原 (標高800m)	春苗	7/14	9/3	0	0	48	56	104	0.78	9.9
藤原町高原 (標高1100m)	秋苗	5/9	7/26	46	63	27	89	225	1.69	11.2
	春苗	5/9	7/26	40	36	56	69	201	1.51	11.0

換算収量は、7,500株/10aとして算出した

第22表 「とちひとみ」の果実品質(2002年; 現地試験)

品種名	糖度 (Brix %)	酸度 (%)	硬度 (g/2mm)	糖酸比	食味
とちひとみ	9.4	0.85	88	11.1	良

糖度、酸度および硬度は現地試験地4か所の9~10月の平均値

第23表 現地試験における収量性の評価(2003年; 栗山村)

品種名	苗質	定植日 (月/日)	収穫始期 (月/日)	月別収量 (g/株)				換算収量 (t/10a)	1果重 (g)	くず果率 (%)
				8月	9月	10月	合計			
とちひとみ	無仮植苗	6/4	8/8	78	94	7	179	1.34	10.4	18.4
ペチカ	ポット苗	6/4	8/11	95	92	0	187	1.40	9.3	21.2

換算収量は、7,500株/10aとして算出した

第24表 現地試験における果実品質の評価(2003; 栗山村)

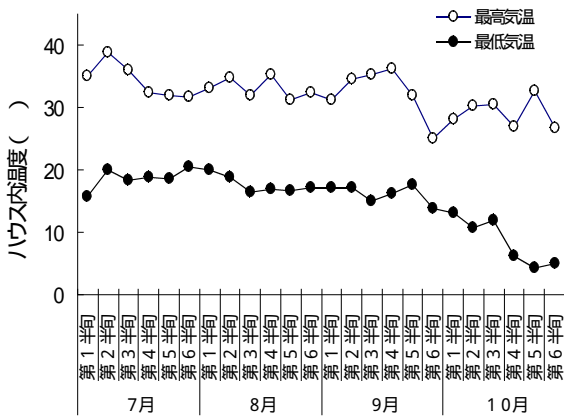
品種名	糖度 (Brix %)	酸度 (%)	硬度 (g/2mm)	糖酸比	食味
とちひとみ	8.2	0.78	65	10.5	良
ペチカ	6.9	0.66	37	10.5	良

糖度、酸度および硬度は8月と9月の測定値を平均した

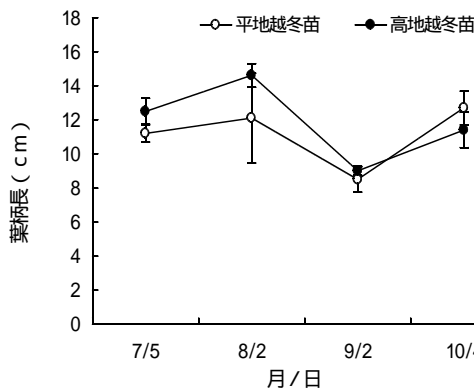
第25表 摘花房処理が収量に及ぼす影響(2003年; 栗山村)

処理	収穫始期 (月/日)	月別収量 (g/株)				換算収量 (t/10a)	1果重 (g)	くず果率 (%)	心止まり株 発生率 (%)
		8月	9月	10月	合計				
摘花房	8/8	74	81	20	175	1.31	9.3	23.7	32.1
放任	8/8	78	94	7	179	1.34	10.4	18.4	10.1

月別収量は心止まり株を除いて算出し、換算収量は7,500株/10aとして算出した



第43図 現地試験地のハウス内気温の推移(2004年)



第44図 苗質(越冬場所)の違いが時期別の葉柄長に及ぼす影響
図中の垂線は標準誤差を示す(n=10)

m)と同程度の収量が得られたことから、比較的標高の低い地域でも栽培が可能であると考えられた。ただし、黒磯市ではアザミウマの被害が顕著であったことから(データ省略)、標高が低くアザミウマの発生が懸念される地域では、防虫網の展張などの対策が必要である(吉原ら, 1997)。

果実品質と食味の評価を第22表に示した。対照品種がないため比較はできないが、糖度が9.4%、酸度が0.85%、硬度が88g/2mmであった。生食用品種の場合、食味の指標となる糖酸比は13以上が望ましい(森下, 1997)とされるが、「とちひとみ」の糖酸比は11.1とやや低かった。しかし、夏秋期の主な需要がケーキなどの業務用であることを想定すると、酸味が強い「とちひとみ」の特性は、ケーキとのマッチングとして、むしろ評価されるべき特性ではないかと考えられる。

品種育成過程および2002年までの現地試験では、普及品種でない「セリーヌ」と「サマーベリー」を対照

品種としていた。そこで、「とちひとみ」の四季成り性品種としての正確な評価を得るために、2003年の現地試験では、国内で最も普及している四季成り性品種「ペチカ」を対照品種として品種比較を行った(第23表)。「とちひとみ」と「ペチカ」は8月、9月の収量は高かったが、10月の収量はともに低かった。株当たり収量は「とちひとみ」が179g、「ペチカ」が187gであった。平均1果重は「とちひとみ」がやや大きく、6g以下の肩果の発生が少なかった。果実品質と食味の評価を第24表に示した。「とちひとみ」は「ペチカ」に比べ糖度が1%以上高く、果実硬度も高かった。糖酸比は同程度で食味は「ペチカ」並に優れていた。対照品種の「ペチカ」は、夏秋どり栽培の主力品種として全国的に普及し、その果実は業務用として高い評価を得ているが、果実が柔らかく日持ち性の劣ることが欠点とされている。「とちひとみ」は収量性の点で「ペチカ」と同等であり、果実品質面では、「ペチカ」より優れていた。以上のことから、「とちひとみ」は、栃木県の中山間冷涼地域における夏秋どり栽培に適応性の高い四季成り性品種であることが明らかとなった。

前節の品種特性で示したように「とちひとみ」は、ランナーの発生が極めて旺盛であることから苗増殖が容易であり、収量性および果実品質の面でも優れた特性を兼ね備えている。しかし、栽培管理の面では不明の点も多い。特に花房の連続出蕾による着果負担と葉数不足に起因すると考えられる心止まり株の発生が大きな問題になっている。これまでも四季成り性品種では、着果負担による心止まり症状が発生しやすいことが報告されている(山口, 2002; 高野・常松, 1993, 1994)。そこで、出蕾花房の摘除による花房制限が収量と心止まり株発生に及ぼす影響を検討した(第25表)。花房摘除区と花房放任区で株当たり収量に差は見られなかった。しかし、花房放任区で心止まり株の発生率は10.1%であったのに対し、花房摘除区での発生率は32.1%で、明らかに花房摘除区で心止まり株発生が多かった。山口(2002)は、花房数を制限し着果負担を軽減することによって草勢維持が図れ、心止まり株の発生を少なくできるとしているが、本試験では逆の結果となった。本試験は常時2花房を残しての摘花房処理であったが、「とちひとみ」の場合はこの程度の摘花房処理では効果がないと考えられた。高温と着果負担の影響で草勢低下が激しい時期には、着果花房および出蕾花房をすべて摘除するなどの思い切った対策が

第26表 苗質(越冬場所)の違いが収量に及ぼす影響(2004年;栗山村)

苗質	月別収量 (g / 株)					換算収量 (t / 10a)	可販果数 (個 / 株)	くず果率 (%)	1果重 (g)	心止まり 株発生率 (%)
	7月	8月	9月	10月	合計					
平地越冬苗	39	12	43	10	104	0.78	12.7	35.7	8.2	40.0
高地越冬苗	46	30	65	19	160	1.20	17.0	20.4	9.4	20.0

第27表 経営収支の内容(10a当たり, 2004年;栗山村展示ほ)

粗 収 益		金額 (円)
内 訳	総生産額	1,988,833
	平均単価 (円 / kg)	1,512
合 計		1,988,833
経 営 費		金額 (円)
内 訳	肥料費	94,367
	農薬費	138,916
	諸材料費	395,892
	小農具費	37,499
	動力光熱費	13,333
	機械償却費	501,830
	施設償却費	775,586
	出荷運賃	38,720
	出荷手数料	183,967
	合 計		2,180,111
粗収益 - 経営費		191,278

必要と考えられる。心止まり株防止対策については、追肥などの肥培管理方法を含めさらに検討する必要がある。

イチゴの生育は冬期の低温遭遇量の多寡によって影響を受け、低温遭遇量が多いほど休眠明け後の生育が旺盛になることが知られている (Darrow, 1966)。試験4では11月下旬から翌年の定植時期まで異なる低温環境下で生育させた苗を用いて、本ほ定植後の生育と収量について比較しようとした。2004年の栗山村での現地試験における7月~10月にかけてのハウス内気温の推移を第43図に示した。ハウス内の最高気温は、一時的に35℃を超えた時期もあったが、概ね30~35℃の範囲で推移した。一方、最低気温は20℃以下で推移した。

このような温度条件下において、栗山村で越冬させた高地越冬苗は、7月~9月にかけての盛夏期における生育が平地越冬苗に比べて旺盛で(第44図)、各月毎の収量も多かった。また、平地越冬苗は心止まり株が40%発生したが、高地越冬苗は20%の発生で明らかに少なかった(第26表)。高地越冬苗で心止まり株の発生が少なかったのは、着果負担と高温の影響で草勢が低下する盛夏期にも、旺盛な生育が維持されたためと考えられる。藤重・富田(1980)は低温遭遇効果が日中の高温によって相殺されることを報告しているが、高地越冬苗は12月中旬から翌年の3月下旬まで積雪下で経過していたことから、日中の高温の影響をほとんど受けず、平地越冬苗よりも長い時間低温に遭遇した結果、

定植後の草勢が旺盛となったと考えられる。

本試験の結果から、「とちひとみ」の苗の越冬場所は、平坦地よりも中山間地がより適することが明らかとなった。このことは、苗生産上も非常に有利である。なぜならば、平坦地での苗増殖では炭疽病や萎黄病といった高温条件で多発するイチゴの重要病害の被害を受けやすいが、冷涼な地域ではこれらの病害の発生が少ない。「とちひとみ」は炭疽病と萎黄病とともに罹病性であるが、冷涼地で苗増殖を行うことでこれらの被害を回避することが可能となる。

2. 「とちひとみ」を用いた夏秋どり栽培の経営的評価

「とちひとみ」を導入した夏秋どり栽培の経営的な評価について述べる。2004年に実施した栗山村（標高600m）における普及展示ほ（17a）の経営収支を第27表に示した。10a当たり約1.3トンの収量が得られ、約200万円の粗収益があった。経営費が約220万円かかっているため、経営的には約20万円の赤字となった。この要因としては、イチゴの栽培経験のない人たちによる取り組みであったこと、そのため栽培管理が不十分で、収量性が低く下位等級の発生が多かったこと、ハウスなど関連施設および機具機材を新設および新規導入し、さらにサルなどの獣害被害防止用として電気柵を設置したため、施設関係の減価消却費が割高になったことなどが考えられる。平均販売価格は1,512円/kgで、一般的な夏秋期の価格とされる1,800～2,000円/kgから比べるとかなり低い単価であった。これは下位等級の発生率が高かったことが影響していると考えられた。収量についても1.3トン/10aで目標の2トン/10aには達しなかった。

以上の結果から、中山間地域において夏秋どりイチゴ栽培を定着させるには、作物栽培経験の少ない人々に対する技術の早期定着が重要であることが明らかになった。さらに、中山間地特有の鳥獣被害対策の解決も普及推進上の大きな課題である。栽培面積を40aとし、販売価格を1,500円/kgを条件とした線形法による経営シミュレーションの結果、損益分岐点となる販売量は、1,107kg/10a、所得率50%を確保するのに必要な販売量は、2,468kg/10aであり、このときの所得は1,851千円/10aとなる（栃木県上都賀農業振興事務所、2005）ことが示されている。今後は、栽培者の技術レベルの向上と「とちひとみ」の栽培管理技術の早期確立を図ることで、経営シミュレーションで示した目標収量2.5トン/10aの達成は十分可能であると考えられる。

第9章 総合考察

我が国のイチゴ生産量は年間19.8万トンで、アメリカ合衆国、スペイン、韓国に次ぎ世界第4位である（FAOSTAT, 2004）。世界のイチゴ栽培はそのほとんどが露地栽培であるのに対して、我が国では90%以上がハウス被覆栽培となっている。また、生産量の大半は生食用として消費されるなど、諸外国と比べて生産方式および消費形態が著しく異なっている。このような生産方式および消費形態の違いは、技術開発と品種開発の場面にも大きな影響を及ぼしている。栽培技術について見ると、休眠制御技術と花成誘導技術を基本にして多くの作型が開発されている。特に促成栽培における窒素栄養制御や短日・低温処理による花成誘導技術は、海外（韓国を除く）ではまったく見られない我が国独自の技術である。品種開発の面においても、生食用が主体であることから食味重視の育種が行われてきた結果、諸外国とは異なる極めて独自の品種群を形成している。

我が国におけるイチゴの技術開発は、作型開発の歴史であり、その方向性は当初から出荷開始時期の前進化に向けられてきた。1980年代半ばに促成栽培を代表する二大品種「女峰」、「とよのか」が育成され、花芽分化促進技術として夜冷短日育苗が開発され普及した結果、現在では初夏の果物であったイチゴが、晩秋から初冬に出荷開始されるまでになっている。このような出荷開始時期の前進化の流れは、イチゴ生産農家のさらなる所得向上による経営安定化の要求と、地産地消や安全安心な食料を求める消費者ニーズの高まりに支えられて、イチゴの周年生産・周年供給の方向に向かいつつある。

イチゴ栽培の規模拡大および周年化を推進する上で、苗生産の外部委託化は避けられない課題と考えられる。すでにアメリカ合衆国、スペインなどイチゴ生産の盛んな国では、苗生産と果実生産は完全に分業化されている。我が国では、一部の産地において北海道や中山間の冷涼地を持つ地域に苗生産を委託するリレー苗方式がわずかに導入されている程度で、苗生産の分業化は遅れている。そこで、苗生産の分業化への貢献が期待される大量増殖可能な組織培養苗の利用についてまず検討した。試験の直接の目的は花房の伸長方向とクラウンの傾斜の関係を調べることにあり、そのためにランナー軸を持たない培養苗を用いたが、培養苗の実際場面での利用を視野に入れて行った試験でもあった。

培養苗でも花房はクラウンの傾斜方向に伸長することが明らかになったが、この結果は、培養苗の利用場面ばかりでなく、育種場面での応用が可能である。なぜならば、交雑育種では交配種子から育成した実生（ランナー軸を持たない）を数千～数万株の規模でほ場に展開し、果実形質を中心とする選抜を行なわねばならない。これら大量のランナー軸を持たない実生を通路側に倒して植え付け、花房伸長方向を通路側に斉一化させることで、果実評価を中心とする実生選抜作業の大幅な効率化が可能となる。

次に、促成栽培の代表的品種である「とちおとめ」他数品種を用いて、頂花房分化後の主茎腋芽の発達に及ぼす日長、温度および株栄養の影響を調べた。これまで経験的には定植時期が早まると、主茎腋芽から発達した一次側枝（その茎頂に一次腋花房を分化する）数が一つとなりやすいことが知られていたが、その理由は明らかにされていなかった。本論文において日長、温度および株栄養の3要因は、それぞれ腋芽の発達に影響を及ぼし、その影響には品種間差の見られることを明らかにした。3つの要因の中では、温度の影響が最も大きく、高温条件は、第1節腋芽を除いた第2節以下の腋芽をランナー化する方向に作用することが分かった。定植時期が早くなるほど高温条件となるため、頂花房直下の腋芽のみが発達し、一次側枝が一つになると考えられた。現在の促成栽培において、最も早い定植時期は8月下旬から9月上旬であるが、これをさらに前進化した場合、高温の影響を受けて、品種にかかわらず一次腋花房数は一つとなりやすいことが示唆された。

「とちおとめ」は、安定した気象条件下で栽培が行われた場合には、果実品質、収量性のいずれをとっても過去の促成栽培用品種にみられない極めて高い能力を発揮する（石原ら、1996）。しかし、本論文で明らかにしたように、「とちおとめ」の花粉と雌ずいの受精能力は、「女峰」と比べてやや劣っており、また温度や日照条件の影響を「女峰」以上に受けやすい。つまり株の生育停滞を招くような気象条件あるいは栽培管理下では、常に不受精果発生の危険性を孕んでいると考えられる。

不受精果の防止対策としては、できる限り日中の室温を25℃に長く保ち、花粉の発芽率向上を図るとともに、ミツバチの訪花活動を促進し、開花後3日以内に受粉させることが重要である。曇雨天でミツバチが長期間訪花活動を行わないような状況下では、ミスト機等を用い人為的に受粉を図る必要がある。

気象的要因，特に日照条件については，栽培管理技術以前の問題であることから対応は困難である．しかし，光線透過性の優れる被覆資材を利用するなどの採光条件の改善対策は可能であろう．また，吉田・谷本（1999）は，光合成および光合成産物の分配に關与する多くの要因がイチゴの花粉ねん性に影響することを示し，厳寒期の花粉ねん性の向上に炭酸ガス施用が有効であるとしている．寡日照地域では，果実収穫期の炭酸ガス施用により果実収量が大幅に増加する（川島，1991）ことが知られているが，重野ら（2001）によって，栃木県のような多日照地域においても，早朝短期間の炭酸ガス施用が，生育・収量および果実品質の向上に極めて有効であることが実証されている．従って，日照不足時には積極的に炭酸ガス施用を行い光合成促進を図ることが，発育時の花芽の質の低下を防止し，開花時の花粉および雌ずいの受精能力向上につながるものと考えられる．

「とちおとめ」の雌ずいに自家花粉を受粉させた場合と，「さちのか」の花粉を受粉させた場合で，不受精果の発生に大きな差がみられた．高橋（1970）は自家受粉と他家受粉が不受精果発生に及ぼす影響を検討し，イチゴは自家受粉もするが他家受粉の効果が大いことを報告している．安田（1942）はペチュニアの花で精密な受粉試験を行い，開花5日後の花の結実率は自家受粉では0%であるが，他家受粉では開花当日の7割以上の高い値を示すことを報告している．これらのことは雌ずいの受精能力が受粉花粉の種類によって異なることを示している．この事実から次のことが推察される．すなわち日照不足などの不順天候の影響を受けやすいのは，主に花粉の方であることから，「さちのか」のような花粉量が多く，その受精能力の高い品種を花粉専用株として混植することが，「とちおとめ」のように雌ずいの受精能力の低い品種の不受精果防止対策として有効ではないかと考えられる．

雌ずいの先熟性程度とその受精能力保持期間の視点から，大果系品種と先青果発生との関連性についても考察した．この問題はイチゴ育種上の問題としても極めて重要な論点を含んでいる．品種開発の面からイチゴ栽培の省力化を考えた場合，大果性は省力化にとって極めて有利な条件である．品種が「女峰」から「とちおとめ」に変わって，収穫調整にかかる労力が大幅に削減されている事実からもこのことはうかがえる．従って果実の大果性は今後も重要な育種目標の一つであることは変わらない．しかしその一方で大果系品種

は先青果が発生しやすい欠点を持っている．代表的な大果品種「アイベリー」では雌ずい列数が多く花床基部と先端部の雌ずいの成熟差が大きいことから，先青果が発生しやすい．ただし，本試験で明らかにしたように，雌ずい列数が多いことと，雌ずい間の成熟差は必ずしも同義ではないと考えられる．なぜならば，「とちおとめ」のそう果列数とそう果総数は「アイベリー」と同程度であるにも関わらず，「とちおとめ」では先青果はまったく発生しない．同様にそう果列数，そう果総数とも「アイベリー」並に多い極大果系統の「久留米54号」は，軽い先青果が発生する程度で，花床基部と先端部の雌ずい間の成熟差は小さい．これらの事実は，花床基部の雌ずいと先端部の雌ずいの成熟差が小さく，雌ずいの先熟性程度がやや大きく，かつ雌ずいの受精能力保持期間が長いという条件を備えていれば，極大果であって先青果が発生しない品種を開発することが十分可能であることを示唆している．

イチゴは $600\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 程度の弱光で光飽和点に達するとされているが，「とちおとめ」の光合成特性について調べたところ，個葉を用いた測定結果では $1,000\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ でも光飽和には達しなかった．厳寒期は日射量が少ない上に，多重被覆の影響でハウス内の光環境は $600\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下となっているので，光合成速度を高めるためには，光環境条件の改善が必要であることが分かった． CO_2 濃度と光合成速度の関係を見ると，光合成速度は， CO_2 濃度が1,000ppmまでは直線的に増加し，1500ppmで最大となり，2,000ppmではやや減少した．現在，イチゴの促成栽培では厳寒期の光合成促進を目的としてプロパンガスや灯油燃焼による CO_2 施肥技術が一般化しているが，本論文のデータは CO_2 施肥の指針として活用できるものと考えられる．「とちおとめ」，「女峰」および「とよのか」の3品種を用いて光合成速度の日変化を調べたところ，光合成速度は，いずれも午前中に高く，午後には低下することが明らかとなり，その原因の一つとして水ポテンシャルの低下が考えられた．葉中に蓄積された光合成産物の転流阻害による影響も考えられるが，この点に関しては光合成産物の動態を含めてさらに詳細な検討が必要と思われる．

これまでのイチゴの光合成特性に関する栽培学的研究は，一季成り性品種を用いた促成栽培を前提に行われており，イチゴの生育適温を超える高温時期の夏秋どり栽培を前提にした研究はみられない．夏秋どり栽培では，盛夏期において果実肥大の開始とともに急激

に草勢が低下し、不受精果や収穫の中休みが起こることが一般的とされている。気温が30℃を超える栽培環境下では、直射光を受けた葉温はさらに高温になっており、蒸散を抑えるために気孔開度が低下していることが推察される。さらに開花から収穫までの期間が3週間前後と極めて短いことから、シンク活性の高い果実に優先的に光合成産物が供給され（西沢・堀，1988）光合成産物の分配がアンバランスになっていることが想定される。このように、夏秋どり栽培は、促成栽培に比べてはるかに劣悪な環境下で光合成が行われていると考えられる。従って、夏秋どり栽培の安定化を図るには、夏秋期における光合成特性の実態を今後明らかにする必要があると思われる。

夜冷育苗装置を利用して頂花房だけでなく一次腋花房まで花芽分化させる夜冷処理方法を開発した。この方法を用いることで10月上旬から頂花房を収穫し、一次腋花房も連続的に出蕾開花させることができるため、年内収量を約40%程度増収させることが可能となった。本法は本ほ短日ウォーター夜冷処理に比べてより省力低コストで、単棟ハウス、連棟ハウスのいずれにも対応可能な汎用性の高い一次腋花房の花芽分化促進処理方法であると考えられた。収穫時期を10月上旬からさらに前進化させることは、十分可能であると考えられる。しかし、平坦地における栽培を前提とした場合、これ以上の前進化は果実品質の低下や病虫害防除の点で大きな問題を抱えることになり、労力とコスト面から見ても経営的に成り立たないと考えられる。

近年育成された促成栽培用イチゴ品種は、限られた育種素材間で交配を繰り返してきた結果、近交係数が急激に高まっていることが明らかとなった。このままの状態では品種改良を続けていけば、近い将来近交弱勢による草勢および収量の低下、稔性障害による不受精果の発生など重大な問題を引き起こすことが懸念される。第4章で論述したとおり、品種の近交係数が比較的高い「とちおとめ」では、天候不良時における不受精果の発生が、他品種に比べて多いことが栽培上の大きな問題になっている。

これまでのところ、薬培養や茎頂培養の過程で生ずるソマクローナル変異をもとに育成したカリクロン植物から新品種を開発した事例が数例知られている（江面ら，1991；高橋，1993）。また、近縁野生種の利用（野口ら，1995）や遺伝子組み換え（浅尾ら，1995）による成果も見られているが、いずれも普及性の高い実用品種を育成するまでには至っていない。従って、

現段階では実用品種を直接の交配親とした交雑育種が最も確実な方法であると考えられる。本論文で明らかにした近親交配の程度の小さい組合せを利用しながら、栽培特性や果実特性および耐病性の改良を進めていくことが重要であると考えられる。

栃木県ではこれまで四季成り性品種を用いた夏秋どり栽培事例はまったくなかった。今回、県オリジナルの四季成り性品種「とちひとみ」が育成されたことで、産地間リー方式による周年生産の可能性が生まれた。これまで夏秋どりイチゴ栽培は、北海道や東北地方など夏場の冷涼な気候を利用して産地形成が図られてきたが、栃木県も夏秋どりイチゴの生産適地である夏場冷涼な中山間地域を多く抱えている。さらに本県は促成栽培イチゴでは全国一の大産地であるという有利性を持っている。「とちおとめ」と「とちひとみ」の組合せによる周年出荷体制を確立することにより、イチゴ産地としての基盤はいっそう強固なものになると期待され、イチゴ生産に携わる各方面の関係者から注目されている。また、夏秋どりイチゴ栽培は、過疎問題を抱える中山間地域の活性化対策の一つの起爆剤としても大きな可能性を秘めており「とちひとみ」に対する期待は大きい。

以上述べたように、「とちひとみ」は夏秋どり栽培に適する四季成り性品種として優れた特性をもっているが、まだ一季成り性品種と比較すると果実品質は劣っている。今後は、一季成り性品種並の果実品質を備えた四季成り性品種の育成が期待される場所である。これまで四季成り性イチゴの育種に関しては、四季成り性が単因子優勢であることが明らかにされている程度で、最も重要な項目である四季成り性と果実形質との関係についての育種学的研究はみられない。四季成り性と果実形質との間に強い連鎖がないとすれば、交雑育種によって一季成り性品種並の果実形質を備えた四季成り性品種の開発は十分可能であると考えられる。今後は、四季成り性の遺伝解析をさらに進めるとともに、本論文で示した近交係数を用いた育種手法を活用することで、栽培特性、収量性および果実形質の優れた周年栽培品種の開発を目指したい。

要 旨

1. 花房伸長方向の目安となるランナー軸を持たない組織培養苗を用いて、クラウンの傾斜と花房伸長方向の関係を調べた。頂花房の花芽分化時期に20~25度の傾斜を付けた培養苗は、傾斜方向に花房を伸長させた。一方、最初の傾斜処理から40日後の頂花房開花始期にポットの傾斜を180度回転させ傾斜方向を逆転させた場合、頂花房は反対方向に伸長した。これは頂花房の伸長方向が屈地性によって決定されること、また花房の伸長方向が花芽分化時期より後、開花始期よりも前の時期に決定していることを示すと考えられた。ランナー軸およびクラウン傾斜を持たない培養苗の定植に当たっては、定植時に株を通路側に倒して定植することで、花房を通路側に伸長させることが可能となる。

2. 代表的な促成栽培用品種である「とちおとめ」と「女峰」を用いて、主茎腋芽の発育に及ぼす日長、定植時期および定植後の株栄養の影響を調べた。両品種とも短日条件下では、腋芽が一次側枝や休眠芽になりやすく、品種間では「とちおとめ」の方が「女峰」より日長の影響を受けやすかった。定植時期と株栄養に関して、「女峰」は、定植時期が遅く株が低栄養状態の場合に第3、第4節の下位節位に一次側枝が発生しやすかった。一方、「とちおとめ」は、低栄養状態では定植時期が早まってもランナー発生が抑制され休眠芽が多くなった。さらに定植時期が遅れるとその傾向が一層助長された。

「とちおとめ」、「女峰」および「とよのか」を用いて、主茎腋芽の発育に及ぼす3つの要因（育苗中および定植後の株栄養、定植後の日長、定植後の温度）の影響を調べた。「とちおとめ」では、最高気温が35℃を超えるような高温条件下では、通常ランナー発生を抑制する低栄養および短日条件下でも第2節以下の腋芽がランナー化しやすいことが分かった。腋芽の発育に關与する3要因の中では、温度の影響が最も大きく、高温条件は、第1節腋芽を除いた第2節以下の腋芽をランナー化する方向に作用し、定植後の高栄養条件もランナー化を促進した。育苗中の株栄養条件が腋芽の発育に及ぼす影響は比較的小さいのに対し、品種の違いは大きな影響を及ぼした。以上の結果から、日長、温度および株栄養を組合せることによって、腋芽の発育パターンをコントロールすることが可能であると考えられた。

3. 9月上旬定植の促成栽培作型において、「とちおと

め」の花粉および雌ずいの受精能力について検討した。「とちおとめ」は、「女峰」と比較して花粉の発芽率がやや低く、開花後の受精能力低下程度が大きかった。同様に雌ずいの受精能力保持期間は開花後3~4日程度で「女峰」より1~2日短く、開花後の能力低下程度も大きかった。「とちおとめ」の花粉と雌ずいの受精能力は、「女峰」よりも光の影響を受けやすく、低日照条件下で花粉の受精能力が著しく低下した。日照不足の影響は花芽の発育ステージで異なり、花器完成期から出蕾期における影響が最も大きかった。以上のことから、「とちおとめ」は「女峰」に比べて花粉および雌ずいの受精能力がやや低く、日照不足、低気温などの不良環境条件下では不受果が発生しやすいと考えられる。受粉・受精の不良による不受果の発生を防止するためには、日中のハウス内温度を花粉発芽に最適な25℃程度に長く保ち、花粉発芽率の向上を図るとともに、ミツバチの訪花活動を促進し、開花後速やかに受粉させることが重要である。また、「とちおとめ」の雌ずいは、先熟性程度が高く、花床基部と先端部の雌ずいの発育差が小さいことから、大果系品種であるにもかかわらず、先青果が発生しないと考えられた。

4. 「とちおとめ」の個葉を用いて光-光合成曲線およびCO₂-光合成曲線を調べた。葉温20℃、CO₂濃度360ppm条件下では、光強度1,000μmol・m⁻²・s⁻¹でも光飽和に達しなかった。葉温20℃、光強度1,000μmol・m⁻²・s⁻¹条件下では、CO₂濃度が1,000ppmまでは光合成速度は直線的に増加し、1,500ppmで最大となり、2,000ppmではやや減少した。「とちおとめ」、「女峰」および「とよのか」の3品種を用いて光合成速度の日変化を調べた。光合成速度は、いずれも午前中に高く、午後には低下することが明らかとなった。午後の光合成速度の低下は、水ポテンシャルの低下による気孔開度の低下が影響していると考えられた。

5. 夜冷短日処理によって8月上旬に頂花房を分化させた苗に対して、継続して夜冷処理を行なうことで頂花房の花芽発育と一次腋花房の花芽分化を同時に促進させる育苗法を検討した。頂花房分化後に8~10日の夜冷処理中断期間を設けることで、栄養生長が促進され頂花房着花数が増加した。また夜冷処理中に追肥を行うことで一次腋花房の花芽分化が促進されることが明らかとなった。本処理方法で一次腋花房を分化させた苗を9月上旬に定植することによって、10月上中旬から頂花房の収穫が可能となり、一次腋花房も頂花房に引き続き連続的に収穫

できることから年内収量が大幅に増加することが明らかとなった。

6. 栄養繁殖作物のイチゴでは、限られた育種材料間での交配を繰り返すため近親交配が問題となる。そこで、近年育成されたイチゴ品種の近交係数を計算した。また、近交係数と収量との関係を調べた。近交係数の計算は推論型言語 Prolog とパーソナルコンピューターを利用した手軽な処理系で計算プログラムを作成した。交雑実生の近交係数と実生の選抜率との間に相関関係は認められなかった。栃木県農業試験場栃木分場の育成系統（3次選抜系統）の近交係数と収量の関係を調べたところ、 -0.37 （危険率1%）の有意な負の相関が認められた。また、イチゴでは近交係数が0.3程度までであれば、近交弱勢による収量の低下は見られないことが明らかになった。近年育成されたイチゴ品種の近交係数は、一季成り性品種では0.2を超えるものが多く、「とちおとめ」、「章姫」、「さがほのか」、「あまおう」、「さつまおとめ」、「ひのしずく」、「やよいひめ」はそれぞれ0.261, 0.222, 0.257, 0.213, 0.257, 0.247, 0.346であった。一方、四季成り性品種では「サマープリンセス」と「きみのひとみ」の2品種が0.183と0.195でやや高い値であったが、それ以外はいずれも0.1以下であった。代表的な一季成り性品種15品種の総当たり交配による雑種の近交係数を計算した結果、自殖を除いた近交係数の値は0.067~0.440で平均は0.210となり、近親交配の程度が高くなることが明らかになった。

7. 夏秋どり栽培に適し、業務および生食用として利用可能な四季成り性品種の開発に取り組み、四季成り性の新品種「とちひとみ」を育成した（2007年3月15日登録、第15007号）。「とちひとみ」は 果実品質（果実硬度、食味）が従来の四季成り性品種と比べて格段に優れた四季成り性が強く、夏秋期に連続して開花するため収量性が高い。ほとんどの四季成り性品種はランナーの発生数が少ないため、苗の増殖に問題を抱えているが、「とちひとみ」は一般の一季成り性品種並にランナーが発生する。

夏秋どり栽培の適地と考えられる栃木県内の中山間高冷地において、「とちひとみ」を用いた夏秋どり作型の開発とその普及性について検討した。「とちひとみ」は、標高400~1,100mの幅広い地域で適応性の高い品種であることが確認された。4月下旬~6月上旬に苗を本ばに定植することで、7月上旬から果実を収穫することが可能であった。採苗時期（春苗・秋苗）が収量に及ぼす影響

は少なかった。平坦地で越冬させた苗に比べ、高冷地の積雪下で越冬させた苗は、本ばに定植してからの草勢が旺盛であり、心止まり株の発生が少なく収量が高かった。標高600mの中山間地で17a規模で栽培実証を行った結果、7月上旬~10月下旬までで10aあたり1.3トンの収量が得られ、約200万円の粗収益となった。栽培者の技術レベルの向上と、栽培管理技術の早期確立を図ることにより「とちひとみ」を用いた夏秋どり栽培の普及の可能性が示唆された。

謝 辞

本研究を取りまとめるにあたっては、宇都宮大学農学部 吉田智彦教授より終始懇切な御指導を賜りました。同農学部 和田義春准教授には光合成実験に関して御指導を賜りました。東京農工大学農学部 平沢正教授，茨城大学農学部 松田智明教授および宇都宮大学農学部 本條均教授には本論文の御高閲を賜りました。

本研究を進めるにあたって，東京大学大学院農学生命科学研究科 杉山信男教授には貴重な御助言と多くの御支援を賜りました。みつる植物研究所長 藤井敏男博士には温かい励ましを賜りました。

元栃木県農務部普及教育課長 吉澤秀郎氏にはイチゴ研究のきっかけを与えていただきました。元栃木県農業試験場長 高橋馨氏および前栃木県農業試験場栃木分場長 木村栄氏には，多くの御支援とともに大学院での研究機会を与えていただきました。栃木分場歴代分場長の川里宏氏，長修氏，峯岸長利氏，赤木博氏にはイチゴの育種および生理生態研究を進める上で有益な御助言を賜りました。

「とちひとみ」の現地試験の実施にあたって，上都賀農業振興事務所および那須農業振興事務所担当者に多大なご協力をいただきました。特に上都賀農業振興事務所経営普及部の大橋隆氏（現農政部生産振興課），栗山村（現日光市）経済課の山口聖治氏，斉藤信義氏，大島喜三郎氏ならびに日蔭地区の夏いちご生産部会の皆様にたいへんお世話になりました。

ここに記して心より感謝申し上げます。

最後に，研究業務を支えていただいた栃木県農業試験場および同栃木分場の事務職員の皆様ならびにイチゴの品種育成と技術開発に共に汗を流したいちご研究室職員および臨時職員の皆様に対して深く感謝申し上げます。

引用文献

- 阿部泰典・町田治幸・野口 孝．1970．イチゴの奇形果防止に対する蜜蜂の効果．農及園．45: 987-988.
- 阿部泰典・町田治幸・福岡昇二．1971．ハウスイチゴの受精に関する研究(第1報)雌しべの寿命および花粉の消長について．園学要旨．昭46秋: 142-143.
- 阿部泰典．ハウスイチゴの受精生理と栽培管理 1972．農及園．47: 1699-1703.
- 赤木 博・大和田常晴・川里 宏・野尻光一・安川俊彦・長 修・加藤 昭．1985．イチゴ新品種「女峰」について．栃木農試研報．31: 29-41.
- 浅尾浩史・荒井 滋・西澤洋子・佐藤隆徳・平井正志・日比忠明．1995．アグロバクテリウムによるイネ・キチナーゼ遺伝子のイチゴへの導入．育雑．45(別1): 141.
- Batthey, N. H. and R. F. Lyndon. 1990. Reversion of flowering. The Botanical Review. 56: 162-189.
- Cline, M. G. 1991. Apical dominance. Bot. Rev. 57: 318-358.
- Cline, M. G. 1994. The role of hormones in apical dominance. New approaches to an old problem in plant development. Physiol. Plant. 90: 230-237.
- Cline, M. G. 1997. Concepts and terminology of apical dominance. Amer. J. Bot. 84: 1064-1069.
- Darrow, G. M. 1936. Interrelation of temperature and photoperiodism in the production of fruit-buds and runners in the strawberry. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 34: 360-363.
- Darrow, G. M. 1966. The Strawberry. History, breeding and physiology. p. 40-72. Holt, Rinehart and Winston, New York.
- 江口庸雄．1932．苺の花芽分化並発育様式に就て(第三報)．園学雑．3: 21-31.
- 江面 浩・雨ヶ谷洋・霞 正一．1991．イチゴのカルス培養によって出現した早生変異系統の特性．園学雑．60(別1): 366-367.
- FAOSTAT．2004．Food and agriculture organization of the united nations．
- 藤本幸平．1972．イチゴ宝交早生の生理生態的特性の解明による新造型開発に関する研究．奈良農試特報．p. 1-151.
- 藤重宣昭・富田真佐男．1980．イチゴの休眠打破における低温遭遇効果に及ぼす昼温の影響．園学要旨．昭55春: 220-221.
- 伏原 肇．1995．イチゴ栽培を再考する(9)．施設園芸．3: 34-37.
- Grbic, V. and A. B. Bleecker. 2000. Axillary meristem development in *Arabidopsis thaliana*. Plant J. 21: 215-223.
- Guttridge, C. G. 1955. Observations on the shoot growth of the cultivated strawberry plants. J. Hort. Sci. 30: 1-11.
- 芳賀 豊・越川兼行・石垣要吾．1996．イチゴの周年穫り新造型の開発に関する研究(1)．岐阜農総研センター研報．9: 11-19.
- 畠山昭嗣・重野 貴・植木正明・稲葉幸雄・深澤郁男．2002．クリプトモス混合培地を用いたイチゴ「とちおとめ」の空中採苗法．栃木農試研報．51: 17-27.
- 彦坂幸毅．2003．光合成機能の評価2 クロロフィル蛍光．p. 245-258．種生物学会編．光と水と植物のかたち植物生理生態学入門．文一総合出版．東京．
- 平沢 正．1994．作物の光合成に対する水ストレスの影響．p. 109-117．石井龍一編．植物生産生理学．朝倉書店．東京．
- 久松 完．2003．キクの生育・開花調節の現状と今後．農業技術．58: 67-71.
- 本多藤雄．1977．生理・生態からみたイチゴの栽培技術．p. 58, 117, 162-208．誠文堂新光社．東京．
- 本多藤雄・岩永喜裕・松田照男・森下昌三・伏原 肇．1985．イチゴ新品種「とよのか」の育種に関する研究．野菜試報．C 8: 39-57.
- 堀田 励．1987．イチゴの夜冷育苗による早出し栽培．農及園．62: 622-626.
- 家中達広・稲葉幸雄．2005．イチゴの10月どり作型における本ば短日夜冷処理が一次腋花房の分化に及ぼす影響．園学雑．74(別1): 302.
- 家中達広・稲葉幸雄．2006．ウォーターカーテンを利用した本圃短日夜冷処理によるイチゴの新造型開発．栃木農試研報．58: 31-45.
- 石原 邦・斉藤邦行．1987．湛水状態の水田に生育する水稻の個葉光合成速度の日変化に影響する要因について．日作紀．56: 8-17.
- 石原良行・植木正明・四方田純一・高野邦治・大谷晴美．1994．セル成型苗利用によるイチゴ育苗の省力化．栃木農試研報．42: 65-77.
- 石原良行・高野邦治・植木正明・栃木博美．1996．イチゴ新品種「とちおとめ」の育成．栃木農試研報．

- 44: 109-123.
- 伊東明子．2004．頂芽優勢の鍵物質 - オーキシンとサイトカイニン - ．植調．38: 13-19.
- 岩間俊之・杉山信男・赤木 博．2001．イチゴの主茎上の位置と腋芽およびランナー発生との関連．園学雑．70(別2): 172.
- 岩間俊之．2002．イチゴにおける腋芽の分化パターンに関する研究．東京大学大学院生命科学研究科修士論文．p. 1-70.
- 井山審也．1974．変異と淘汰．p. 100-113. 松尾孝嶺監修．育種ハンドブック．養賢堂．東京．
- Jurik, T. W. , J. F. Chabot and F. Chabot. 1982. Effects of Light and Nutrients on Leaf Size, CO₂ Exchange, and Anatomy in Wild Strawberry (*Fragaria virginiana*). Plant Physiol. 70: 1044-1048.
- 香川 彰．1971．イチゴ栽培の理論と実際．p. 118. 誠文堂新光社．東京．
- 金子栄一・守田隆幸．2002．無側枝性ギクの腋芽形成に及ぼす栽培温度の影響．園学雑．71(別1): 171.
- 金指信夫・川里 宏．2002．イチゴ品種“福羽”の育成経過に関する考察．農及園．77: 973-976.
- 加藤 昭・大和田常晴．1967．半促成イチゴの早熟化に関する生態的研究(第3報)．低温処理の実用化試験．栃木農試研報．10: 25-30.
- 勝見允行．1991．植物のホルモン．p. 39-40, 96-98, 121, 149. 裳華房．東京．
- 川上敬志・青木宏史・土岐知久．1990．イチゴの夜冷育苗による熟期促進法．千葉農試研報．31: 55-72
- 川里 宏・大和田常晴・加藤 昭．1969．イチゴの奇形果に関する研究(第1報)高温の影響について．栃木農試研報．13: 67-71.
- 川里 宏・赤木 博．1971a. イチゴのハウス栽培における受粉用ミツバチの利用法．農及園．46: 1049-1053.
- 川里 宏・大和田常晴・矢板孝晴．1971b. イチゴの奇形果に関する研究(第3報)農薬散布の影響について．栃木農試研報．15: 65-70.
- 川里 宏・大和田常晴・大橋 敢・矢板孝晴．1972a. イチゴの奇形果に関する研究(第4報)ほ場における高温の影響．栃木農試研報．16: 111-116.
- 川里 宏・大和田常晴・高野邦治．1972b. イチゴの奇形果に関する研究(花粉ねん性におよぼす施肥の影響)．農及園．47: 1195-1196.
- 川里 宏・大和田常晴・大橋 敢．1973．イチゴの奇形果に関する研究(第5報)保温開始前の低温による雄ずい不完全花の発生．栃木農試研報．17: 70-75.
- 川里 宏・赤木 博．1981．イチゴの促成栽培 - 花芽分化と温度管理に関する問題点 - ．農及園．56: 1038-1042.
- 川里 宏．1989．イチゴの新品種「女峰」の育成と促成栽培技術の改善．農業技術．44: 6-9.
- 川島信彦．1991．施設内におけるCO₂施肥に関する研究．(第3報)イチゴの生育に対する効果．奈良農試研報．22: 65-72.
- 川田信一郎．1962．馬鈴薯種薯に於ける老化並びに若返りに関する生長生理学的研究．p. 68-69.日本學術振興會．東京．
- Kemphorne, O. 1969. An introduction to genetic statistics. p. 72-80. Iowa State University Press. Ames, U. S .A.
- 木村雅行．1999．品種の変遷と地域適応．p. 113-120. 野菜園芸大百科イチゴ．農文協．東京．
- 北野智一・小田文明・米津雄一・寺島俊彦．1993．組織培養苗利用によるイチゴ苗生産に関する研究(第3報)培養苗の順化に関する研究．園学雑．62 (別2): 36-37.
- 北野智一・米津雄一・小田文明・小淵正治・石橋泰之．1997．イチゴ組織培養苗の果実の収量および品質に及ぼす影響．園学雑．66 (別1): 282-283.
- 小林 保・小林尚武．1996．秋どりイチゴの果実重並びに内容成分等品質からみた作期前進限界．兵庫農技研報．44: 31-34.
- 小林 保．2002．イチゴセル苗のランナー挿し育苗と横植え定植による花房伸長方向斉一化．農及園．77: 292-295.
- 熊倉裕史・穴戸良洋．1993．イチゴの花芽分化及び果実肥大に関する研究(第2報)花芽分化に及ぼす温度及び光環境の影響．野菜茶試研報．A6: 13-27.
- Kumar, D. and P. F. Wareing. 1972. Factors controlling stolon development in the potato plants. New Phytol. 71: 639-648.
- 玖村敦彦．1976．生産活動の日変化と季節変化．132-146．村田吉男編．作物の光合成と生態．農文協．東京．
- Kurokura, T. , T. Iwama, Y. Inaba and N. Sugiyama. 2004. Effect of day-length on the developmental pattern of axillary buds in June-bearing strawberry plants. J. Hort. Sci. Biotech. 80: 139-142.
- Kurokura, T., Y. Inaba, D. Neri. and N. Sugiyama. 2005. A morphological study of the development of the second inflorescences in strawberry (*Fragaria xananassa*

- Duch.) . Ann. Appl. Biol. 146: 511-515.
- 前川寛之・峰岸正好, 1991. イチゴの花成誘導期における施肥の影響. 奈良農試研報, 22: 43-48.
- 松田照男・猪崎政敏, 1980. イチゴのポット育苗による栽培. 農及園, 55: 685-686.
- 松永 啓, 2002. 四季成り性品種の特性. 農業技術体系野菜編第3巻イチゴ基礎編p. 基133-134. 農山漁村文化協会, 東京.
- 松尾孝則・大串和義・豆田和浩・田中龍臣・三原 実・小田文明, 1995. 促成イチゴのセル成型苗を用いた機械移植に関する研究. 園学雑, 64 (別2): 428-429.
- 松尾良満, 1976. 促成イチゴの収穫前進に関する研究. 園学要旨, 昭51春: 200-201.
- 水間 豊・猪 貴義・岡田育穂, 1982. p. 156-228. 家畜育種学. 朝倉書店, 東京.
- 水田一枝・佐々木昭博・吉田智彦, 1996. 近縁係数のためのPrologによるコンピュータプログラムとそのビール大麦品種の近縁関係の解析への応用. 農業情報研究, 5: 19- 28.
- 望月龍也, 1999. わが国におけるイチゴ育種研究の現状と今後の課題〔1〕. 農及園, 74: 539-545.
- 門馬信二・興津伸二・高田勝也, 1990. イチゴの四季成り性の遺伝. 野菜試研報, C1. 21-29.
- 森 利樹・庄下正昭, 1988. 大果系イチゴ品種アイベリーの先つまり果発生原因とその対策に関する研究(第1報)開花後の受精能力変化について. 園学要旨, 昭63秋: 720.
- 森 利樹・戸谷 孝・藤原孝之, 2000. 炭そ病抵抗性品種「サンチーゴ」の育成. 三重農技研報, 27: 27-36.
- 森 利樹, 2001. イチゴにおける炭そ病抵抗性の遺伝と選抜反応. 三重農技研報, 28: 15- 21.
- 森 利樹, 2003. イチゴ炭疽病抵抗性の遺伝特性と育種. 植物防疫, 57: 271-275.
- 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.
- 森下昌三, 1997. イチゴの育種. 農業技術, 52: 22-26.
- 長岡正昭・竺原宏人・大和陽一, 1994. 異なった光強度条件下でのCO₂濃度がイチゴ品種「とよのか」の光合成に及ぼす影響. 園学雑, 63 (別1): 336-337.
- 生井兵治, 1991. 栽培植物における受粉生物学のすすめ(10). 農及園, 66: 761-764.
- 生井兵治, 1992. 植物の性の営みを探る. p. 24-25. 養賢堂, 東京.
- 並木隆和・藤本幸平, 1968. イチゴ花粉の発芽に関する研究(第1報)温度の影響. 園学要旨, 昭43秋: 174-175.
- 並木隆和・藤本幸平, 1969. イチゴ花粉生成ならびに花粉発芽に関する研究(第2報)花粉生成に及ぼす光量と窒素の影響. 園学要旨, 昭44秋: 160-161.
- 成川 昇・石橋光治・荻原佐太郎・土岐知久, 1981. イチゴ新品種「麗紅」の育成経過と特性. 千葉農試研報, 22: 45-55.
- 成川 昇・石川正美, 1997. 実生栽培用イチゴ品種の育成. 園学雑, 66(別2): 464-465.
- Neri, D., N. Sugiyama, T. Iwama and H. Akagi, 2003. Effect of apical pinching on the development of axillary buds in strawberry plants. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 72: 389-392.
- 二宮敬治・鈴木当次, 1965. イチゴの奇形果に関する研究(とくに不稔花粉の発生と高低温の影響について). 静岡農試研報, 10: 61-70.
- 西沢 隆・堀 裕, 1988. イチゴにおける¹⁴C 光合成産物の転流・分配に及ぼす花房の発育段階の影響. 園学雑, 57: 433-439.
- 野口裕司・望月龍也・曾根一純, 1995. 試験管内倍加法による*Fragaria x ananassa* と*F. nilgerrensis* との着果性に優れる種間雑種の作出. 園学雑, 64(別1): 342- 343.
- 野口裕司・山川 理, 1988. 高温期におけるイチゴの果実肥大能力の品種間差. 野菜茶試研報, D1: 19-28.
- 野口裕司, 2002. 日本の温暖地域におけるイチゴ促成栽培の安定化と適正品種育成に関する基礎的研究. 野菜茶研研報, 1: 37-95.
- 小田文明・北野智一・米津雄一・寺島俊彦, 1993. 組織培養苗利用によるイチゴ苗生産に関する研究(第1報) 液体培地によるイチゴの大量増殖. 園学雑, 62 (別2): 32-33.
- 小田文明, 1995. 組織培養によるイチゴ苗大量生産技術の開発. アグリビジネス, 42: 57-60.
- 織田弥三郎・川田訓平, 1974. イチゴ品種の光合成特性について(第1報)光・温度-光合成曲線ならびに葉の形態. 園学要旨, 昭49春: 174-175.
- 織田弥三郎・川田訓平, 1975. イチゴ品種の光合成特性について(第2報)CO₂濃度と光合成との関係. 園学要旨, 昭50春: 198-199.
- 織田弥三郎・阪本千明, 1975. イチゴの光合成・蒸散に関する研究(第3報)宝交早生の葉の構造なら

- びに葉令の変化とガス交換機能．園学要旨．昭50春: 200-201.
- 織田弥三郎・柳 智博．1984. イチゴの光合成・蒸散に関する研究(第9報)異なった作型における自然光条件下での株の光合成について．園学要旨．昭59春: 252-253.
- 織田弥三郎・田辺久輝．1990. 異なったCO₂濃度条件下におけるイチゴ品種「女峰」の光合成特性．園学雑．59(別1): 442-443.
- 織田弥三郎・鈴木 彰．1991. 異なったCO₂濃度条件下におけるイチゴ品種「とよのか」の光合成特性．園学雑．60(別1): 380-381.
- 織田弥三郎．1997. イチゴに対するCO₂施用の理論．1997年度イチゴセミナー紀要．6: 6-13.
- 荻原 勲・舟山瑞穂・平沢 正. 2004. イチゴ果実の成熟過程における「さちのか」および「とちおとめ」の光合成特性．園学雑．72(別2): 161.
- 岡本章秀・須藤憲一．2002. 無側枝性キク「岩の白扇」における腋芽が形成されない葉腋の形成．園学雑．71(別1): 170.
- 岡田 巖．1982. イチゴにおける頂花房の伸長方向に関する研究 第2報 苗のクラウンの傾斜と開花時のクラウンの傾斜．園学要旨．昭57春: 226-227.
- 沖村 誠・五十嵐勇．1992. イチゴ品種の生育・開花に及ぼす低温遭遇時間の影響．園学雑．61(別2): 432-433.
- 大田 一・上村茂雄・大鹿保治．1972. ハウス栽培イチゴの奇形果に関する研究．群馬園試報1: 1-19.
- 大和田常晴・川里 宏・加藤 昭．1970. イチゴの奇形果に関する研究(第2報)．開花および雌雄ずいの機能について．栃木農試研報．14: 67-74.
- Piringer, A. A. and D. B. Scott. 1964. Interrelation of photoperiod, chilling, and flower-cluster and runner production by strawberries. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 84: 295-301.
- 斎藤明彦．1997. 章姫の生理生態と栽培技術．農業技術体系野菜編第3巻イチゴ基礎編p. 基360. 農山漁村文化協会．東京．
- 斉藤 隆．1970. イチゴの花芽形成．農及園．45: 895-900.
- 斉藤 隆．1982. イチゴの開花・開薬について．園学要旨．昭57春: 224-225.
- 斉藤 隆・平間信夫・野口陽子・高橋亨．1983. イチゴの開薬および受粉について．園学要旨．昭58秋: 591.
- 齋藤弥生子・坂森正博．1995. イチゴ多芽体由来植物体の変異評価．愛知農総試研報．27: 181-186.
- 齋藤弥生子・番 喜宏・菅原真治．1998. イチゴ種子繁殖 F₁品種の育成に関する研究 - F₁組合せ検定 - ．園学雑．67(別2): 327.
- 施山紀男・高井隆次．1986. イチゴの発育とその周期性に関する研究．野菜試報告．B6: 31-77.
- 柴山悦哉・桜川貴史・荻野達也．1986. Prolog-KABA入門．p. 301. 岩波書店．東京．
- 重野 貴・栃木博美・大橋幸雄・稲葉幸雄．2001. 促成栽培におけるイチゴ「とちおとめ」の生育及び収量に及ぼす電照，炭酸ガス施用及び地中加温の効果．栃木農試研報．50: 39-49.
- 下山 禎．2004. 消費者ニーズの解析方法 - イチゴを事例として - ．農業技術．59: 161-163.
- 曾根一純．2002. 公立研究機関におけるイチゴの育種戦略．施設と園芸．118: 31-37.
- Sugiyama, N., T. Iwama, Y. Inaba, T. Kurokura and D. Neri. 2004. Varietal differences in the formation of branch in strawberry plants. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 73: 216-220.
- 泰松恒男．1993. イチゴ四季成性品種の生態特性の解明並びにその生産性の確立に関する研究．奈良農試特報．p. 1-206.
- 高橋春實．1993. イチゴの国斑病抵抗性株の育成に関する研究．秋田県立農短大研報．19: 1-44.
- 高橋春實．2001. 大石四季成 - 日本における四季成り性イチゴ育種の先覚者大石俊雄のプロフィールと育種への思い - ．日本イチゴセミナー紀要．9: 86-91.
- 高橋春實．2006. 北日本における四季成り性イチゴ育種の現状と展望．園学研．5: 213-217.
- 高橋和彦．1970. イチゴの奇形果発生の諸要因(第3報)自家および他家受粉の影響．園学要旨．昭45秋: 150-151.
- 高井隆次．1976. 寒冷地におけるイチゴの半促成栽培．農及園．51: 1265-1268.
- 高野 浩・常松定信．1993. 四季成り性イチゴの作型に関する研究．(第4報)一年生株における心止まり現象．園学雑．62(別1): 322-323.
- 高野 浩・常松定信．1994. 四季成り性イチゴの作型に関する研究．(第5報)電照および摘蕾処理が一年生株の心止まりに及ぼす影響．園学雑．63(別1): 342-343.

- 竹内 隆・藤波裕幸・河田智明・松村雅彦．1999．イチゴ新品種「紅ほっぺ（仮称）」の育成経過と主特性．静岡農試研報．44: 13-24.
- 谷沢知典・田辺賢二・田村文男・上村哲弥．1993．イチゴ“宝交早生”の花芽分化と生長調節物質との関係．鳥大農研報．46: 1-6.
- 栃木県上都賀農業振興事務所．2005．新技術導入経営改善実証展示ほ実績書．p. 1-11.
- 栃木県農業試験場．2001．いちご「とちおとめ」の栽培技術．新技術シリーズNo3．p. 1-24.
- 栃木県農業試験場．2002．クリプトモスを用いた環境にやさしいいちごの養液栽培技術．新技術シリーズNo5．p. 1-24.
- 東北地域いちごの超促成栽培確立プロジェクトチーム．2005．夏秋どりイチゴ栽培マニュアル．
- 東京青果物情報センター．2006．東京都中央卸売市場青果物流通年報（果実編）．
- 角田重三郎・木下俊郎・山下 淳・日向康吉・中島皐介・常脇恒一郎・岩田信夫・上島脩志・蓬原雄三・金田忠吉・武田元吉・菊池文雄．1991．新版植物育種学．p. 67. 文永堂出版．東京．
- 植木正明・須崎隆幸・高野邦治．1993．イチゴ女峰の夜冷短日処理における処理開始時期の影響．栃木農試研報．40: 75-82.
- 植木正明・長 修・川里 宏・赤木 博・高野邦治．1993．イチゴ新品種「栃の峰」について．栃木農試研報．40: 99-108.
- 植木正明・大橋幸雄・重野 貴・出口美里・高際英明・栃木博美・深澤郁男・癸生川真也・稲葉幸雄．2006．四季成り性イチゴ新品種「とちひとみ」の育成．栃木農試研報．58: 47-57.
- 植松徳雄．1998．イチゴ栽培の理論と実際．p. 2-4, 55-58, 90-91, 199-227. 誠文堂新光社．東京．
- Ueno, O., S. W. Bang, Y. Wada, A. Kondo, K. Ishihara, Y. Kaneko and Y. Matsuzawa. 2003. Structural and Biochemical Dissection of Photorespiration in Hybrids Differing in Genome Constitution between *Diplotaxis tenuifolia* (C₃-C₄) and Radish (C₃). *Plant Physiol.* 132: 1550-1559.
- Wright, S. 1922. Coefficients of inbreeding and relationship. *Amer. Nat.* 56: 330-338.
- 山口秀和．2002．四季成性品種「南農イチゴ1号」の特性と栽培の基本．施設園芸．4. 49-53.
- Yamasaki, A. and M. Yamashita. 1993. Changes in endogenous cytokinins during flower induction of strawberry. *Acta Horticulturae.* 345: 93-99.
- 安田貞雄．1942．雌蕊の受精力保存期間に就いて．植物及動物．10: 491.
- 吉原 泉・矢田部健一・村上文生．1997．イチゴの夏秋どり栽培．栃木農試研報．46: 43-48.
- 吉田智彦．1985．カンショ育成系統の近交係数．育雑．35: 464-468.
- 吉田智彦．1986．カンショの近交係数と収量との関係．育雑．36: 409-415.
- 吉田智彦．1998．最近育成の稲妻品種の家系分析．農業技術．53: 504-507.
- 吉田智彦．2003．数種の栄養繁殖作物で近年育成された品種の近親交配の程度．日作紀．72: 309-313.
- 吉田智彦．2004．Windowsによる作物品種の家系分析用Prologプログラムの作成．日作関東支部報．19: 54-55.
- 吉田裕一・大井美知男・藤本幸平．1987．大果系イチゴの奇形果発生に関する研究（第1報）奇形果の発生様相と雌ずいの発育について．農及園．62: 1095-1097.
- 吉田裕一・後藤丹十郎・中條利明・藤目幸広．1991a．イチゴ雌ずいの形態と受精能力の開花後の変化．園学雑．60: 345-351.
- 吉田裕一・鈴田 恵・藤目幸広・中條利明．1991b．イチゴ花器および果実形質の品種間差異．園学雑．60: 353-359.
- 吉田裕一・時実充洋・藤目幸広・中條利明．1991c．イチゴの花芽形成時における雌ずいの分化時期と発育速度の変異．園学雑．60: 619-625.
- 吉田裕一・谷本圭一郎．1999．イチゴ「女峰」花粉稔性の変化と日射量，気温並びに体内炭水化物，無機養分濃度との関係．岡山大学農学部学術報告．88: 39-45.

Summary

Studies on the Horticultural Characteristics of Strawberry for the Development of Year-round Production and the Release and the Extension of a New Cultivar Adapted for It.

Yukio Inaba

The direction of flower cluster extension was investigated in micropropagated strawberry plants with no stolons. If micropropagated plants were planted at an angle of 20 to 25°, primary flower clusters developed in an inclined direction. However, primary flower clusters developed in the opposite direction if inclined pots were rotated by 180°, 40 days after the first inclination treatment. These results show that the direction of extension of primary flower clusters is determined geotropically during the period between flower bud differentiation and anthesis. Furthermore, it is likely that micropropagated plants will extend flower clusters to the aisle side if they are planted at an angle of 20 to 25° toward the aisle side.

Effects of day length, planting time and plant nutritional conditions after planting on the development of axillary buds on primary crowns were investigated using Tochiotome and Nyoho strawberries, i.e., typical cultivars for forcing culture. Axillary buds at the second to the fourth node from the apex of primary crowns usually developed into runners or axillary branches under long day condition in both cultivars. The number of axillary buds that developed into axillary buds or remained as dormant buds increased under short day conditions, especially in Tochiotome. As for the third and fourth node from the apex, late planting and poor nutritional conditions after planting increased the number of axillary buds that developed into axillary branches in Nyoho. On the other hand, poor nutritional condition after planting increased the number of axillary buds that remained as dormant buds and depressed the development of runners in Tochiotome even when planting time was advanced. Effects of day length and temperature after transplanting and plant nutritional conditions before and after transplanting on the development of axillary buds of strawberry primary crowns were investigated using typical strawberry cultivars for forcing culture, i.e., Tochiotome, Nyoho and Toyonoka. When the maximum and average temperatures were higher than 35 and 25 respectively, in Tochiotome axillary buds at node 2-4 from apex developed into runner even under poor nutritional and short day conditions, which usually inhibit the development of runner. Temperature exerts the strongest effect on the development of axillary buds as compared with day length and plant nutritional condition. High temperature and poor nutritional conditions after transplanting forced axillary buds to develop into runners. The developmental patterns of axillary bud were little affected by plant nutritional conditions while those were largely affected by cultivars. The results suggest that it is possible to control the developmental pattern of axillary buds by manipulating day length, temperature and plant nutritional condition.

Tochiotome Strawberry's pollen and pistil ability were investigated by forcing culture planting in early September. Compared with Nyoho, the germination percentage of Tochiotome pollen was lower and the degree of decline in fertility after flowering was bigger. The fertility of Tochiotome pistil was maintained during 3-4 days after flowering. It was shorter about 1-2 days than Nyoho and also the degree of decline in the fertility after flowering was bigger. Compared with Nyoho, Tochiotome pollen and pistil was affected by the light condition, and especially the pollen fertility remarkably decreased by low light intensity. As for the stages of flower cluster, the period from coming of flower organ to coming out of flower bud was most influenced by low light intensity. From the facts described above, it is considered that Tochiotome pollen and pistil ability are low by low light intensity and low temperature, and it may be possible to cause the deformity fruits by unfertilization. It becomes clear that Tochiotome pistil tends toward conspicuous protogyny and growth difference between top pistil and bottom pistil on the receptacle is small. Therefore, it is considered that there is no unfertilization of top pistil in spite of whose fruits are extremely big.

Leaf photosynthesis of strawberry plants showed remarkable diurnal change. The apparent photosynthetic rates (AP) were high in the morning, and declined by about 15% in the afternoon under the same light intensity. This afternoon reduction of AP was highly correlated to the reduction of stomatal diffusive conductance. Fv/Fm value from a chlorophyll fluorescence study did not show considerable diurnal change, suggesting that the light inhibition didn't occur even under high irradiance in a fine day. On the other hand, leaf water potential was significantly low in the afternoon. Thus, it is concluded that the afternoon depression of leaf photosynthesis in strawberry plants is mainly caused by stomatal closure due to the reduced leaf water potential.

The effects of prolonged night chilling and short day treatment with fertilization on the growth of terminal inflorescence and differentiation of primary axillary inflorescence were studied in strawberry plants that already differentiated terminal inflorescence in early August. Eight to ten days interruption of the treatment after the initial differentiation of terminal inflorescence increased the number of flowers in the terminal cluster. Supplemental application of fertilizers during interruption and prolonged night chilling and short day treatment accelerated the differentiation of primary axillary inflorescence. By transplanting strawberry plants to a productive field in early September after prolonged night chilling and short day treatment, it made possible to harvest fruits of terminal inflorescence from early October onward and fruits of the primary axillary inflorescence continuously. Therefore, early yield of strawberry fruits increased.

Inbreeding is a great concern for strawberry plant breeders because of the repeated crossings among a limited number of breeding materials. Coefficients of inbreeding (CI) in recently developed cultivars of strawberry were calculated using a personal computer and a programming language, Prolog. The relation between CI and yield was also investigated in the strawberry. There was no correlation between the selection rate of F1 seedling plants and CI of those plants. In the strawberry breeding lines from Tochigi Branch, Tochigi Prefectural Agricultural Experiment Station, the correlation coefficient between CI and yield was -0.37, which was significant at the 1% level. The figure showed that strawberry plants with a CI less than 0.3 did not show any inbreeding depression. The CIs of several recently bred strawberry cultivars of the June-bearing type were approximately 0.2. CIs of Tochiotome, Akihime, Sagahonoka, Amaou, Satumaotome, Hinosizuku and Yayoihime were 0.261, 0.222, 0.257, 0.213, 0.257, 0.247 and 0.346, respectively. Those of CIs of ever-bearing type cultivars were approximately 0.1, except Summer Princess and Kiminohitomi. Hypothetical diallel crossing among 15 representative June-bearing type cultivars resulted in CIs of their offsprings ranging from 0.067 to 0.440 with an average CI of 0.210.

Tochihitomi as a new ever-bearing type cultivar was released. It can be used for flesh eating and business uses. The fruits of Tochihitomi are high quality and yield is higher than other ever-bearing type strawberries. The number of runners of Tochihitomi is same as a June-bearing type strawberry. It is possible for Tochihitomi to cultivate in the area from 1100 m high to 400m high above sea level. Transplanting to field from late April to early June has made it possible for harvesting early July. The yield was 1300kg per 10a, when Tochihitomi was cultivated at 600m high above sea level. This result shows that it is possible to prolong the summer-to-autumn cropping of Tochihitomi under the condition that farmers have high skill and cultivation technics.