

組織培養によるサトイモ種苗生産技術の確立と
その栽培に関する生理生態学的研究

Physiological and Ecological Studies on
Development of in vitro Corm Propagation
System of Taro (Colocasia esculenta L.)
and the Growing Behaviour.

山 本 雄 慈

1 9 9 4

目 次

緒 論	1
第 I 章 In vitro における球茎の形成	7
第 II 章 培養苗の順化・土壌への移植	
第 1 節 培養苗の形状が移植後の生育におよぼす影響	16
第 2 節 培養球茎の予措法	22
第 III 章 培養球茎株の生育特性	
第 1 節 培養球茎株に認められる特性	25
第 2 節 生育特性の品種間差	35
第 3 節 早熟栽培への利用	42
第 4 節 早熟栽培における乾物生産特性ならびに ¹³ C同化産物の転流・ 分配	48
第 5 節 培養球茎株を用いた場合の栽植密度	57
第 IV 章 培養球茎株の生育におよぼす土壌水分の影響	60
第 V 章 培養球茎株の生理的特性	
第 1 節 球茎の内生生長物質	67
第 2 節 生長調節物質による生育調節	75
第 VI 章 培養球茎を用いた種苗生産システムの開発	
第 1 節 変異株の早期検出法	80
第 2 節 球茎の簡易大量培養技術の確立	87

第 3 節 培養球茎の保存法	98
第 4 節 培養球茎の育苗法	102
第 VII 章 総合考察	107
摘 要	115
引用文献	120
Summary	131

緒 論

サトイモはサトイモ科 (Araceae) サトイモ属 (Colocasia) に属し原産地はインド、アッサムまたはマレーシアとされている (星川, 1987)。原産地以外にも沖縄以南の台湾, 東南アジア, インド東部にさまざまな形態を示す野生種が分布している (中尾, 1981; 谷本, 1990)。サトイモ科は107 属2000種もあるとされるが, このうち5 属18種が食用にされている (高柳, 1986)。栽培種については $x=14$ を基本とした2 倍体と3 倍体の品種が成立しており (中尾, 1981) 現在では熱帯, 亜熱帯, 温帯において広く栽培されている。

FAO (世界食料農業機構) の統計によれば, 1991年の世界の作付面積は98.7 万ha, 生産量は572.4万tである。これを地域別にみるとアフリカでの生産が多く, 世界の80%を占め, ナイジェリア, ガーナなどが100万tを越す主産国となっている。また, アジア, オセアニア地域での栽培も多く日本での作付面積は約3 万 ha, 生産量は40万tでアジアでは中国に次ぐ生産国である。

世界各地への伝播については, アジア・太平洋地域では原始マライ族の移動とともに東南アジアからオセアニア, ミクロネシア, ポリネシアなどに2000年以上前に広がったとされ, 中国でも紀元前に栽培の記録がある。一方, インドから西方へも伝わり1 世紀にはエジプトにもその栽培の記録があり, さらにはアフリカ各地から, スペインにも達した。Colocasiaの語源はギリシャ語の kolokas とされる。また新大陸へも16世紀以降伝えられ栽培面積も増加している (星川, 1985)。

我国へは古代に南方から太平洋諸民族の渡来に伴って伝えられたと推定されている。栽培の歴史は古く, 稲作以前に日本に渡来したとも考えられており (坪井, 1979; 佐々木, 1982) 奈良時代や平安時代にはすでに栽培の記録がある。サトイモは農耕の儀式や神事, 祖先を祭る儀式の中では, 後世になって伝わったサツマイモやジャガイモとは異なり, 格式高い供物として扱われており, 米とともに重要な作物として位置付けられていたことが伺える。江戸時代になる

と各地で多くの品種についての記載があり（杉山，1993）広く栽培されていたと考えられている。

品種の分化についてみると熱帯地域から温帯地域に伝わる間に変異と選抜がくり返され多くの品種が成立していったと考えられ，中国の「齊民要術」（AD 650）にはすでに15品種が挙げられている（星川，1987）。生態的には熱帯諸地域には晩生の親芋用品種が多く，高温期の短い温帯では早生の子芋用品種が広く普及している。サトイモ属ではおもに *C. esculenta* および *C. gigantea* の2種が栽培化されている（中尾，1981）。品種の分類は形態的形質，生態的特性，球茎の食味等で行われ，我国で栽培されているサトイモについて熊沢ら（1956）は15品種群35品種に分類している。また，花器の形態と染色体数から *C. esculenta* は親芋型（*C. esculenta* var *esculenta*）および子芋型（*C. esculenta* var *antiquorum*）の2つの変種に分類する試みもある。アメリカを中心とした地域ではそれぞれ *dasheen*，*eddoe* とよばれ（Shanmugavelu，1985），親芋型は親芋が大きく子芋の着生は少なく，子芋型では逆に親芋が小さく，子芋が多く着生する（中尾，1981；高柳，1986）。染色体数では var *esculenta* は $2n=28$ で2倍体であり，var *antiquorm* は $2n=42$ で3倍体とされ，我国では両方の品種が栽培される。3倍体型は子芋利用品種であるが親子兼用種もあり連続的に変異がある（中尾，1981）。3倍体型のサトイモは中国と日本で古くから栽培されており中国起源と推定されている。3倍体の起源については4倍体と2倍体との交雑によるとする説（飛高，1971）もあるが現在まで野生種，栽培種を通じて4倍体サトイモに関する報告はなく，3倍体ではその野生種も存在することが判明しているため，3倍体は非還元配偶子の授精により2倍体から直接生じたものと推測されている。品種分類では新たに花序に関する形質を特性値として主成分分析やクラスター分析が行われている（Tanimoto，1983）。また，最近では形態に基づいた分類以外にアイソザイムやタンパク質を用いた生化学的手法による分類も行われ，さらにリボゾームやミトコンドリアのDNAの変異による分類（Mathew，1992）も行われるようになり品種の類縁関係がより詳し

く明らかにされようとしている。

サトイモは熱帯で同様に主食とされるキャッサバやヤム芋に比べ栄養学的にも優れており、熱帯では主食あるいは準主食となる重要な作物となっている地域がある（久木村・高柳，1985；久木村・高柳，1992）。球茎は収穫後の貯蔵が容易で主食あるいは副食としての用途は広い。主食としての利用は主に熱帯地域で行われ、焼食や蒸食の他、発酵したノリ状の食物としても用いられる。我国や中国では副食として利用され、多様な方法で調理される。また、地上部も若い葉、葉柄等が食用にされる。

サトイモは湿潤な気候に適し、湿地で良く生育し、台湾やポリネシア等の太平洋の島しょ部では湛水栽培も行われている（黄，1991）。しかし、灌漑により畑地でも良く生育する。土壌も火山灰土にもまた乾燥を防止すれば砂土でも良く生育する。さらに多くの野生のサトイモが半日陰に群生しているように日陰でも良く生育する耐陰性植物である。気温と土壌水分さえ確保できれば環境に対する適応性は広く栽培の適地は広い。我国では伝統的野菜に属するサトイモの栽培面積は戦後食事の洋風化に伴い減少しているが、多湿を好むことから近年では重要な水田の転作作物として生産が振興され、各地で産地が形成されている。

サトイモは栄養繁殖性の作物であり一般には栄養繁殖体である球茎を種芋として植えることにより栽培される。我国での収量は早熟栽培で70～100kg/a、普通栽培で100～300kg/aである。これに対して種芋は30～40kg/a必要とされる。したがって一般の栽培における増殖率は非常に低く収穫物のうち次回の栽培用の種芋とする割合も高い。このため増殖率は同じ芋類であるジャガイモの1/2にも満たない。また、1991年度の農産物生産費調査によれば生産費に占める種苗費の割合は穀類である水稻の約4%、小麦の7.7%に比べはるかに大きく、35%にも達する。特に熱帯で栽培される親芋用品種では分けつが少なく増殖率や生産性は非常に低くなっている（久木村・高柳，1985）。増殖率を上げるため球茎の分割、育苗による増殖法（松本，1988）も考えられているが飛

躍的向上は望めない。

我国におけるサトイモの作型分化は他の野菜に比べて少なく、農林水産省野菜・茶業試験場の調査試料（1988）によればハウスを利用した促成栽培はごく一部の地域で見られるにすぎない。サトイモは大型の葉を着生し、草丈が100～150 cmに達することから施設での高密度の栽培には不適である。さらに、品種には早晩があり、また、同一品種でも収穫期の幅が広く、貯蔵も容易であるためプラスチックトンネルによる早熟栽培を取り入れるだけでほぼ周年に近い供給が可能であることも作型の分化、作期の前進化を妨げている。しかし、貯蔵ものが品薄となりまた発芽して品質が不良になる春以降は価格が高くなるためこの時期に単位面積当たりの生産性の高い作型が開発できれば収益性は向上し新たな作型として定着するはずである。早熟栽培は生育を早めるため催芽した種芋をプラスチックトンネル内に移植する方法がとられ、ハウスでの栽培に比べ生産費を低く抑えることができるため西南暖地で行われている。しかし、サトイモは発根初期の水分の多い主根が切断されると側根の生育が弱いため催芽後すみやかに本圃に定植する必要がある（飛高，1977）。このため従来の催芽植えによる前進化にも限界がある。

近年、園芸作物の産地育成や施設化に伴い優良種苗に対する需要が増加している。一方バイオナーサリー（Bio-nursery：植物組織培養による種苗生産システム）に関する研究の進展により栄養繁殖性作物を中心に培養系を利用した種苗の大量増殖が可能となりつつある。すでに栄養繁殖性の花き、野菜類では培養苗が商業ベースで供給され始めている。サトイモでもウイルスフリー種苗の配布が一部で開始されるなど実用に近い技術となっている。しかし、従来の方法ではサトイモ培養苗は他の作物と同様に外部環境に適応させるため、ミスト装置等の環境制御が可能な施設を用いた順化が必要とされ、一般の生産者が培養苗を直接栽培に利用することはできない。また、作業が煩雑で大量の種苗を一時に植え出すことは困難である。このためウイルスフリー種苗は網室で二次増殖後、生産者に配布されている。しかし、網室の面積は限られ、また、栽

培での球茎の増殖率が低いため供給できる種苗の数は少ない。このため、大面積での栽培に対応するには大量増殖した培養苗を直接生産に用いる技術を確立する必要がある。培養系の利用により優良種苗の増殖を行い種苗を大量に供給することが可能になれば生産物をすべて消費できるため種苗の増殖率や生産性は飛躍的に向上する。また、種芋を介して伝播する病害虫の被害も減少すると考えられる。伝統的な野菜であるサトイモについてもこのような技術を利用した生産性の向上が望まれる。

サトイモは球茎を種芋として用いた栽培を行うため組織培養により大量増殖された種苗の栽培への利用では従来の栽培技術をそのまま利用することは困難である。培養苗の生育についてはサトイモでは網室で2次増殖したウイルスフリー種芋株の生育については詳しい報告がある（森下・山田，1984；Mori-shita，1988；長田・後藤，1989）ものの、培養苗を直接栽培した例は少なくその生育特性について詳しい調査は行われていない。また、培養苗は圃場への移植後も培養中に受けた環境や培地の影響が引き続いて現われ、慣行の種苗に比べ生育の様相が異なることがイチゴ，ユリ等で知られている。（新美，1984；Takayamaら，1982）。したがって、培養苗を利用した栽培を成立させるためには慣行の株と異なると考えられる培養苗の生理や生態的な解析が必要で、培養苗の生育特性をうまく利用した栽培方法の確立が望まれる。さらに、実用的技術とするためには均一な種苗を低価格で大量に供給する種苗生産技術体系の確立が必要である。

本研究はin vitroでの球茎形成により培養系を利用した球茎の大量増殖法を確立し、さらに培養球茎の順化・育苗法を確立して種苗生産システムとして発展させようとしたものである。また、培養球茎株の生育を生態的側面から解析し、特性を明らかにするとともにその特性を生かした栽培方法、作型を樹立することにより組織培養と栽培の分野を結び付け、生産性の向上に貢献しようとした。

本研究を遂行するにあたり御懇篤な御指導を賜った鳥取大学教授田辺賢二博

士，山口大学教授加古舜治博士，鳥取大学教授山根幹世博士，鳥取大学田村文男講師に衷心より御礼申し上げます。また，研究の実施につき適切な御助言と御協力を戴いた山口県農業試験場園芸部長加藤勉博士，生物工学班班長松本理博士，野菜研究室片川聖室長に厚くお礼申し上げます。さらに，成分分析に御協力いただいた鳥取大学農学部園芸学研究室の方々，栽培に御協力いただいた山口県農業試験場野菜研究室の関係各位，現地での実証栽培に御協力いただいた農業改良普及所および，多くの生産者各位に対し深く感謝の意を表します。

第 I 章 In vitro における球茎の形成

サトイモではこれまでに茎頂培養系が確立され、茎頂から再生された培養苗の順化・土壌への移植も行われている。しかし、いずれも培養した幼植物を順化する方法がとられている（森下，1978；松本1981；長田，1989）。我国で栽培されるサトイモの殆どの品種は3倍体であり、種子を形成せず（飛高，1977）増殖は栄養繁殖体である球茎により行われる。一般に栄養繁殖体は生育中の植物体に比べ低温や乾燥等，不良環境に対する耐性が強い。したがって，サトイモでもin vitroで培養苗に球茎を形成できれば，培養苗をそのまま用いる場合に比べて土壌への移植や順化が容易になると考えられる。同様に栄養繁殖性作物であるユリ，ジャガイモではin vitroでの球形や塊茎の形成条件が明らかにされている（Koda・Okazawa, 1983；王，1985；新美，1990）。また，培養苗を外部環境へ移す手段として栄養繁殖体を利用する方法が試みられている（Takayamaら，1982；秋田・高山，1989）。

本章ではin vitroでの球茎形成条件を明らかにするため品種‘石川早生’を用い培地組成および培養条件が培養苗の形態におよぼす影響について検討した。また，品種間差についても検討した。

材料および方法

実験 1. ショ糖濃度および光条件が培養苗の形態に及ぼす影響

品種‘石川早生’の茎頂部分約0.2mmを摘出してBA 0.02mg/l，NAA 0.02mg/lを添加したショ糖濃度3%MS液体培地で40日間培養して苗条を誘導した。これらの苗条をショ糖濃度8%のMS液体培地に移し，基部に球茎を形成した苗条を得た。次に球茎部分を3～4個に分割しショ糖濃度3%のMS培地に移して分割球茎から多数のシュートを伸長させた。シュートを個々に分割し，再び同様の培地で10日間培養し発根した苗条を得て試験に用いた。In vitroにおける効率的な球茎の形成条件を明らかにするため光条件を明条件（培養棚面における光量子束密度； $30 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ，16hr日長）および暗条件，培地のショ糖

濃度を3, 5, 8, 10%として25℃で40日間培養した後、培養苗の形態を調査した。

実験2. 浸透圧が培養苗の生長と形状におよぼす影響

実験1と同様の方法で得た発根した苗条を材料とした。ショ糖濃度2%MS液体培地にマニトールを濃度が0%から1%おきに7%まで添加し、浸透圧を変えた培地により培養を行った。200mlフラスコに培地を50ml入れ、苗条を10個体ずつ置床した。培養条件は実験1の明条件と同様とし、30日間培養した後、培養苗の形状を調査した。

実験3. 生長調節物質が培養苗の形態におよぼす影響

実験1と同様の方法で得た発根した苗条を材料とした。MSの固形培地（ゲルライト濃度0.2%）に第3表に示すように3種類の生長調節物質すなわちPP-333（Paclobutrazol）, S07（Uniconazol）およびBA（6-Benzylaminopurine）を添加し、9×9×9cmの大きさの培養容器に50mlずつ分注して用いた。苗条を各容器に10個体植え付け培養した。培養条件は実験1の明条件と同様とし40日間培養を行った後、培養苗の形態を調査した。

実験4. In vitroにおける球茎形成の品種間差

サトイモは球茎の利用部位や着生形態により親芋利用型品種、子芋利用型品種およびこれらの中間の親子兼用品種に分類される。我国で多く栽培される子芋利用型に属する品種群（林, 1973; 飛高, 1971; 熊沢ら, 1956）を代表していると思われる‘烏播’, ‘土垂’, ‘早生小蓮葉芋’, ‘石川早生’の4品種に加え変異系統1系統（親芋利用型）を用いた。このうち変異系統は‘石川早生’の培養中に誘発された変異個体を栽培に移し増殖した系統で子芋、孫芋の着生が極めて少なく親芋が肥大する系統である。これらの品種・系統のin vitroでの球茎形成について比較した。実験1と同様な方法で得た各品種系統の苗条を用い、ショ糖濃度8%MS液体培地50mlを入れた200mlフラスコに10個体ずつ置床した。実験1の明条件と同様の培養条件で40日間培養後、培養苗の生育を調査した。

結 果

実験1. ショ糖濃度および光条件が培養苗の形態におよぼす影響

培地のショ糖濃度と光条件による培養苗の形態の変化を第1表に示した。茎葉部の生育量はショ糖濃度が高くなる程小さくなった。球茎の大きさ、球茎重はショ糖5～8%で大きく、10%で最も小さかった。根重はショ糖5%で最大となった。光条件についてみると、暗条件下では明条件下に比べて茎葉部の生育量はショ糖10%を除く3～8%区で明らかに大きかった。球茎の大きさ、重さについては光条件による差はほとんどみられなかった。

実験2. 浸透圧が培養苗の生長と形状におよぼす影響

培地浸透圧が培養苗の生長におよぼす影響を調べた結果は第2表に示すとおりであった。培地へのマニトール添加量が多くなり浸透圧が上昇するにしたがい地上部の生育は抑制され、根の生育も不良となった。しかし、球茎の肥大はマニトール1～4%添加で無添加に比べ促進された。マニトールの添加量が6%以上では球茎は無添加に比べ小さくなった。培地浸透圧はショ糖2%+マニトール2%がショ糖5%単独添加培地に近く、ショ糖2%+マニトール4%がショ糖8%単独添加培地に近かった。これら浸透圧が同程度の培地での苗条の生育を比較すると、地上部はほぼ同程度の生育を示すが球茎の肥大はマニトールで浸透圧を調整した培地ではショ糖単独の培地での肥大におよばなかった。

実験3. 生長調節物質が培養苗の形態におよぼす影響

PP-333やS07を培地に添加した場合、培養苗の草丈は無添加の培地に比べ低くなった(第3表)。同濃度の場合、PP-333に比べS07の方がより草丈の抑制効果が高かった。地上部の重量はS07では無添加に比べ低くなったがPP-333では無添加と差が認められなかった。地下部の生育では根の生育はPP-333およびS07の添加で促進されたが球茎の肥大にはむしろ抑制的であった。培地にBAを添加した場合は地上部、地下部ともに無添加に比べ生育が劣り、球茎の肥大も小さかった。

実験4. In vitroにおける球茎形成の品種間差

第1表 光条件および培地シヨ糖濃度が苗条の生育におよぼす影響

光条件	シヨ糖濃度 (%)	葉重 (mg)	球茎重 (mg)	球茎直径 (mm)	根重 (mg)
明	3	531 b ^z	613 a	8.4 a	922 b
	5	384 b	1099 b	11.1 b	1524 c
	8	214 a	1013 b	10.8 b	738 b
	10	298 a	638 a	8.8 a	123 a
暗	3	1396 d	697 a	7.4 a	1031 b
	5	691 c	977 b	10.5 c	1434 c
	8	422 b	1073 b	11.5 d	714 b
	10	200 a	590 a	8.4 b	112 a

^z ダンカンの多重検定5%水準.



第1図 基部に球茎を形成した培養苗

第2表 培地浸透圧が培養苗の生育におよぼす影響

ショ糖濃度 (%)	モニター濃度 (%)	培地浸透圧 (osmol/kg)	草丈 (mm)	葉重量 (mg)	球茎直径 (mm)	球茎重量 (mg)	根重量 (mg)	根長 (mm)
2	0	0.161	103.2 f	609 g	6.2 cd	281 cd	725 e	210 f
2	1	0.219	75.0 e	312 f	6.7 de	321 de	671 e	163 e
2	2	0.279	50.0 d	185 e	7.1 e	346 e	441 cd	112 d
2	3	0.349	37.7 c	135 cde	7.0 e	324 de	361 bc	91 c
2	4	0.407	31.5 bc	107 bcd	6.8 e	315 de	313 b	52 b
2	5	0.480	24.1 b	77 abc	6.1 c	241 bc	133 a	43 b
2	6	0.551	14.2 a	53 ab	5.5 b	217 b	56 a	22 a
2	7	0.613	8.9 a	21 a	4.4 a	115 a	38 a	21 a
5	0	0.276	53.7 d	165 de	8.2 f	474 f	515 d	93 c
8	0	0.409	26.5 b	81 abc	8.1 f	466 f	139 a	40 b

z ダンカンの多重検定5%水準。

第3表 生長調節物質が培養苗の形態におよぼす影響

添加生長調節物質	草丈 (mm)	地上部重量 (mg)	球茎直径 (mm)	球茎重量 (mg)	根長 (mm)	根重量 (mg)
PP-333 1mg/l	32 b ^z	256 c	8.2 b	557 b	66 b	822 d
S07 1mg/l	19 a	140 b	7.9 b	543 b	53 a	684 c
BA 2mg/l	17 a	75 a	5.9 a	362 a	50 a	139 a
無添加	58 c	258 c	8.6 c	658 c	78 c	498 b

^z ダンカンの多重検定 5%水準。

第4表 品種・系統の培養球茎の大きさ

品種・系統	球径 (mm)	球重 (mg)
烏播	10.9 d ^z	1291 d
土垂	8.8 c	653 b
早生小蓮葉芋	7.7 b	612 b
変異系統	6.8 a	438 a
石川早生	9.2 c	756 c

^z ダンカンの多重検定 5%水準。

In vitroでの球茎の形成，肥大は第4表に示すとおり品種・系統間で差が認められた。子芋利用型品種で個々の球茎重がとりわけ大きい特性を持つ‘烏播’は in vitroでも大きい球茎を形成した。親芋利用型の変異系統の球茎重は他の品種に比べて小さかった。

考 察

培養苗の地上部の形態について本條・高倉（1987）はシンピジュウムで，Takayamaら（1982）はユリで，山本・松本（1990）はハスで，いずれも培地シヨ糖濃度を高めるにしたがい地上部の生育が抑制されることを報告している。サトイモでも同様にシヨ糖濃度が高くなると草丈，地上部の生育量ともに小さくなった。培地シヨ糖濃度が in vitroでの栄養繁殖体形成におよぼす影響については種々検討されている。ジャガイモでは6～8%のシヨ糖濃度が塊茎の形成に必要であるとされている（高山，1985；Hu・Wang，1982）。ハスでは培地シヨ糖濃度が高くなるに従い節間が短縮した肥大根茎を形成する（山本・松本，1990）。また，他の栄養繁殖性作物についてササユリ子球の肥大についてはシヨ糖濃度8～10%（河原林，1991）が，ナガイモ塊茎の形成には8%（在原・原田，1990）が，さらにショウガでは根茎の形成に8%（藤岡，1992）がそれぞれ適することが明らかにされている。これらの結果はいずれも高濃度のシヨ糖を含む培地において貯蔵器官である栄養繁殖体の形成，肥大が促進されることを示している。サトイモも他の栄養繁殖性作物と同様の傾向を示し，培地シヨ糖濃度が高くなるにしたがい貯蔵器官である球茎の肥大が認められた。

光条件に対する反応は作物の種類により異なるが，培養時の光条件も栄養繁殖体の形成に影響することが明らかになっている。スイセン（Steiniz・Yahel，1982），イースターリリー（Stimart・Asher，1978）ではそれぞれ暗黒条件下が適するとされている。しかし，サトイモ‘石川早生’では球茎の肥大については光条件の違いによる差はわずかであった。暗黒条件下では地上部が徒長して葉の重量が大きくなることから光条件は明条件が適すると考えられる。

これらの結果からホルモンフリーMS液体培地を用いた静置培養条件としては

明条件、ショ糖濃度8%が球茎の肥大を良くし、茎葉および根の生育を抑制するという目標に最も適合した。

培養苗の地上部は実験2の結果に見られるように培地にマニトールを添加し、浸透圧を高めた場合にもショ糖濃度を上げた場合と類似した生育を示した。しかし、球茎の肥大についてはマニトールで培地浸透圧をショ糖濃度を上げた場合に相当する値にしてもショ糖の場合と同程度の効果は認められなかった。浸透圧の影響についてはジャガイモの塊茎形成についても同様の結果が得られている(高山, 1985)。また、テッポウユリでは山形ら(1990)がソルビトールを用いて培地浸透圧を変えて試験を行い、球根の形成に関し培地の初期浸透圧が0~8 atmの範囲では殆ど変化がなく、浸透圧の影響が小さいことを報告している。サトイモ球茎の肥大についても培地の浸透圧は地上部の生育抑制を通して関与するが、浸透圧の効果だけでは説明できなかった。球茎の肥大は培地浸透圧とショ糖自体の栄養としての利用による効果と考えられる。

培地に添加する生長調節物質も栄養繁殖体の形成に影響する。ジャガイモではサイトカイニンの影響が大きく、暗黒条件下では高濃度のサイトカイニンが塊茎の形成に必要とされる(高山, 1985)。また、作物により栄養繁殖体の形成を促進する生長調節物質の種類と濃度は異なり、タマネギではNAAとBA(Matsubara, 1991)、カンランではNAAとKinetin(Hasegawa, 1987)、ユリではNAAとごく低濃度(0.001mg/l)のBAが子球や根茎の肥大を促進することが報告されている。これに対して地上部の生育を促進するGAについてはジャガイモ(高山, 1985)やタマネギ(Matsubara, 1991)でそれぞれ塊茎および球茎の肥大に抑制的に働くことが明かにされている。サトイモではBAおよび生長抑制物質であるPP-333(上野, 1989)、S07(泉ら, 1989)を培地に添加した結果はいずれも球茎の肥大を促進する効果は認められていない。しかし、S07では地上部の生育を大きく抑制する作用があることから培養器当たりの置床数や培地当たり培養個体数を増やせる可能性があり、今後大量増殖での利用についてさらに検討する必要がある。サトイモでは茎頂からの苗条誘導にはNAAやBA

等のホルモンの培地への添加が必要である (Morishita, 1988)。しかし, 球茎形成は生長調節物質無添加でも培地のショ糖濃度を上げることで容易に促進されることが明らかになった。

第Ⅱ章 培養苗の順化・土壌への移植

第1節 培養苗の形状が移植後の生育におよぼす影響

組織培養によって生産される種苗は培養器内の高湿度、富栄養条件下で生育するため、環境ストレスに弱く、培養器から外部への移植時の環境の急激な変化に順応することが困難である。培養苗をそのまま植え出した場合は活着率の低さや移植後の生育の不良が問題になる。このため徐々に外部環境に慣らしていく順化の過程では培養苗の生理機能に応じたきめ細かい環境調節が必要である。したがって、順化には湿度制御のためミストなどの装置を必要とし、光および気温等も必要に応じ制御される。一方、培養に用いた培地や培養環境、順化前の前培養、苗の形態等により順化が容易になり活着率も高くなることが報告されている（Wardelら，1983；山本・松本，1990）サトイモでは第1章で述べたように培地のショ糖濃度や培地に添加するホルモンの組成、濃度の違いにより葉や球茎の生育が異なる様々な形状を持つ培養苗を得ることができる。これら形状の異なる培養苗は環境ストレスに対する耐性にも差があることが予想される。

従来の培養、順化方法ではサトイモは他の作物と同様に外部環境に適応させるため、ミスト装置等の環境制御が可能な施設を用いた順化が必要とされ、したがって作業が煩雑で大量の種苗を一時に植え出すことは困難である。このため現在、サトイモのウイルスフリー種苗は網室での栽培により二次増殖した後、種芋を生産者に配布する方法が取られている。

本章では大量の培養苗を直接栽培用に供給する目的で培養苗の簡易な順化法について検討を加えた。

材料および方法

実験1. 培養中の矮化剤処理が移植後の生育におよぼす影響

実験にはショ糖濃度8%MS固形培地へS07, PP-333を1 mg/l添加して培養した苗および生長調節物質無添加で培養した苗を用いた。培養終了後、培地を

水で洗い流し、1990年5月10日にプラグトレイ（40×40×57mm；88穴）へ移植し、25℃温室内で順化した。寒冷紗による遮光やミストによる加湿は行わず、一般の育苗と同様の環境で管理した。20日後に苗の活着、生育状況を調査した。

実験2. 球茎部分の移植と移植後の生育

ショ糖濃度8%MS液体培地で得られた培養苗から葉および根を切除した重さ約1gの球茎部分（培養球茎：第2図）を1990年5月10日に実験1と同様のプラグトレイへ植え込んだ。プラグトレイは25℃温室内に置き実験1と同様に管理し、30日後に苗の生育を調査した。

結果および考察

実験1では第5表に示すように移植した苗はすべて活着し、枯死個体は見られなかった。しかし、移植後の培養苗の状態を比較すると、S07、PP-333添加培地で培養した苗は土壌へ移植後枯死した葉は少なく、葉の展開も順調に進んだ。これに対し、生長調節物質無添加の培地で得られた苗は移植後の葉の枯込みが大きく、新葉の展開が遅れた。これら生長調節物質添加培地間の差を調査比較したところS07添加培地で得られた苗はPP-333添加培地で得られた苗に比べ移植後の枯死葉数が少なかった。

生長調節物質を含んだ培地で培養し、葉面積が小さい培養苗でも土壌への移植後枯死する葉が見られた。このことは移植後の生育の遅延、不揃いを来すことになり効率良く苗を生産する上で好ましくない。このため、実験2では葉を持たない培養球茎を用いて土壌への移植を試みた。その結果培養球茎の土壌への移植では移植したすべての球茎が出芽して生育を開始した。30日間の育苗で第6表および第3図に示す葉令4.2枚、草丈6.3cmの、生育の揃った苗が得られた。これらは圃場への定植に十分の大きさであると考えられた。

培養苗の植え出し・土壌への移植時の活着率を高め、移植後の生育を進めるための方法として、従来、生育環境を培養苗の生理状態に合わせる順化が行われてきた。一般に培養苗は外部環境で生育する植物に比べクチクラワックス（cuticle wax）の形成が不良であり（Meira・Halevy, 1982；Sutter・Lang-



第2 図 培養球茎

第5 表 培地に添加した生長調節物質が移植後の生育におよぼす影響

添加生長調節物質	展開葉数 (枚)	生存葉数 (枚)	枯死葉数 (枚)	活着個体率 (%)
S07	3.1 b ^z	2.5 b	0.6 a	100
PP-333	3.2 b	2.0 b	1.2 b	100
無添加	2.2 a	0.6 a	1.6 c	100

^z ダンカンの多重検定5%水準.

第6表 培養球茎の30日間育苗により得た苗の生育状況

草丈 (cm)	葉令	葉長 (cm)	葉幅 (cm)	地上部生体重 (g)
6.3 ± 0.5^z	4.0 ± 0.2	4.1 ± 0.3	4.0 ± 0.2	2.7 ± 0.2

^z 平均値±標準偏差.



第3図 培養球茎の30日間育苗により得た苗

hans, 1978) また、気孔の機能も十分発達していない (Brainerd・Fuchigami, 1981; Donnelly・Skelton, 1989)。このため培養器外への移植時には水ストレスを受けることになる。近年大量増殖に対応した順化装置の開発も進められている (古在ら, 1987)。

最近では移植時の水ストレス耐性付与とともに培養苗の栄養相 (従属栄養から独立栄養へ) の転換をスムーズに進める目的で、通気膜の利用や培養器内の強制的な換気、CO₂ 施用についても研究が行なわれている。荒井ら (1989) はイチゴで培養中にCO₂ を施用することにより乾物率が高く、順化率も高い生育の良好な素質の苗が得られたことを報告している。古在ら (1987) はシンビジウムを用いた試験の結果から、培養器内環境のうち特にCO₂、光、湿度および無機養分環境を光合成に適するように制御すれば、光独立栄養が可能であるとしている。また、Jungnickel (1988) はイチゴ培養苗の植え出し前の最終段階の培養にはサイトカイニンとアンモニウムイオンを除き、ショ糖濃度の低い培地が適するとし、このような培地ではショ糖が完全に消費されると植物は光独立栄養に移行するとしている。これらは培養器内での順化といえる。一方、培養苗の形態は培地組成や植物ホルモンの組成・濃度等により変化することが知られている (Meira・Halevy, 1982; 新美, 1984; Takayama ら, 1982)。培養苗の形態を変えることにより蒸散を抑制し、水ストレス耐性の苗を作出する方法も移植時の生存率を高めるのに有効であると考えられる。サトイモでは培地に矮化剤であるS07, PP-333を添加して培養した苗は矮化剤無添加の培地で培養した苗に比べ移植後の植え傷みが少なかった。第I章実験3の結果に示すように矮化剤添加培地で培養した苗は地上部の生育が抑制され、葉も小さい。したがって、移植時に葉から失われる水の量がわずかであり、水分環境の急変による水ストレスを回避できることが移植後の生育が順調に進む原因の一つであると考えられる。さらにサトイモでは球茎部分のみを利用することにより移植時の水分の損失をより少なくすることができた。培養球茎の温室内育苗では生育の揃った苗が得られた。これらのことからサトイモではショ糖濃度を高め

ることによって形成した球茎を移植すれば特別な施設や装置を用いることなく効率的で簡易に順化培養苗の養成が可能と判断される。

ウイルスフリー株は生産性が優れることが報告され（森下・山田，1984；長田・後藤，1989）一部で種芋の配布が行われている。しかし，従来の方法ではウイルスフリー化した培養苗を順化後原種として網室で栽培し増殖する必要があるため増殖の能率がきわめて低く，しかも種芋として生産者が利用するまでには少なくとも2～3年を要している。また，このようなシステムでは一度に多量の種芋を供給することは困難である。これに対し，培養球茎は小規模な施設でも大量に増殖することが可能である。また，培養球茎を種芋として利用することにより生産されたウイルスフリー苗を生産者が直接栽培できるようになる。

第2節 培養球茎の予措法

種子では、発芽率を高め初期生育を進めるため、播種前の予措が行われることがある。水稲やハウレンソウの種子では発芽を揃えるため播種前に浸種が行われ、高温期に播種するレタスでは発芽適温付近の温度で催芽を行う。栄養繁殖性作物においてもジャガイモではGA (Gibberellic acid; GA₃) で塊茎を処理した場合、発芽が促進されその後の生育も旺盛となり増収になることが認められている (斉藤, 1973)。バイオナーサリーシステムの開発に関する研究では育苗中の生長調節物質処理によるトマト苗の小型化やアスパラガスの花芽分化制御について成果が得られている (山崎・斉藤, 1992)。サトイモの培養球茎についても、予措処理により移植後の生育を促進できれば育苗期間の短縮により育苗施設の効率的利用を図ることが可能となる。

材料および方法

第I章実験3により得られた培養苗の球茎部分を用いて実験を行った。移植前の予措処理が移植後の生育におよぼす影響を調査するため、土壌への移植前の予措として第7表に示すように純水, GA 2 mg/l, エスレル 100 mg/l に球茎を浸漬処理した。いずれも25°Cで48hr処理した後、プラグトレイ (40mm×40mm×57mm; 88穴) へ移植した。対照として無処理の球茎をそのまま移植した。25°C温室内で30日間育苗後、苗の地上部、地下部の生育を調査した。

結果および考察

通常の栽培で得られたユリ子球やジャガイモの塊茎などの栄養繁殖体には休眠があり、*in vitro*で形成したものにも休眠が認められている (高山, 1985; Takayamaら, 1982)。このためこれらの球茎や塊茎では低温での休眠打破が必要である。ヒメサユリ培養子球では低温処理とGAによる浸漬処理を組み合わせることにより短期間に休眠打破ができることが報告されている (新美, 1988)。サトイモでも通常の栽培により得られた球茎は収穫直後には発芽しないが本実験で得た培養球茎は適当な温度と水分があれば移植後ただちに生育を開始することから培養球茎には休眠はないと考えられた。したがって低温やホルモンを

用いた休眠打破のための処理は行う必要がない。

生長調節剤無添加で培養した球茎ではGAおよび純水で処理した区は第7表および第8表に示すように無処理区に比べ地上部および地下部の生育が優れた。しかし、エスレル処理の効果は認められなかった。S07, PP-333 を添加して培養した球茎では純水に比べGAで処理した区が地上部、地下部ともに生育が優れた。S07, PP-333 はいずれもGAの生合成阻害剤であるがGA活性を抑える作用はない（上野, 1989）ためGA処理により生長抑制作用は打ち消すことができた。第I章で述べたとおり、矮化剤添加培地で培養すると地上部の生育が抑制され培養器当たりの培養個体数を増やすことが可能になる。したがって、GAでの予措と組み合わせることにより定植用培養苗の効率的な生産を行うことができると考えられる。しかし、GAはサトイモに花成を誘導したり（Wilson, 1981; Katsura, 1986; 宮崎ら, 1986）球茎の形状に影響する（桂ら, 1989）ため、GAの予措への利用には注意が必要で慎重にならざるを得ない。BAを添加して培養した区では得られる球茎が小さく、地上部、地下部の生育ともに他の区に比べ劣った。また、GAによる処理の効果も認められなかった。

以上のことから順化前の予措として生長調節物質無添加で培養した球茎では純水とGAの処理間の差が小さいことから純水のみでの処理で十分であるとみなされた。また、培養の効率を高めるため培地に矮化剤を添加して培養した球茎の場合は順化前の処理（予措）にGAを用いることにより育苗期間を短縮でき、施設の効率的運用が可能になると考えられた。

第7表 順化前処理が地上部の生育におよぼす影響

培地生長調節物質	順化前処理	草丈 (cm)	葉長 (cm)	葉令	地上部重 (mg)
無	無処理	6.2 b ^z	4.1 cd	4.0 c	2771 cd
	純水	6.9 c	4.1 cd	4.2 cd	3282 e
	GA 2mg/l	7.2 c	4.3 de	4.3 cd	3089 de
	エスレル100mg/l	6.2 b	3.8 c	4.2 cd	2497 c
S07 1mg/l	純水	6.0 b	4.1 cd	4.5 d	2623 c
	GA 2mg/l	7.4 c	4.3 de	4.0 c	3164 e
PP-333 1mg/l	純水	7.3 c	4.3 de	3.7 b	3032 de
	GA 2mg/l	8.3 d	4.6 e	4.0 c	3692 f
BA 2mg/l	純水	4.1 a	2.8 b	3.6 b	1572 b
	GA 2mg/l	3.8 a	2.3 a	3.2 a	1048 a

^z ダンカンの多重検定 5%水準.

第8表 順化前処理が地下部の生育におよぼす影響

培地生長調節物質	順化前処理	茎基部直径 (mm)	根重 (mg)	第1次 分けつ数
無	無処理	7.7 cd ^z	1321 c	0.9 bc
	純水	8.6 fg	2044 e	1.8 e
	GA 2mg/l	7.9 cde	2023 e	1.5 d
	エスレル100mg/l	6.9 b	1118 c	0.1 a
S07 1mg/l	純水	7.4 bc	1732 d	0.4 a
	GA 2mg/l	8.1 de	2089 e	0.5 ab
PP-333 1mg/l	純水	8.4 ef	2147 e	1.1 cd
	GA 2mg/l	9.0 g	2760 f	1.1 cd
BA 2mg/l	純水	4.9 a	665 b	0.2 a
	GA 2mg/l	4.4 a	341 a	0.1 a

^z ダンカンの多重検定 5%水準.

第Ⅲ章 培養球茎株の生育特性

第1節 培養球茎株に認められる特性

培養球茎は大きさが約1 g程度であり、一般の栽培で種芋として用いられる球茎(50~60 g)に比べ非常に小さい。ヤマユリでは培養球茎を種球として栽培した場合、開花に至るまでに3作を要することが報告されている(Takayama・Ohkawa, 1990)。また、培養中に受けた環境や培地の影響も順化後まで残り、生育に影響することが予想される。このため培養球茎を実際の栽培に用いるためにはまず、培養球茎の生育特性を明らかにしておく必要がある。本節では培養球茎から生育した株(以下、培養球茎株と呼ぶ)と慣行の栽培に使用する球茎から生育した株(以下、慣行球茎株と呼ぶ)の生育を比較した。

材料および方法

実験1. 培養球茎株の生育特性

ショ糖濃度8%のMS液体培地で培養して得られた直径10mm、重さ約1 gの培養球茎を栽培試験用の種芋として用いた。1988年4月14日に培養球茎を露地圃場へ重さ60gの慣行球茎とともに定植した。栽植密度は120 cm×30 cmとし、生育に応じて3回土寄せを行った。肥料はN, P₂O₅, K₂Oをそれぞれ定植前に2 kg/a, 2回目の土寄せ時に0.5 kg/a施用した。生育期間中は地上部の生育について調査し、11月上旬に掘り上げて球茎の着生数、収量および形状等を調査した。

実験2. 種芋の大きさが生育特性におよぼす影響

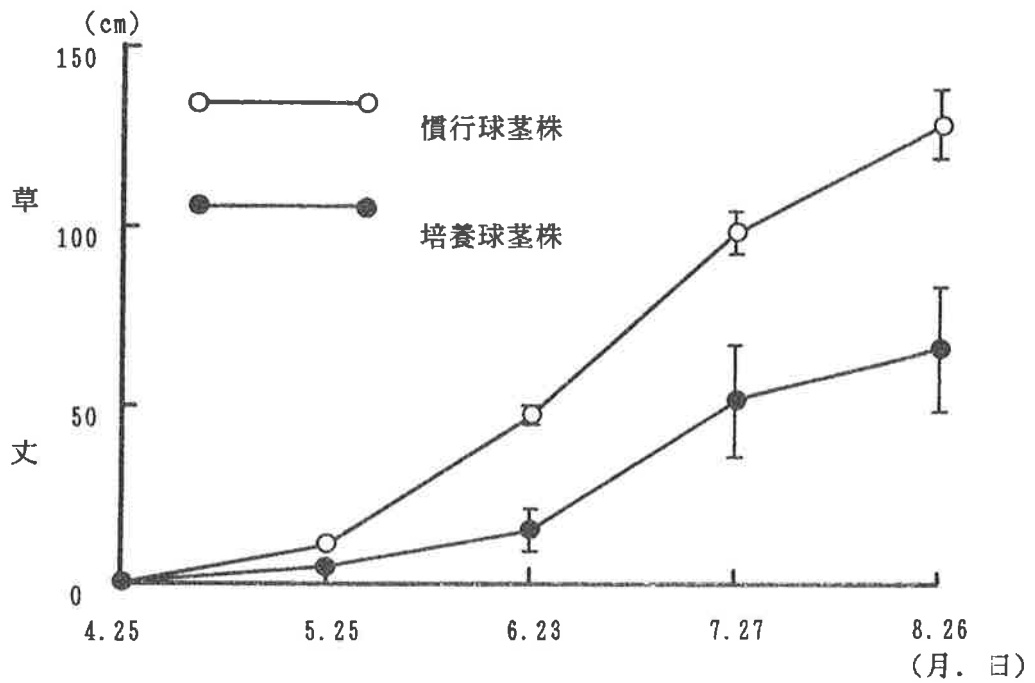
種芋としては培養球茎、培養球茎の生育初期に乾燥処理を施して形成した小球茎(順化球茎)、慣行球茎株に着生した小球茎(慣行小球茎; 2.0 g)および慣行球茎の4種の球茎を用いて栽培し、生育を調査した。このうち順化球茎は培養球茎を土壌へ移植後温室内25℃で育苗し、葉数が6枚時に灌水を止めて土壌を乾燥させ、地上部が枯死して基部に形成した約1.6gの大きさの球茎を用いた。いずれも1989年4月25日に直接圃場へ定植して栽培した。施肥、土寄せ

等の栽培管理，生育，球茎の調査は実験1と同様に行った。

結果および考察

地上部の生育は第4図に示すように培養球茎株が小さく8月26日の草丈は慣行球茎株の約 $1/2$ であった。培養球茎株の地上部への出芽は慣行球茎株に比べて不揃いであり個体間の生育の変動は慣行球茎株より大きかった。第9表に示すように球茎収量は全芋重量では培養球茎株が小さかった。しかし，培養球茎株の親芋重量は慣行球茎株の約 $1/4$ で，収穫対象部分の収量（子芋重量－孫芋重量＋ひ孫芋重量）では両者の間に有意な差は認められなかった。第9表および第5図に示すように培養球茎株は慣行球茎株に比べて子芋，孫芋では重量の差は無いが着生数が多くなり個々の芋が小さくなる傾向があった。孫芋の重量別分布は第6図に示すように両者は良く似た分布を示したが，子芋の重量別分布では第7図に示すように慣行球茎株では小さいものから100gを超える大きいものまで一様に分布するのに対し，培養球茎株では慣行球茎株の孫芋に似た分布を示した。なお，慣行球茎株では子芋よりも孫芋の方が品質が良いとされている。子芋の形状は第8図に示すように慣行球茎株には縦径／横径の値が大きい長形やエビ形の芋も見られたが培養球茎株ではこの値が小さく球形で形の優れた芋が多く得られた。

実験2では大きさの異なる種芋や球茎の生育条件と培養球茎株の特性について調査した。地上部の生育は第9図に示すように生育初期は種芋の大きい慣行球茎株が大きく他の株はいずれも劣った。しかし，順化球茎株，慣行小球茎では7月24日以降生育が旺盛となり，9月13日には慣行球茎株に近くなった。また，培養球茎株は他に比べ地上部の枯れ込みが早くから進み第10表および第10図に示すように収穫時（10月25日）の地上部重は非常に小さくなった。球茎収量では親芋の大きさは第10表に示すように培養球茎株は他の株より小さく順化球茎株および慣行小球茎株は慣行球茎株と培養球茎株の中間程度の肥大であった。子芋，孫芋の着生数は慣行球茎株では少なく，他の株ではこれより多くなった。子芋，孫芋の重量については種芋の種類による有意な差は認められな



第4 図 培養球茎株および慣行球茎株の地上部の生育

第9 表 培養球茎株と慣行球茎株の収量構成

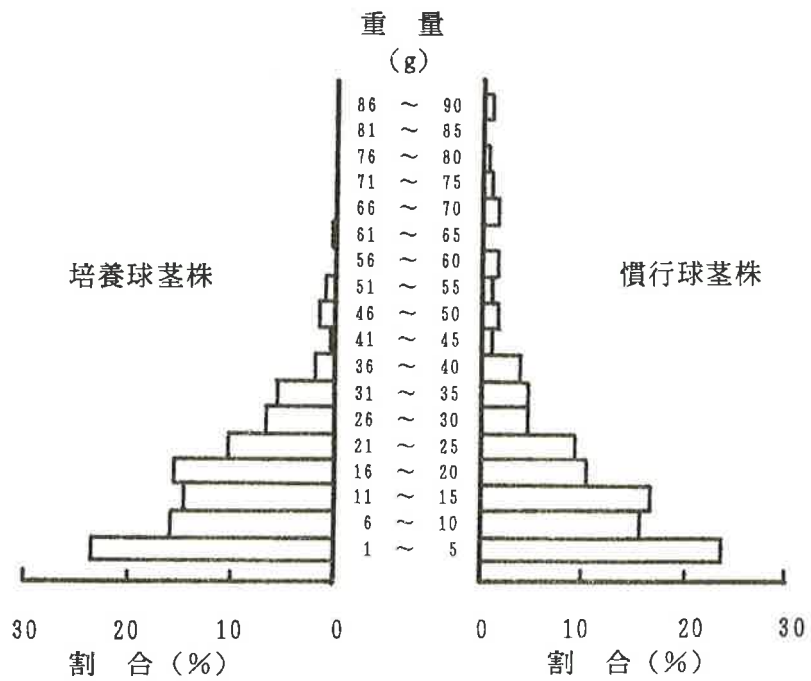
球茎の 種 類	球茎重 重量 (g)	親芋重 量 (g)	子 芋 個数 重量 (個) (g)		孫 芋 個数 重量 (個) (g)		ひ孫芋 個数 重量 (個) (g)		収 量 ² (g)
培養球茎	1030.6	113.1	14.4	395.0	25.5	473.1	5.5	49.4	917.5
慣行球茎	1302.6	437.0	9.1	532.9	17.2	325.9	1.3	9.8	866.0
	*	**	*	NS	*	NS	NS	NS	NS

² 子芋重+孫芋重+ひ孫芋重

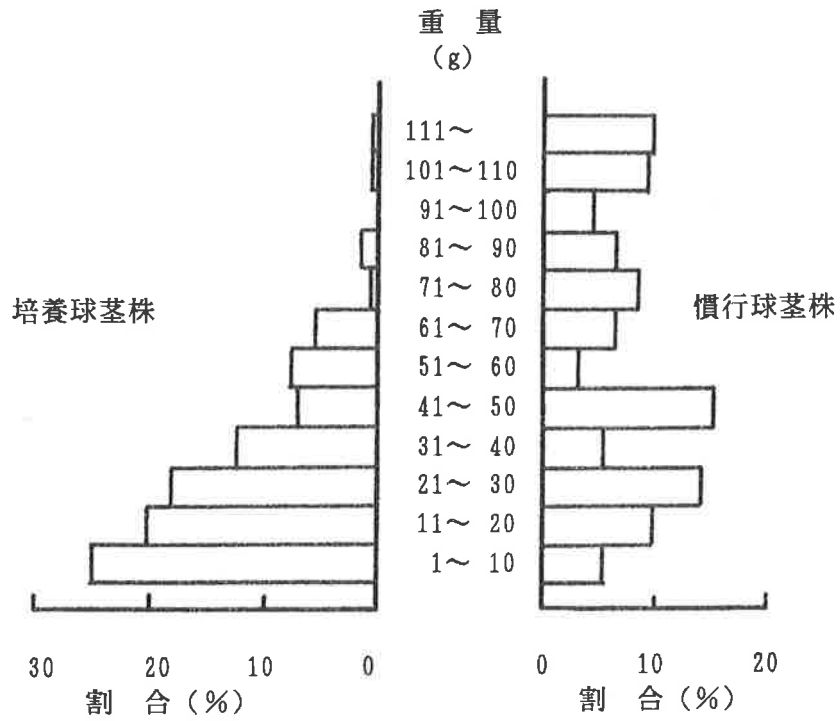
** ; $P < 0.01$, * ; $0.01 < P < 0.05$, NS ; 有意差なし
値はすべて株当たりの数量



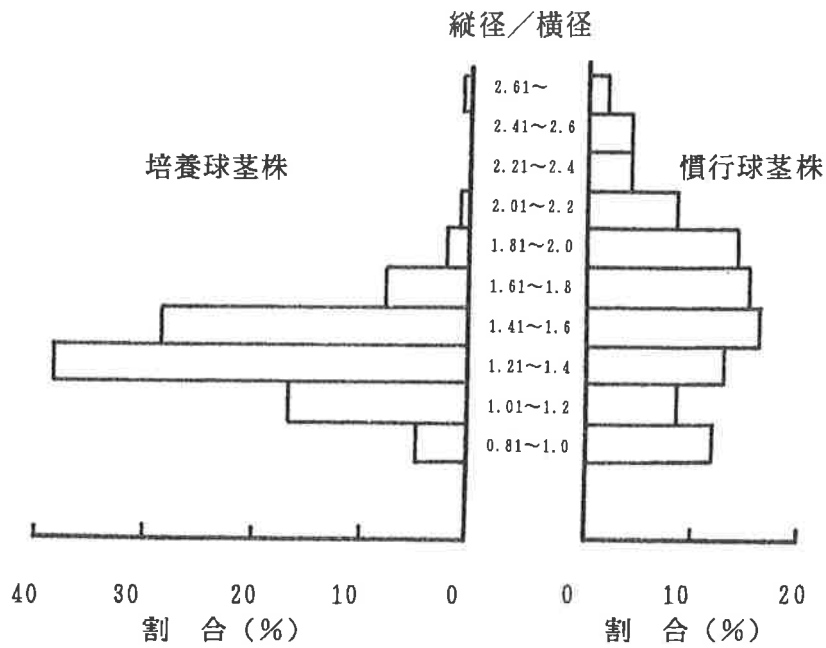
第5 図 収穫時における球茎の着生状況
 左：慣行球茎株，中央が親芋．右：培養球茎株，親芋は中心部にあるが外部からは見えない．



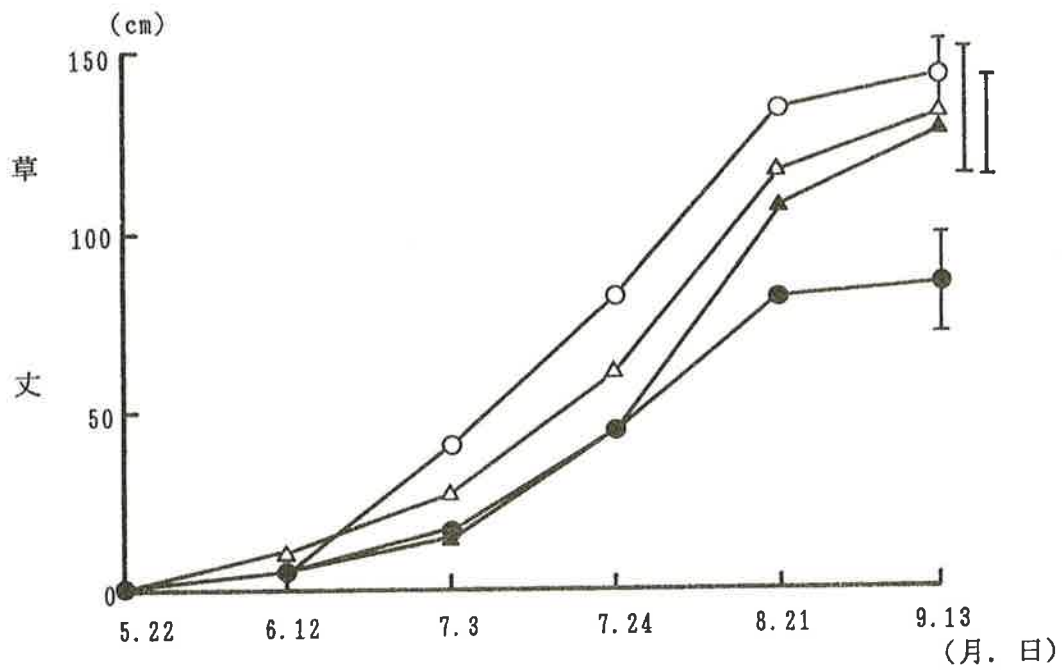
第6 図 培養球茎株および慣行球茎株における孫芋重量の分布



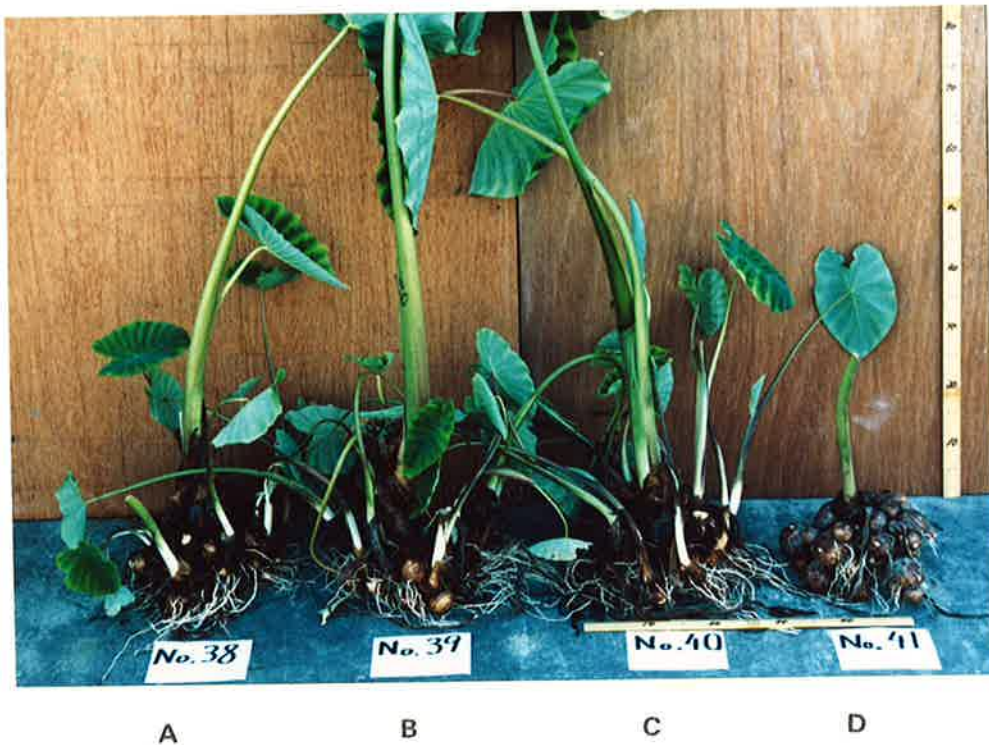
第7 図 培養球茎株および慣行球茎株における子芋重量の分布



第8 図 培養球茎株および慣行球茎株に着生した子芋の形状の差



第9図 前歴および大きさの異なる種芋を用いた株の生育
 ●：培養球茎株，▲：順化球茎株，△：慣行小球茎株。
 ○：慣行球茎株。



第10図 種芋の種類による地上部の生育の差異
 A：慣行小球茎株，B：慣行球茎株，
 C：順化球茎株，D：培養球茎株。

第10表 種芋の種類による地上部および地下部の生育特性 (1989年)

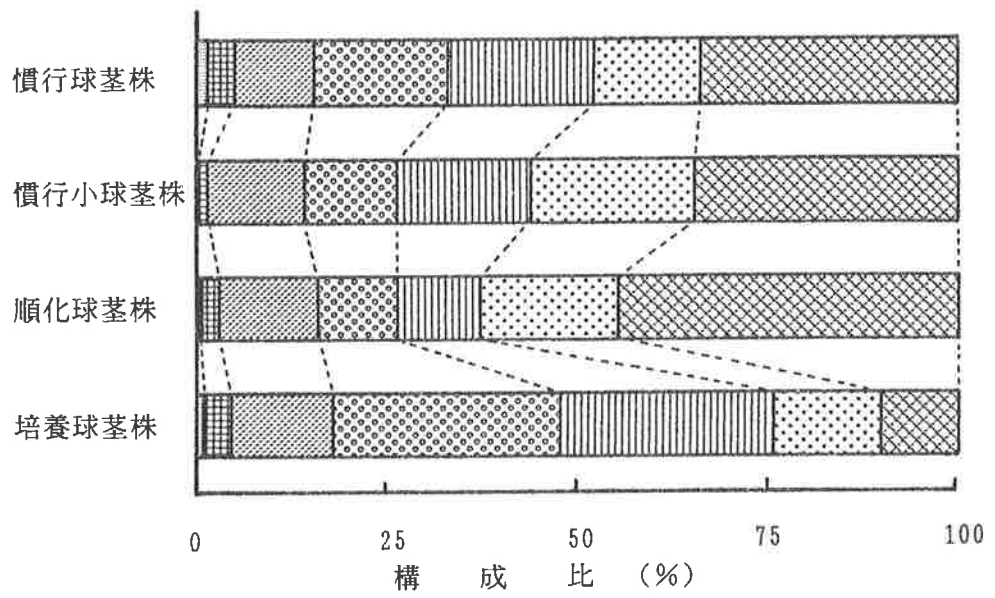
種芋の種類	地上部重量 (g)	親芋重量 (g)	子芋		孫芋		ひ孫芋		収量 ²⁾ (g)
			個数 (個)	重量 (g)	個数 (個)	重量 (g)	個数 (個)	重量 (g)	
培養球茎	96.9 a ²⁾	147.3 a	11.8 a	448.7 a	22.8 b	518.7 a	0.7 a	6.6 a	974.0 a
順化球茎	592.4 b	267.0 b	13.1 a	540.1 a	21.4 b	454.5 a	1.2 a	10.7 a	1005.3 a
慣行小球茎	579.6 b	275.4 bc	12.2 a	474.6 a	22.1 b	470.6 a	0.0 a	0.0 a	945.2 a
慣行球茎	625.3 b	321.1 c	9.9 a	470.8 a	15.5 a	436.5 a	0.2 a	1.7 a	909.0 a

²⁾ ダンカンの多重検定, 同文字間に有意差なし.

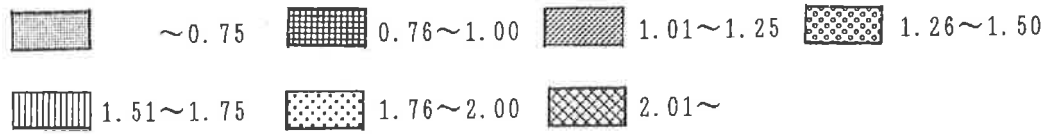
³⁾ 子芋重+孫芋重+ひ孫芋重.

値はすべて株当たりの数量.

った。順化球茎株および慣行小球茎株の子芋の形状は第11図に示すように細長いもの、すなわち数値の高いものが多く、慣行球茎株と比べても不良であった。長田、後藤（1989）はウイルスフリー株と在来株の生育を同程度の大きさの種芋を用いて比較し、ウイルスフリー株は地上部の生育が良く草丈も高いことを報告している。また、着生する球茎の形も長くなる傾向があるとしている。しかし、本実験で培養球茎を直接栽培に用いた場合は逆に地上部の生育は小さく、地上部の枯れ込みも早くから進んだ。また、地上部の生育に比べ地下部の割合は大きくなった。実験に用いた培養球茎、順化球茎はいずれもウイルスフリーであるがこれらの間では地上部の生育が明らかに異なり、培養球茎株の特性の変化がウイルスフリー化単独の影響とは考え難い。種芋が小さいと子芋、孫芋の着生数が増加し、親芋が小さくなる傾向があることが明らかになり培養球茎株の子芋、孫芋数の増加は種芋の大きさが影響していることが明らかになった。しかし、培養球茎株の地上部生育量は種芋の大きさがほぼ同じであるのに対して順化球茎株、慣行小球茎株に比べ明らかに小さかった。順化球茎株、慣行小球茎株ではともに慣行球茎株に似ていた。さらに、子芋の形は第11図に示すように順化球茎株、慣行小球茎株では最も長く、次いで慣行球茎株、培養球茎株の順となり、培養球茎株の子芋の形状は他と異なった。これらの結果は種芋の大きさだけでは説明できない。球茎の形状では土寄せ等による地下部の環境条件が影響することが知られている（小河原、1944）。しかし、本実験では同程度の大きさの種芋を用い同様に土寄せを行ったので現れた子芋の形の差は土寄せが原因とは考え難い。培養苗の生育特性についてSwartzら（1981）はイチゴでウイルスフリー株からのランナー苗と培養苗を比較し、培養苗は腋芽の生育が良いとしており、その原因を培養に使用したホルモンによるのではないかと推定している。また、大西ら（1990）はバレイショ培養塊茎株は慣行の塊茎を種芋に用いた株に比べて萌芽までの日数が短く、やゝ小さめの品質の良い芋を多く形成するとしている。サトイモ培養球茎株についてもウイルスフリー化の効果や種芋の大きさとともに何等かの培養の影響が要因として考えられる。順化球



第11図 種芋の種類による子芋の形状の差異（縦径／横径）



茎株では地上部の生育，球茎の着生および肥大や形状が慣行小球茎株に良く似ていることから，培養の影響は永く続かないかあるいは再び球茎を形成することで消失するように見える。桂ら（1990）は分げつや球茎の形成にジベレリンが密接に関わっていることを報告している。また，球茎の形成にはサイトカニンも関与するとされており培養球茎の生育についてもホルモンレベルでの研究を進める必要がある。さらに，子芋，孫芋の着生数については種芋の植付け位置，土寄せの量等の栽培管理も影響する（小河原，1944）とされており，今後詳しい検討が必要である。

第2節 生育特性の品種間差

前節では‘石川早生’の培養球茎を直接種芋として栽培した場合、培養球茎株は地上部の生育や球茎の着生、肥大等の生育特性が慣行球茎株と異なることを明らかにした。培養球茎株は地上部の生育量に比べて目的とする地下部の球茎収量の割合が多く、しかも球茎の形状が優れることから実用的な栽培への利用が期待できる。サトイモは品種によって球茎の着生や肥大の様相が異なるので、培養球茎株を用いた栽培に適するものがあると考えられる。‘石川早生’は子芋、孫芋が多く着生する子芋利用型の品種に属する。他の子芋利用型品種や子芋、孫芋の着生の少ない親芋利用型品種について培養球茎株の生育特性を明らかにすることは、慣行球茎株の生育特性との比較や慣行球茎株を含めたサトイモの球茎の分化、肥大について考察する上で重要である。

本節ではサトイモ品種・系統の培養球茎株の培養器内での球茎の形成状況ならびに栽培における地上部の生育、球茎の分化、肥大および形態等の生育特性について調査した。

材料および方法

第I章実験4で得られた‘烏播’，‘土垂’，‘早生小蓮葉芋’，‘石川早生’および変異系統の培養球茎を用いて栽培を行った。培養球茎は1990年4月15日にプラグトレイ（40mm×40mm×57mm；88穴）に植え込んで育苗し、慣行球茎とともに5月15日に圃場に定植した。栽植密度は120 cm×30cmとし、生育に従って3回土寄せを行った。肥料はN, P₂O₅, K₂Oをそれぞれ定植前に2 kg/a, 2回目の土寄せ時に0.5 kg/aを施用した。生育期間中の地上部の生育を調査し、11月上旬に掘り取り、球茎の着生数、収量および形状等を調査した。

結果および考察

培養球茎株の草丈は、第11表に示すように各品種・系統ともに慣行球茎株に比べて低かった。また、地上で観察した側芽数は、一部‘石川早生’の8月期を除いたほかは、各品種・系統とも培養球茎株の方が多かった。‘石川早生’では地上に出芽する側芽数は8月に入るとそれまでの傾向とは異なり培養球茎

第11表 品種・系統の地上部の生育

調査月日	種芋の種類	烏播		土垂		早生小蓮葉芋		変異系統		石川早生	
		草丈 (cm)	側芽数	草丈 (cm)	側芽数	草丈 (cm)	側芽数	草丈 (cm)	側芽数	草丈 (cm)	側芽数
6. 20	培養球茎	15.5	1.2	12.8	0.8	16.1	6.4	11.8	1.1	14.3	0.4
	慣行球茎	21.9	0.2	20.5	0.1	29.2	0.2	15.7	0.3	26.1	0
7. 5	培養球茎	28.8	3.9	26.2	4.1	28.5	9.8	20.6	1.8	28.0	5.3
	慣行球茎	41.7	0.3	47.3	2.3	50.8	2.0	25.5	0.9	46.6	1.0
8. 8	培養球茎	79.4	6.0	54.9	4.7	66.5	8.9	46.7	2.0	59.4	2.7
	慣行球茎	101.2	2.4	92.5	4.3	98.1	4.1	52.0	0.9	97.0	4.4
8. 29	培養球茎	97.1	6.7	75.2	5.3	92.4	10.0	67.8	2.3	71.8	3.1
	慣行球茎	103.2	3.7	114.5	5.3	121.2	4.9	76.7	1.0	121.8	4.8
		**	**	**	NS	**	**	*	**	**	*
		**	**	**	NS	**	**	*	**	**	*

** ; P < 0.01, * ; 0.01 < P < 0.05, NS ; 有意差なし.

株の方が少なくなった。この原因としては他の品種より早生である‘石川早生’の培養球茎株は地上部の生育が低下する時期が早く、側芽の伸長も早期に低下するため、8月以降地上に現れる側芽が減少したものと考えられる。サトイモでは伸長した側芽の基部に形成された芋は品質が劣るため、側芽の生育を抑制する目的で土寄せが行われる（飛高，1977）。前節では‘石川早生’培養球茎株は慣行球茎株に比べて球形の子芋が多いことを述べた。‘石川早生’の培養球茎株では伸長する側芽数が少ないことも子芋の形が丸くなる一因と考えられる。

各品種・系統とも培養球茎株は慣行球茎株に比べて地上部の生育が小さいにもかかわらず地下部球茎は効率良く肥大した。また、第12表および第12～14図に示すように培養球茎株の親芋重量は子芋の着生が少ない親芋利用型の変異系統では大きい。他の子芋利用型品種ではいずれも小さくなり利用部位の割合の増加が認められた。Iwamaら（1990）はカンショでは塊根のシンク能力の差が塊根肥大後期の葉の光合成効率ならびに乾物生産、さらには収量を規制すると推測しているが、培養球茎株は慣行球茎株に比べて球茎のシンク能力が高いように思われる。第12表に示すように子芋利用型品種では子芋、孫芋の着生数が増加して1個当たりの重量は小さくなる傾向があった。親芋利用型の変異系統の培養球茎株では子芋、孫芋の着生が少ないため光合成産物は親芋に移行し肥大が良くなったと考えられ、子芋利用型品種では各芋間に光合成産物の蓄積について競合があることが示唆された。したがって、培養球茎株の生育特性が慣行球茎株と異なる要因を明らかにするためには両者の球茎の着生、肥大について同化産物の転流、分配面からの解析を加えることが必要と考えられる。

培養球茎株は各品種・系統とも‘石川早生’とほぼ同様の生育特性を示すことが認められた。これら培養球茎株の特徴ある生育特性の多くは今回用いた品種・系統以外の他の品種でも発現するものと考えられる。培養球茎の実用的な栽培への利用を考える場合は品種や培養球茎株の生育特性を適切に利用する必要がある。佐藤ら（1988）は早生種は早くから光合成産物が芋へ分配されるた

第12表 品種・系統の収量構成

品種	親芋重量 (g)		子芋		孫芋		ひ孫芋		収量 (g)
	種類	重量 (g)	個数	重量 (g)	個数	重量 (g)	個数	重量 (g)	
烏播	培養球茎	212.9	12.5	721.7	10.8	288.5			1016.6 ^z
	慣行球茎	396.5	8.1	582.5	5.8	218.0			800.4
		**	**	**	**	**			*
土垂	培養球茎	113.8	9.2	390.7	13.8	348.1			721.4 ^z
	慣行球茎	291.9	7.1	470.2	9.3	476.6			936.5
		**	**	NS	**	*			**
早生小 蓮葉芋	培養球茎	143.9	20.1	666.7	34.9	640.2	7.2	89.8	1372.1 ^z
	慣行球茎	344.4	9.8	571.8	17.6	699.3	3.8	68.3	1347.3
		**	**	NS	**	*	*	NS	NS
変異系 統	培養球茎	150.1	2.2	135.0	0.3	8.8			293.9 ^y
	慣行球茎	114.9	0.8	66.9	0.2	3.1			185.0
	*	*	**	*	NS	NS			*
石川早 生	培養球茎	91.9	12.3	341.3	20.9	360.4	0.9	9.5	710.9 ^z
	慣行球茎	208.3	9.1	454.5	10.0	337.4	0.3	3.0	793.5
	**	**	**	*	**	NS	NS	NS	NS

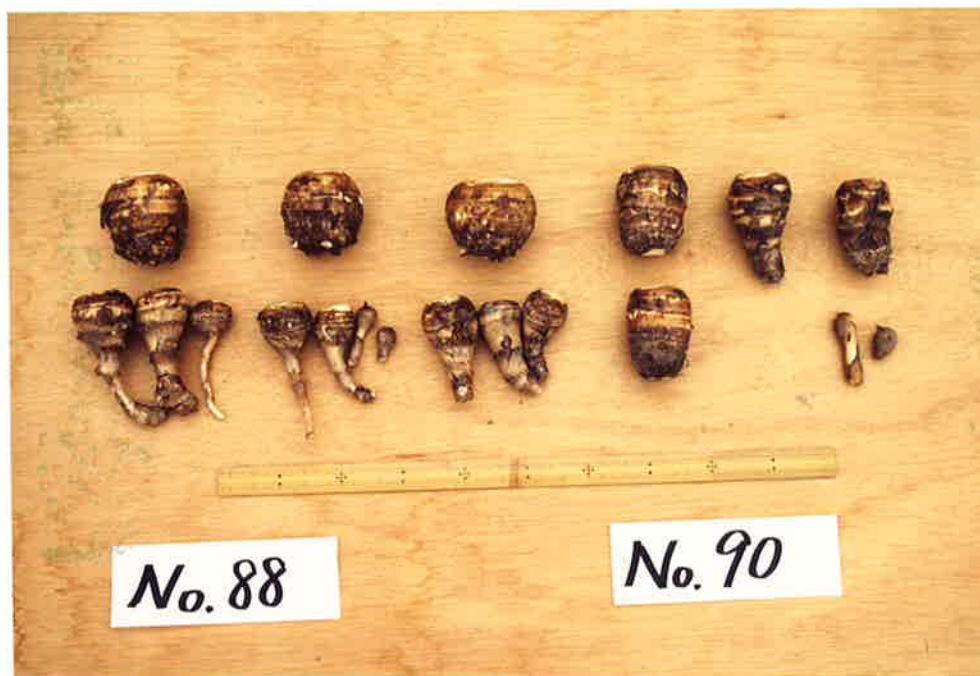
** ; P < 0.01, * ; 0.01 < P < 0.05, NS ; 有意差なし. ^z 子芋重 + 孫芋重 + ひ孫芋重.
^y 親芋重 + 子芋重 + 孫芋重. 値はすべて株あたり数量.



第12 図 収穫時における球茎の着生状況（‘烏播’）
 左：慣行球茎株，右：培養球茎株。



第13 図 収穫時における球茎の着生状況（‘土垂’）
 左：培養球茎株，右：慣行球茎株。



親芋

子芋

第14 図 収穫時における球茎の着生状況（‘変異系統’）
左：培養球茎株、右：慣行球茎株。

め、芋の形成肥大が早いとしている。一方、栽植密度については培養球茎株は慣行球茎株に比べて地上部の生育が少ないため密植が可能と思われる。したがってこれまでの結果から早生品種の培養球茎を用いてトンネルやハウスを利用した早熟栽培を行えばその生育特性を有効に利用できると考えられた。

第3節 早熟栽培への利用

前節では‘石川早生’の培養球茎を直接種芋に用いて栽培した場合、培養球茎は地上部の生育や球茎の着生、肥大等の生育特性が慣行球茎株と異なることを明らかにした。培養球茎株は地上部の生育量に比べて目的とする地下部の球茎収量の割合が多く、しかも球茎の形状が優れることから実用的な栽培への利用が期待できる。しかし、栽培面では培養球茎は大きさが1 g と小さいため露地栽培では慣行球茎に比べて地上への出芽やその後の初期生育が劣り、不揃いで収量の個体差が大きくなりやすい。そのため、培養球茎の利用には初期生育を促すために生育環境や栽培について周到な管理のできるハウス栽培やトンネル栽培の検討が重要である。

本節では‘石川早生’培養球茎株の早熟栽培における地上部の生育、球茎の分化、肥大および形態について検討した。

材料および方法

プラスチックフィルム被覆のハウス栽培を1989年、1990年に行った。このうち1989年は3月15日に培養球茎および慣行球茎を直接ハウス内に定植した。1990年は培養球茎株を2月5日にプラグトレイ(40mm×40mm×57mm; 88穴)に植え込んで25℃の温室内で育苗した。慣行球茎株は2月21日に木箱(45cm×55cm×15cm)に詰めた土壌中に植え込み、培養球茎の場合と同様に温室内で催芽した。培養球茎株は展葉数が4.2枚、慣行球茎株は1.2枚の苗を3月9日にハウス内に定植した。また、同時にハウス内に直接培養球茎を植え込んだ。栽植密度は120 cm×30cmとし、生育にしたがって3回土寄せを行った。肥料はN, P₂O₅, K₂Oをそれぞれ定植前に2 kg/a, 2回目の土寄せ時に0.5 kg/aを施用した。夜間4月30日までは2重に、5月31日までは1重で保温した。1989年は8月11日および8月28日に、1990年は8月13日に掘り取り地上部の生育、地下部の球茎の着生数、収量および形状等を調査した。

トンネル栽培は1990年に行った。3月14日に培養球茎を前述のプラグトレイへ植え込んで育苗した後4月16日に透明マルチおよびプラスチックフィルムを

被覆したトンネル内へ定植し、5月25日まで夜間密閉して保温した。栽植密度、施肥等の栽培管理はハウス栽培の試験に準じた。生育期間中の地上部の生育を調査し、地下部球茎の着生数、収量、形状等は8月15日に掘り取り調査した。

結果および考察

培養球茎株の地上部の生育は第三章第1節の露地栽培と同様に慣行球茎株より小さく地上部重は慣行球茎株の約 $1/4 \sim 1/3$ であった(第13表, 第14表, 第15図, 第16図)。また, 培養球茎株では地上部の生育の低下および外葉からの枯れ込みが早期に進み, 第13表に示すように地上部重は8月11日より8月28日の方が小さくなった。これに対し慣行球茎株では遅くまで地上部の生育が続いた。第17図に示すように培養球茎株は慣行球茎株に比べて同時期の地上部の生育は小さいにもかかわらず芋の肥大はやゝ早く進んでいた。また, 8月11日, 8月28日ともに孫芋の肥大程度は培養球茎株の方が良く(第18図), 収量の中で‘石川早生’では子芋より良質とされる孫芋の占める割合が高くなった。

育苗後ハウス内で栽培した培養球茎株は第14表に示すように培養球茎のハウスでの直播株や育苗後トンネルで栽培した株に比べ親芋の肥大が良く, 収量に占める子芋の割合も高くなった。また, 育苗後トンネルで栽培した株は他の培養球茎株に比べ孫芋およびひ孫芋の着生数が多くなるなど培養球茎株を種芋に用いて栽培した場合でも栽培方法や栽培時期により各芋の着生数や肥大の状況が少しずつ異なる結果が得られた。サトイモの球茎の分化肥大におよぼす環境条件について, 早生種の‘石川早生’では短日の効果は見られない(Tsukamoto・Inaba, 1961)が, 生育中の地温が影響する(佐藤ら, 1984)ことが知られている。今後, 環境条件の影響や栽培管理法による各芋の分化, 肥大についてさらに詳しい調査が必要である。

サトイモにおいてもウイルスフリー株の生産性が優れることが認められており(森下・山田, 1984; Morishita, 1988; 長田・後藤, 1989), 一部で種芋の配布が始まっている。しかし, ウイルスフリー株は在来株に比べウイルスに再感染した場合の減収の割合が大きいことが報告され, ウイルスの再感染は栽

第13表 早熟栽培における収穫期の地上部重量および収量構成 (1989年)

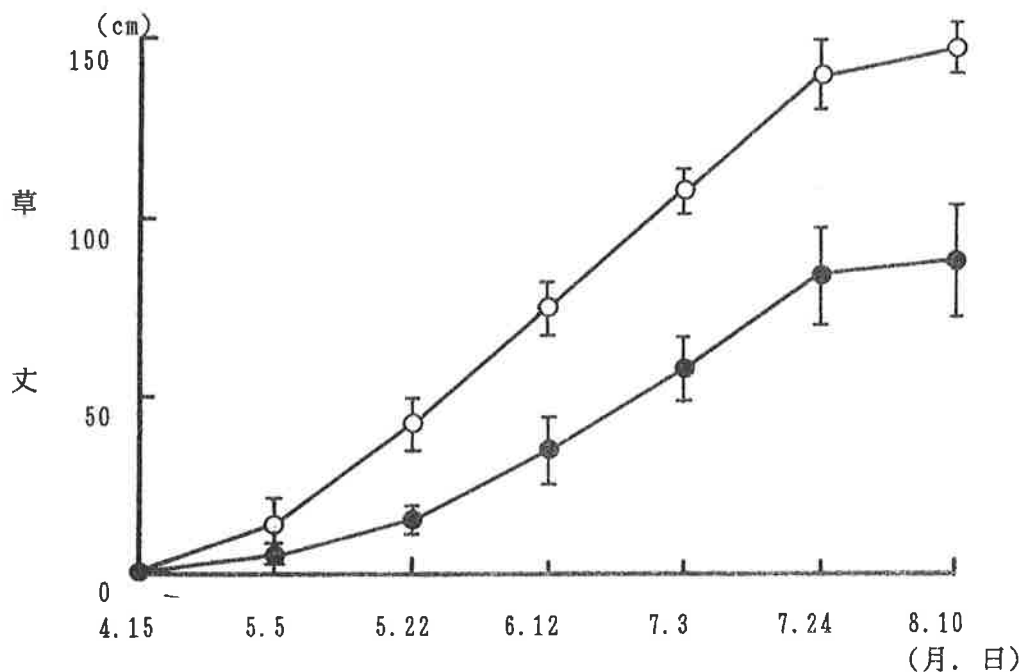
収穫日 (月. 日)	種芋の 種類	地上部 重量 (g)	親芋重 量 (g)	子 芋		孫 芋		ひ 孫 芋		収 量 (g)
				個数	重量 (g)	個数	重量 (g)	個数	重量 (g)	
8.11	培養球茎	871	187.9	12.6	487.4	20.2	296.4	0	0	781.5
	慣行球茎	2431	429.1	9.0	528.5	17.1	193.7	0	0	722.2
		**	**	**	NS	*	**	NS	NS	NS
8.28	培養球茎	626	224.7	13.1	587.5	24.5	522.3	4.7	42.3	1152.1
	慣行球茎	2579	455.6	11.7	663.7	19.7	381.0	2.5	11.9	1056.6
		**	**	*	NS	*	*	NS	NS	NS

** ; P<0.01, * ; 0.01<P<0.05, NS ; 有意差なし. 値はすべて株当たりの数量.

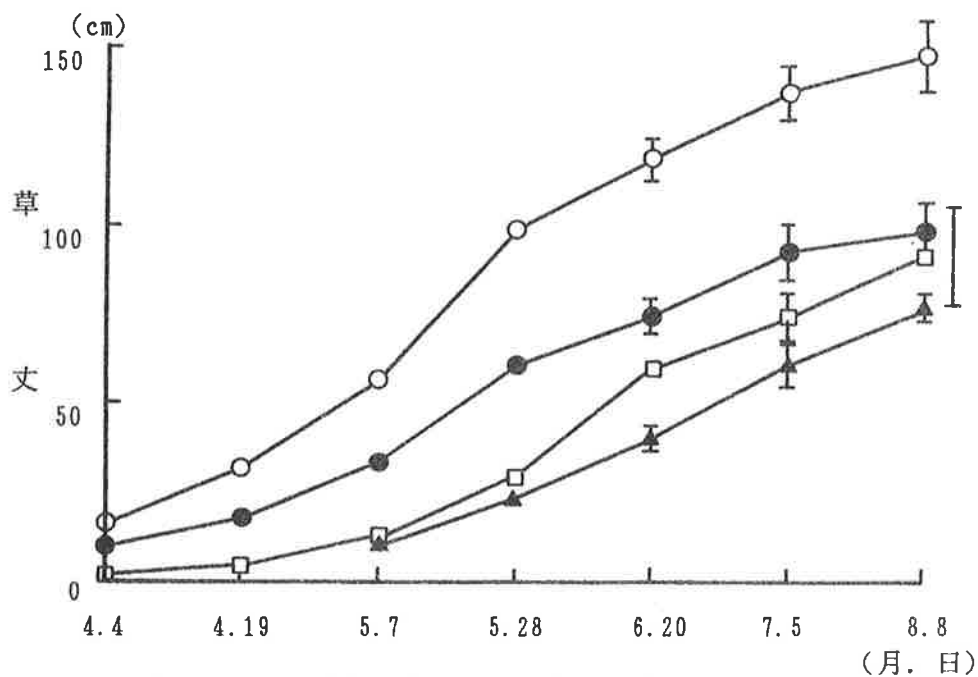
第14表 早熟栽培における収穫期の地上部重量および収量構成 (1990年)

種芋の 種類	植え付け 方法	地上部 重量 (g)	親芋重 量 (g)	子 芋		孫 芋		ひ 孫 芋		収 量 (g)
				個数	重量 (g)	個数	重量 (g)	個数	重量 (g)	
培養球茎	育苗ハウス	614 a ^z	224.2 b	14.8 b	688.8 b	21.8 b	261.1 b	0.4 a	2.1 a	951.7a
培養球茎	直播ハウス	701 a	147.9 a	14.5 b	437.0 a	23.6 b	306.8 b	1.9 a	10.8 a	753.2a
慣行球茎	慣行ハウス	2228 b	376.7 c	10.3 a	732.2 b	12.9 a	172.1 a	0.1 a	1.0 a	906.4a
培養球茎	育苗トンネル	567 a	114.0 a	14.8 b	350.1 a	32.6 c	476.4 c	5.7 b	36.3 b	862.8a

^z ダンカンの多重検定 5%水準. 値はすべて株当たりの数量.



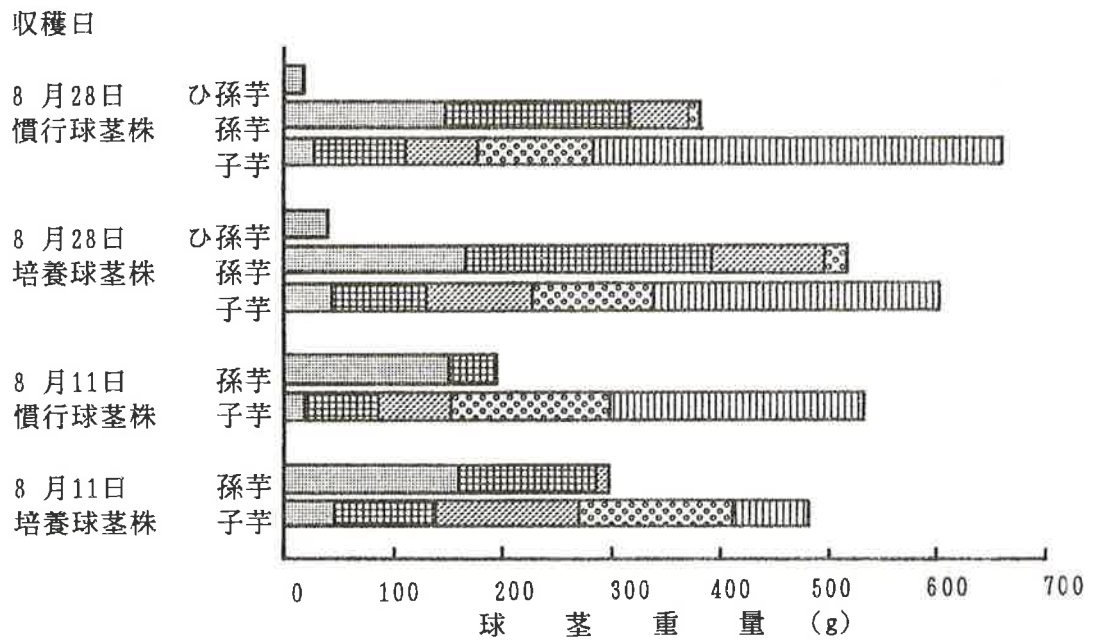
第15図 早熟栽培における培養球茎および慣行球茎の地上部の生育 (1989年)
 ●：培養球茎，○：慣行球茎。バーは標準偏差を表す。



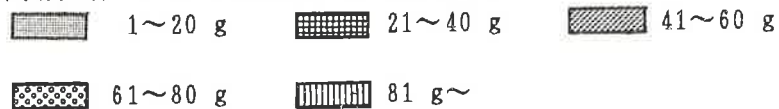
第16図 早熟栽培における培養球茎および慣行球茎の地上部の生育 (1990年)
 ●：32日間育苗後ハウスで栽培した培養球茎，□：直接ハウスに植え込み栽培した培養球茎，○：16日間育苗後ハウスで栽培した慣行球茎，▲：31日間育苗後トンネルで栽培した培養球茎。バーは標準偏差を表す。



第17 図 早熟栽培における球茎の肥大状況 (1989年8 月10日)
左：培養球茎株. 右：慣行球茎株.



第18 図 早熟栽培における球茎の肥大 (1989年)



培上大きな問題である。森下・山田（1981, 1984）は後期感染株では収量の低下は認められないが生育初期の感染では収量の低下が大きいとしており、生育前半の感染を防止する必要がある。ハウスやトンネルを用いる早熟栽培では生育の前半はプラスチックフィルムにより被覆するため感染の機会が少なく、フィルム除去時にはすでに生育が進んでいるため感染しても収量への影響は少ないと考えられる。

以上のように比較的小さい芋を早期に収穫することを目的とした早熟栽培では、早生品種の培養球茎を種芋に用いた場合、慣行球茎に比べて優れた点が多く、大量増殖した培養球茎を種芋に直接用いる栽培法について実用化が可能と認められる。

第4節 早熟栽培における培養球茎株の乾物生産特性ならびに¹³C同化産物の 転流・分配

作物の生長過程は生育を物質生産面から解析することによりより詳しくとらえることができ、生育特性と収量の関係を生理生態的側面から考察することが可能となる。水稻では多収品種の乾物生産特性が詳しく解析され、収量におよぼす各種の要因が明らかにされている。作物の収量生産力を高めるためには葉での乾物生産の増加とともに乾物の目的とする器官への蓄積により収穫指数 (harvest index) を高める必要がある。水稻の多収品種は過去の品種に比べ収穫指数が大きく向上している (佐藤, 1973)。光合成による乾物生産と同化産物のシンクへの分配は遺伝的に決定される他、環境要因や生長調節物質等での処理によっても変化することが知られている (Ruter・Ingram, 1990; Valenzuela ら, 1991)。本章の第1～3節において培養球茎を直接種芋に用いて栽培した場合、慣行球茎から生育した株に比べ地上部の生育や球茎の着生、肥大等の生育特性が異なることを明らかにした。

本節では生長解析により培養球茎株の生育特性を物質生産面からさらに詳しく検討するとともに¹³C同化産物の転流・分配について慣行球茎株との比較を行った。

材料および方法

種芋として品種‘石川早生’の約1gの培養球茎および50g程度の大きさの慣行球茎を用いた。1992年3月25日に培養球茎はプラグトレイ (60ml/セル; 88穴) へ、慣行球茎は容量390mlのポリエチレン製ポットに植え込み、25℃の温室内で育苗した。生育の揃った苗を4月21日に透明マルチおよびプラスチックフィルムを被覆したトンネル内へ定植した。栽培管理は前節の早熟栽培と同様の方法で行った。調査は定植期から10月14日まで一定の期間毎に平均的な生育を示す10株を掘り取って実施した。葉面積は林電工製の自動面積計を用いて計測した。植物体は各器官ごとに分別し、生体重を測定した後、85℃で乾燥し、乾物重を計った。枯死部分は計測から除外した。収量増加率は収穫対象となる

子芋，孫芋，ひ孫芋の乾物重の合計から計算して求めた。

光合成産物の転流・分配を調査するため7月14日および9月9日に $^{13}\text{C}\text{O}_2$ を圃場で栽培中の株に施用した。培養球茎株，慣行球茎株それぞれについて生育の揃った3株を試験に用いた。スチロール製の同化箱に展開第2葉を入れ， $\text{Ba}^{13}\text{CO}_3$ に50%乳酸を加え $^{13}\text{C}\text{O}_2$ を発生させ早朝3時間同化させた。処理24hr後に各器官ごとに解体し85℃で乾燥した。乾燥後，試料を振動式粉碎機（平光製作所）を用いて微粉末にし ^{13}C を $^{13}\text{C}\text{O}_2$ アナライザー（日本分光社 EX-130 S型）を用いて，赤外吸光分光法により測定した（熊沢・柳沢，1981）。

各器官の ^{13}C atom% excess，乾物重および炭素率から ^{13}C の各器官への分配率を計算した。培養球茎株の種芋は重量が非常に小さいため計測から除外した。

結果および考察

相対生長率は培養球茎株，慣行球茎株ともに生育の初期に高く，生育が進むに従い減少する傾向を示したが，培養球茎株では生育の全期間を通じて慣行球茎株に比べ大きかった（第15表）。培養球茎株は慣行球茎株に比べ4月22日～5月20日および9月24日～10月14日の間を除いて純同化率が高かった。9月24日～10月14日の間は培養球茎株では地上部の枯れ込みが進んだため見かけ上マイナスの値となった。葉面積指数は培養球茎株，慣行球茎株ともに8月27～9月9日の間に最高を示し，以後地上部の生育の低下に伴い減少した。サトイモの光合成について佐藤ら（1978）はいずれの葉令においても葉の表面の光強度が飽和に達してもさらに裏面から光を追加照射すると光合成量が増大することを認めている。培養球茎株では地上部が小さく，葉面積指数が小さいため群落の内部まで光が入ることが純同化率の高い一因と考えられる。純同化率が高いことは地上部が小型でも効率よく乾物生産を行っていることを示している。

乾物増加率は培養球茎株では9月上旬まで増加し，それ以後減少した。慣行球茎株では減少の開始が早く，8月下旬まで増加した後，減少に転じた。収量増加率は培養球茎株では8月27日～9月9日の間最高を示し以後減少した。これに対し慣行球茎株は遅くまで培養球茎株に比べ高い値を示した。サトイモは

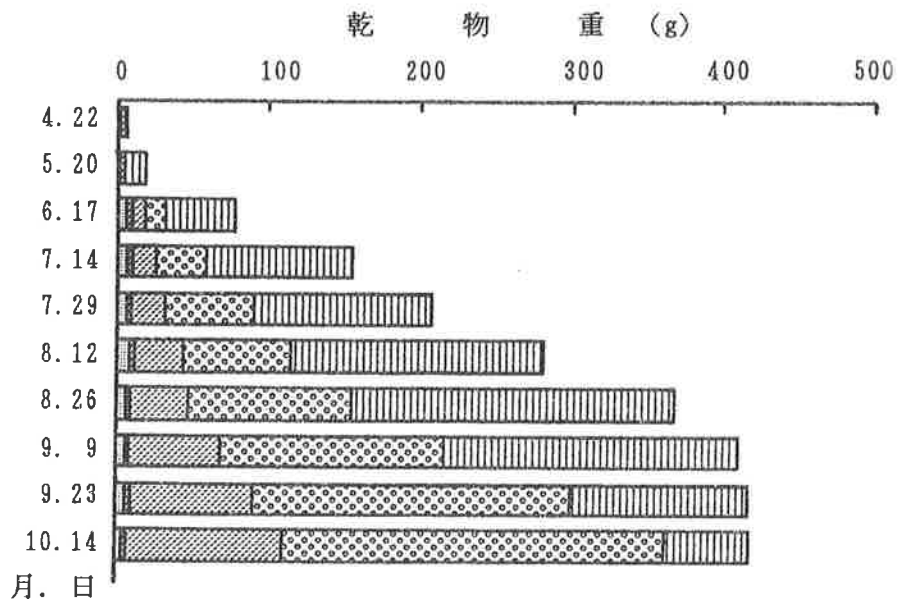
第15表 培養球茎および慣行球茎の生長解析結果

期 間 (月, 日)	相対生長率 $\frac{(g/g/日)}{\text{培養 慣行}}$		純同化率 $\frac{(g/m^2/日)}{\text{培養 慣行}}$		乾物増加率 $\frac{(g/m^2/日)}{\text{培養 慣行}}$		収量増加率 $\frac{(g/m^2/日)}{\text{培養 慣行}}$		葉面積指数	
	培養	慣行	培養	慣行	培養	慣行	培養	慣行	培養	慣行
4.22~5.20	0.081	0.087	7.20	7.41	0.20	0.96			0.03	0.13
5.21~6.17	0.064	0.049	9.89	9.12	1.09	4.34	0.46	0.89	0.11	0.48
6.18~7.14	0.039	0.025	9.41	4.44	2.60	5.74	1.51	1.09	0.28	1.29
7.15~7.29	0.039	0.018	10.45	4.16	5.90	6.94	3.13	4.04	0.56	1.67
7.30~8.12	0.028	0.023	8.53	6.14	6.89	11.57	6.62	2.08	0.81	1.89
8.13~8.26	0.025	0.021	8.60	5.01	8.64	13.86	4.62	6.51	1.00	2.77
8.27~9.9	0.020	0.007	8.42	2.09	9.92	5.86	9.13	4.79	1.18	2.81
9.10~9.23	0.008	0.001	4.87	0.59	4.85	1.10	5.00	9.55	1.00	1.88
9.24~10.14	-0.003	0.000	-5.40	0.09	-2.03	0.07	1.97	4.08	0.38	0.81

生育の前半には乾物は地上部へ分配され葉面積の拡大に使われ、生育の後半になり球茎への分配が多くなることが報告されている（佐藤，1980；1986；1988）。本実験の結果でも慣行球茎株では第19図に見られるように生育の前半は地上部の乾物重の割合が地下部よりも多く、葉面積が最大に達する時期から地下部球茎の割合の方が多くなった。一方、培養球茎株では第20図に示すように生育の早い時期から全乾物重に占める地上部乾物重の割合は小さく、球茎部分の割合が大きくなった。

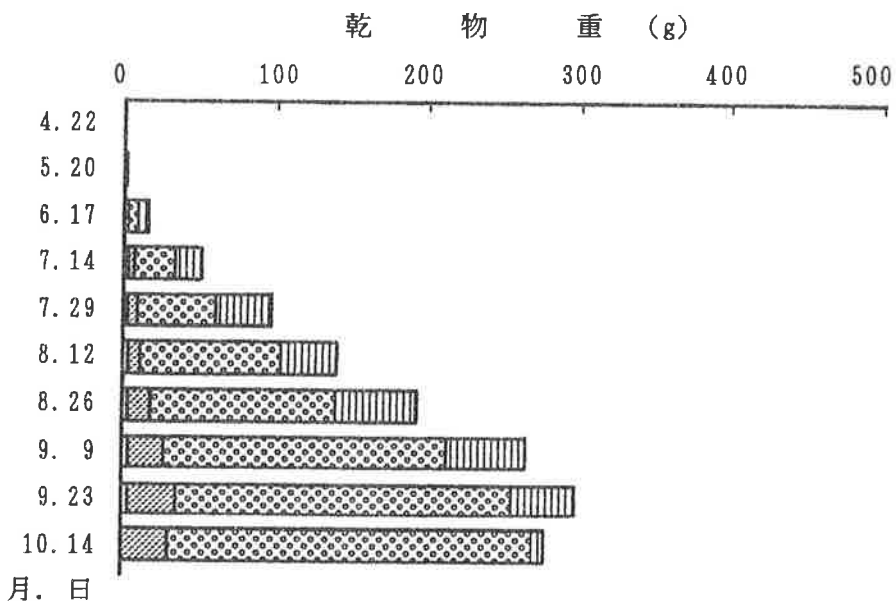
同化 ^{13}C の分配の結果も培養球茎株は生育の前半から慣行球茎株に比べ地下部球茎への同化産物の転流が多いことを示している。すなわち培養球茎株では第16表に示すように同化産物の球茎部分への転流の割合は7月14日の段階で約70%に達した。これに対し、慣行球茎株では同化産物の約60%が地上部へ転流し、地下部への転流は約40%にすぎなかった。地上部について見ると培養球茎株では分けつ茎への分配の割合はわずかであったが慣行球茎株では20%以上が分けつ茎へ分配された。生育の後期となる9月9日には慣行球茎株では同化産物の球茎への転流割合が生育初期の7月14日より多くなり、同化された ^{13}C の内50%余りが球茎へ分配された（第17表）。しかし、培養球茎株では80%近くが球茎へ分配されており、この時期にも慣行球茎株に比べ同化産物の球茎への転流・分配の割合が大きいことが明らかとなった。このように培養球茎株では生育の初期から球茎のシンク能力が高いことが示された。

慣行球茎株の生育期間中の主茎の展葉数は第21図に示すように18～19枚であった。これに対し培養球茎株では生育初期から葉の展開速度が速く、生育期間中に22～23枚の葉を展開した。サトイモでは主茎（親芋）の各節に1個ずつ側芽が形成され、伸長して基部が短縮肥大して子芋となる。各節には側芽の他、副芽も分化する（松本，1988）がこれらは通常生育せず、各節に1個の子芋が着生する。同様にして二次、三次の分枝が短縮肥大して孫芋、ひ孫芋を形成する（佐藤，1986）。培養球茎株では主茎展開葉数の増加に伴い子芋の着生節数が増えるため、孫芋、ひ孫芋数もそれぞれ多くなると考えられる。シンクの能



第19図 慣行球茎における乾物の増加および分配

根
 種芋
 親芋
 子, 孫, ひ孫芋
 地上部



第20図 培養球茎における乾物の増加および分配

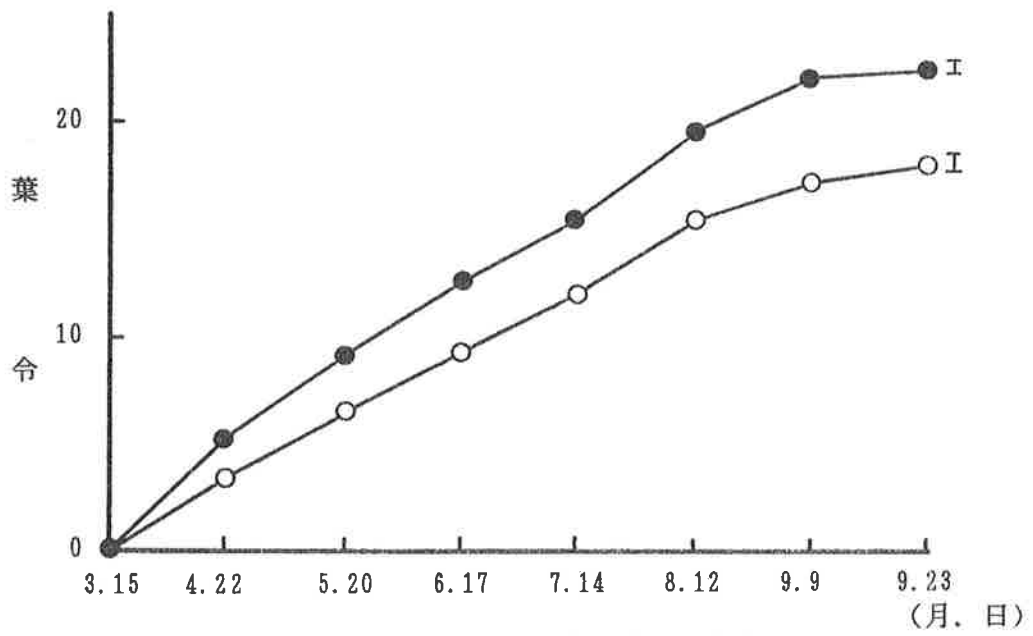
根
 親芋
 子, 孫, ひ孫芋
 地上部

第16表 培養球茎株および慣行球茎株における¹³C 同化産物の分配 (7月14日処理)

器 官	培養球茎株				慣行球茎株				
	¹³ C atom% excess	乾物重 (g)	炭素率 (%)	¹³ C 量 (mg)	¹³ C 分配率 (%)	¹³ C atom% excess	乾物重 (g)	炭素率 (%)	¹³ C 量 (mg)
上位葉身	0.084	2.4	33.6	0.7	2.4	0.072	6.6	25.0	1.2
処理葉身	0.157	1.8	34.7	1.0	3.2	0.098	8.5	31.3	2.6
下位葉身	0.117	5.2	30.5	1.8	6.2	0.132	15.1	30.6	6.1
分けつ茎葉身	0.016	0.5	34.6	0.0	0.0	0.113	20.5	26.6	6.2
上位葉柄	0.151	2.8	30.4	1.3	4.2	0.164	14.9	25.9	6.3
処理葉柄	0.143	1.8	25.1	0.6	2.2	0.165	11.1	26.2	4.8
下位葉柄	0.165	4.9	23.5	1.9	6.4	0.146	20.2	24.8	7.3
分けつ茎葉柄	0.191	0.7	24.1	0.3	1.0	0.130	35.0	28.3	12.9
主茎根	0.181	1.7	22.9	0.7	2.4	0.141	4.5	29.5	1.9
分けつ茎根	0.167	1.1	23.2	0.4	1.4	0.137	6.4	29.6	2.6
種 芋	-	-	-	-	-	0.128	30.1	30.1	1.4
親 芋	0.247	5.8	26.6	3.8	12.8	0.139	16.7	29.8	6.9
子 芋	0.211	26.2	30.2	16.7	56.2	0.173	29.8	31.9	16.4
孫 芋	0.135	1.6	23.8	0.5	1.7	0.186	8.4	29.7	4.6

第17表 培養球茎株および慣行球茎株における¹³C 同化産物の分配 (9月9日)

器 官	培養球茎株				慣行球茎株			
	¹³ C atom% excess	乾物重 (g)	炭素率 (%)	¹³ C 量 (mg)	¹³ C atom% excess	乾物重 (g)	炭素率 (%)	¹³ C 量 (mg)
上位葉身	0.185	2.2	25.2	1.0	0.067	6.6	33.8	1.5
処理葉身	0.219	3.5	32.6	2.5	0.073	7.5	33.6	1.8
下位葉身	0.236	7.2	28.9	4.9	0.055	27.5	33.6	5.1
分けつ茎葉身	0.270	6.5	27.7	4.8	0.052	7.5	29.7	1.2
上位葉柄	0.317	4.0	25.1	3.2	0.174	22.8	23.2	9.2
処理葉柄	0.257	5.5	25.2	3.6	0.166	23.6	29.6	11.6
下位葉柄	0.237	10.9	29.9	7.7	0.162	58.3	28.7	27.0
分けつ茎葉柄	0.160	7.9	25.0	3.2	0.162	22.3	25.7	9.3
主茎根	0.151	1.6	25.4	0.6	0.149	3.2	32.1	1.5
分けつ茎根	0.168	2.8	22.6	1.1	0.175	4.5	31.3	2.5
種 芋	—	—	—	—	0.192	1.8	23.1	0.8
親 芋	0.146	24.9	27.1	8.9	0.194	59.8	28.0	32.4
子 芋	0.180	63.6	29.9	34.1	0.152	64.9	33.7	33.1
孫 芋	0.169	94.4	33.5	53.4	0.042	72.8	33.7	10.2
ひ孫芋	0.146	25.2	31.9	11.7	0.046	26.2	33.3	4.0



第21図 培養球茎株および慣行球茎株の主茎の葉令の推移
 ●: 培養球茎株, ○: 慣行球茎株.

力（強度）はシンク器官のサイズによっても変わり、水稲では登熟期の物質生産とこれを受け入れる容器としての穎花数の両方が大きいことが多収の条件といわれている。培養球茎株では主茎節の増加に伴ない着生球茎数が多くなることが地上部に対し球茎のシンク強度が強い一因となっていると推察される。

すでに述べたように培養球茎株の親芋は慣行球茎株に比べ小型である。親芋の肥大の状況は第19図および第20図に示すように慣行球茎株では生育の末期まで肥大が続くのに対し培養球茎株では生育の末期の肥大は少なくなった。¹³C同化産物の親芋への転流分配の結果を見ると7月14日では培養球茎株がやや大きい割合を示すが、9月9日では培養球茎株は慣行球茎株の1/3以下の割合となった。同化産物の転流・分配にはシンクの強さが影響するとされるが、シンクとなる器官は複数存在するためこれらの間の競合も問題となる。シンク間の競合は親、子、孫、ひ孫の各球茎間にも起こり、培養球茎株は子芋以下の球茎の着生数が多いため、親芋に対してこれらのシンクとしての力が強くなるため親芋が小型化することも考えられる。

佐藤（1963）はサツマイモの地上部と塊根の乾物の分配比率が葉中のNとK₂Oの濃度により支配されることを報告している。また、シンクの強さにはシンクでのショ糖の代謝など他の要因も関与することが明らかになっている（Lim, 1988; Sonnewald・Willmitzer, 1992）。今後、培養球茎株の生育についてもこのような生理面からの検討が必要である。

以上のように培養球茎株は純同化率および同化産物の収穫対象とする球茎への分配率がともに高いため株が小型であるにもかかわらず生産性が高いことが明らかになった。また、同化産物の収穫対象とする球茎への蓄積が早くから起こるため、収量増加率も慣行球茎に比べ早い時期から高くなった。この結果球茎の肥大は早い時期から進み慣行球茎株に比べ早掘りが可能になると考えられる。

第5節 培養球茎株を用いた場合の栽植密度

サトイモは1枚の葉の葉面積がきわめて大きい上に平面に近い立体分布をするため受光態勢がきわめて悪く、1株の占める面積が広い。このため密植が不可能で土地利用型作物として栽培され、施設栽培には不向きである。したがってハウスを利用した栽培はごく一部で行われるにすぎない。トンネルやハウスによる早熟栽培では限られた面積で高収量を得る必要がある。本章で述べたように培養球茎株は慣行球茎株に比べ地上部が小型であるためさらに栽植密度を高めることが可能と考えられる。このため栽植密度について試験を行った。

材料および方法

品種‘石川早生’の大きさ約1gの培養球茎を種芋に用いた。1993年3月26日にプラグトレイ(60ml/セル; 88穴)へ植え込み25℃温室内で育苗した。育苗開始20日目に液肥400倍を施用した。4月26日に透明マルチおよび有孔のプラスチックフィルムを被覆した幅30cmのトンネル内へ定植した。栽植密度は①120cm×30cm, 1条植え(278株/a) ②120cm×30cm, 2条植え(556株/a) ③120cm×20cm, 2条植え(833株/a)の3水準とした。肥料はN, P₂O₅, K₂Oをそれぞれ定植前に2kg/a, 第1回, 第2回の土寄せ時に0.25kgずつ施用した。トンネルは5月25日まで被覆した。10月15日に掘り取り球茎の着生数および収量を調査した。

結果および考察

地上部の生育については第18表に示すように、栽植密度が高くなるほど草丈が高くなり葉身は小型化する傾向が見られた。葉柄長は遮光処理により長くなることが報告されている(佐藤, 1983)。密植区では相互遮へいで受光量が減少し、このため葉柄が伸長した結果、草丈が高くなったと考えられる。

栽植密度を2倍にした場合でも株当たり収量の減少は見られないため、面積当たりでは収量は約2倍になった(第19表)。さらに栽植密度を3倍にした場合、株当たり収量は減少したものの面積当たりに換算するとさらに収量の増加が認められた。

第18表 栽植密度が地上部の生育におよぼす影響

栽植密度 (株/a)	草丈 (cm)	葉長 (cm)	葉幅 (cm)
278	57.9 b ^z	28.1 a	23.8 b
556	52.4 a	26.5 a	21.5 a
833	62.9 b	25.9 a	20.8 a

^z ダンカンの多重検定 5%水準.

第19表 栽植密度が球茎の生育におよぼす影響

栽植密度 (株/a)	株当たり着生数および重量				株当り 収量 ^y (g)	株当り a 当たり 収量 (kg)		
	親芋重 (g)	子芋 着生数	孫芋 着生数	ひ孫芋 着生数				
278	124.5 b ^z	14.1 b	432.4 b	27.7 b	407.2 b	12.5 a	852.1 b	236.7
556	99.0 a	12.9 a	314.3 a	28.8 b	472.3 c	32.4 b	819.0 b	455.0
833	89.9 a	12.8 a	316.9 a	23.7 a	322.2 a	6.0 a	645.1 a	545.1

^z ダンカンの多重検定 5%水準

^y 子芋重+孫芋重+ひ孫芋重.

サトイモは大型の葉身を水平に展開するため受光態勢としては好ましくない。しかし、培養球茎株は慣行球茎株に比べ小型の葉を多く着生する草型であることから、受光態勢においても優れている。サトイモの葉面積指数について佐藤ら(1988)は球茎の肥大速度から考察し最適値は2.5以上のところにあると述べている。前節の実験では慣行球形株では地上部が最も繁茂する8月中旬から9月上旬の葉面積指数は3に近く最適値付近にあると推定される。このため栽植密度を上げると相互遮蔽により光合成が低下すると考えられる。培養球茎株では慣行球茎株と同じ密度で定植した場合地上部が最も繁茂する時期の葉面積指数は1をわずかに上まわる程度であることから、密植により単位面積あたりの収量を増加させることが可能とみなされた。本実験の結果は予想されたとおり培養球形株は高密度の栽培が可能であることを示した。しかし、栽植密度を833株/aまで高くすると子芋、孫芋の着生数が減少し、また孫芋の肥大も低下した。

以上のように培養球茎株は密植により単位面積当たりの収量が高くなるため施設やトンネル内の栽培に適している。栽植密度が833株/aでも単位面積当たりの収量はさらに増加の傾向にあることからさらに密植することにより増収の可能性を残しているが着生する球茎は小型化するものと考えられる。したがって、球茎の小型化により販売価格の低下が考えられる場合は栽植密度を現行の2～2.5倍の550～700株/a程度にとどめるのが良いと判断された。

第IV章 培養球茎株の生育におよぼす

土壤水分の影響

サトイモは多湿を好み水分消費量の多い作物とされる（加藤，1969；鶴田，1974；Shih・Snyder，1985）。灌漑についての試験ではその効果が大きいことが報告されている（位田，1958；竜野，1964；Shanmugavelug，1985）。培養球茎株は種芋が小さく，生育初期の植物体は慣行球茎株に比べ非常に小さい。また，生育が進んでも株は小型で地上部の繁茂も少なく，多くの点で慣行球茎株と比べ生育特性に相違が認められる。したがって，環境に対する反応も慣行球茎株とは変わることが予想される。地下部環境は地上部の環境に比べ耕起や施肥，灌水などにより調節が比較的容易である。地下部環境の中で土壤水分の多少は栽培植物の生育に大きく影響する要因である。

本章では土壤水分が培養球茎株の球茎収量および球茎の形状におよぼす影響を調査検討した。

材料および方法

実験1. 育苗期の土壤水分が球茎の形状におよぼす影響

第I章実験1と同様の方法で得た重さ約1gの培養球茎を種芋とし，プラグトレイ（60mL／セル；88穴）を用いて25℃の温室内で育苗した。育苗中，2葉期および4葉期に灌水を中止する方法で乾燥処理を行った。このうち，2葉期乾燥処理区は地上部が完全に枯死するまで乾燥した後，再び灌水して育苗を続けた。4葉期乾燥処理区は4葉期に第1葉，第2葉が枯死する程度に乾燥した後，再び灌水して育苗を続けた。無処理区は1991年4月23日に，乾燥処理区は5月7日に定植し第III章と同様の方法でトンネルによる早熟栽培を行った。

実験2. 本圃での土壤水分の影響

重さ約1gの培養球茎をプラグトレイ（60mL／セル；88穴）を用い25℃の温室内で30日間育苗した。1991年4月19日にライシメータに定植し地下水位を第20

表のように変え、栽培を行った。ライシメータは生育の全期間中全体を大型のトンネルで被覆し、降雨による土壌水分の変動を防止した。また、晴天時は高温にならないよう十分に換気を行った。施肥および他の栽培管理は第Ⅲ章の早熟栽培と同様に行った。生育期間中の地上部の生育を調査し、8月13日および9月10日に掘取り地下部球茎の着生状況、形状および収量を調査した。

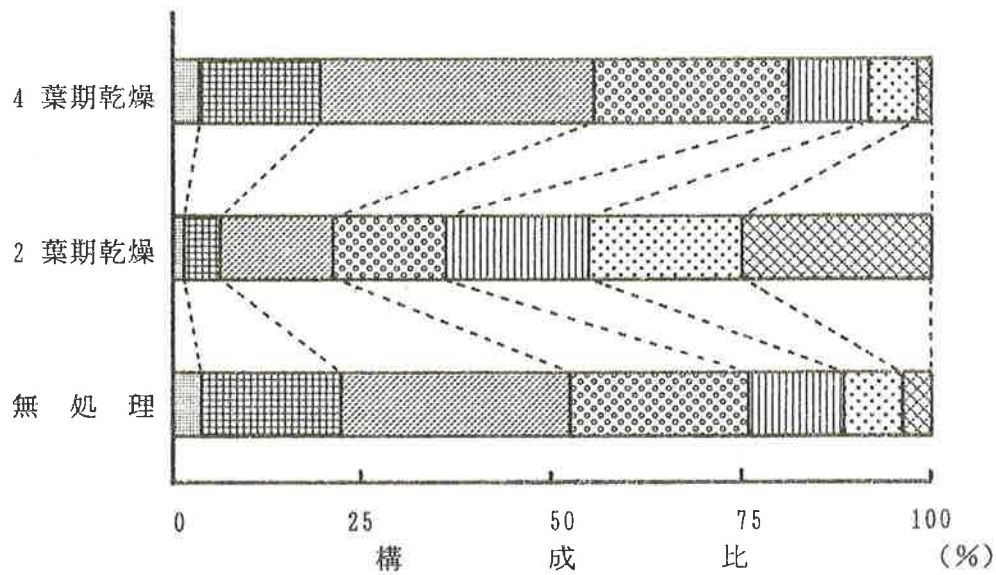
結果および考察

実験1. 育苗期の土壌水分が球茎の形状におよぼす影響

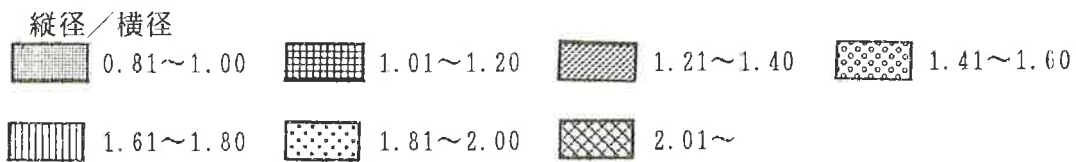
栽培により得られた子芋の形状は第22図および第23図に示すとおりであった。2葉期の強い乾燥処理により長形の子芋数の割合が増加することが認められた。4葉期の比較的弱い乾燥処理では全体として無処理区と差がなかったが、株により長形の子芋の着生も見られた。形態的には球茎の低節位部分の節間の伸長が見られ、形状が長くなった。孫芋の形は子芋に比べ無処理区との差は小さかった。

第Ⅲ章第1節の試験では6葉期に乾燥処理を行い、基部に形成した球茎を種芋として用いたがこの場合も着生する子芋は長形の割合が多くなった。いずれも乾燥処理を行って基部に形成した球茎を種芋として用いている。これらのことから子芋の長形化には生育中に受けた強い水分ストレスの影響が考えられる。第Ⅲ章では球茎を形成後、約60日間保存し栽培に用いた。本章の試験では乾燥処理後、ただちに栽培を開始し、ほぼ同様の結果を得た。したがって、子芋、孫芋の長形化は球茎形成後、栽培までの保存期間に球茎内で起こる生理的な変化による影響とは考え難い。第Ⅲ章で述べたように慣行球茎株は培養球茎株に比べ子芋の形状はやや長形である。慣行球茎株では生育の末期あるいは球茎の保存中に水分ストレスを受けていることも予想される。

一般に植物は乾燥による水分ストレスを受けるとABAが増加するとされる(小清水, 1983)。しかし、第Ⅴ章で述べたように生理的に相い反する作用を持つGAにより節間伸長が促され球茎は長形になる。水分ストレスが球茎の形状におよぼす生理的な要因についてはさらに詳しく検討する必要がある。



第22図 育苗時の乾燥処理が子芋の形状におよぼす影響



第23図 育苗時の乾燥処理が子芋の形状におよぼす影響
 左：適湿で育苗した株。右：2葉期に乾燥処理を行った株。

実験 2. 本圃での土壤水分の影響

第24図に示すように生育の前半に土壤水分が少ない区ではその間、地上部の生育が劣った。しかし、後半に土壤水分を多くすると生育は回復し他の区と間に差は認められなくなった。球茎については第21表に示すように生育の前半に土壤水分が少ないと分化肥大時期が遅くなり、8月13日の調査では球茎重量が少なかった。また、球茎の充実も遅れた。このため価格の高い8月の収穫を目標とする早熟栽培では生育を促進するため定植以後土壤が乾燥しないよう管理する必要があるものと考えられる。第22表に示すように生育の後半に土壤水分が多い区では孫芋、ひ孫芋の着生が多く、各球茎の肥大も優れ、収量が多くなった。これに対し、生育後半に土壤水分が少ないと孫芋、ひ孫芋の着生が減少し、球茎の肥大も劣るため収量は減少した。

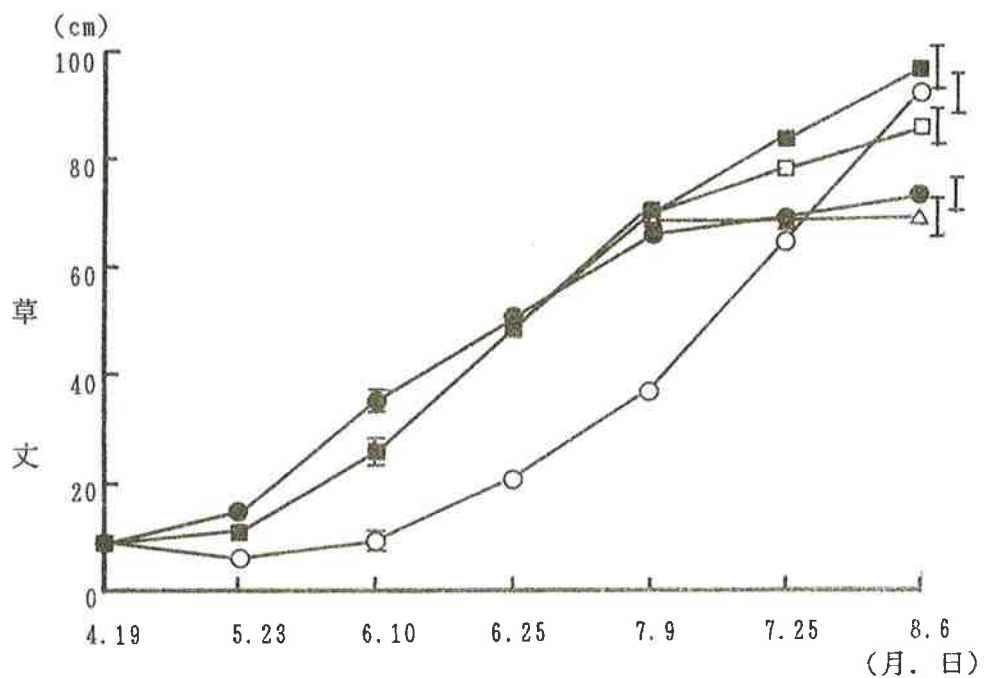
子芋の形状は第25図に示すように生育の後半に土壤水分が多い区で上位節の伸長が見られ、長い芋の割合が多くなった。生育の前半に土壤水分が少ない区では基部も伸長し、より長形になる傾向が見られた。

佐藤ら(1981)は土壤水分が生育におよぼす影響について検討しサトイモでは最適土壤水分が最大容水量の60~80% (pF 0.5~0) 付近にあるという結果を得ている。サトイモの光合成、蒸散が低下し始める土壤水分量はpF 2.4~2.6とされる(鴨田, 1974)。しかし、肥大状況から球茎の肥大にはより多水分域が適すると考えられる。特に培養球茎株は多水分条件下でも地上部が過繁茂となる恐れが少ないことから、慣行球茎株に比べより多水分条件での栽培が適すると考えられる。我国の気象条件では生育期間中に幾度か乾燥に伴う水ストレスを受けることは避けられない。このため、培養球茎の栽培は形状の優れた球茎の生産と収量の確保から考え、灌水による土壤水分の制御が可能な圃場を選んで行う必要がある。

第20表 地下水位および土壌水分張力の設定

処理区 No.	4月15日～6月30日		7月1日～9月10日	
	地下水位 (cm)	土壌水分張力 (pF)	地下水位 (cm)	土壌水分張力 (pF)
1	ドレン開放	2.4 以上	-20	0.8 以下
2	-40	1.4～1.6	ドレン開放	2.7 以上
3	-40	1.4～1.6	-70	2.2→2.7 ²
4	-40	1.4～1.6	-20	0.8 以下
5	-20	0.8 以下	-20	0.8 以下

² → : 2.2から徐々に2.7に乾燥させた。



第24図 土壌水分が地上部の生育におよぼす影響

○: 処理 1. △: 処理 2. □: 処理 3. ■: 処理 4. ●: 処理 5.

第21表 球茎収量 (8月13日)

処理区	親芋		子芋		孫芋		ひ孫芋		収量 ^z (g)
	重量(g)	個数 ^z	重量(g)	個数 ^z	重量(g)	個数 ^z	重量(g)	個数 ^z	
1	110.8	13.5	270.3	22.5	164.3	0	0	0	409.5
4	136.0	13.8	398.3	39.0	438.3	0.8	3.8	0.8	845.8
	NS	NS	*	*	**	*	*	*	**

^z 4 g以上の球茎.

** ; P < 0.01, * ; 0.01 < P < 0.05, NS ; 有意差なし.
値はすべて株当たりの数量.

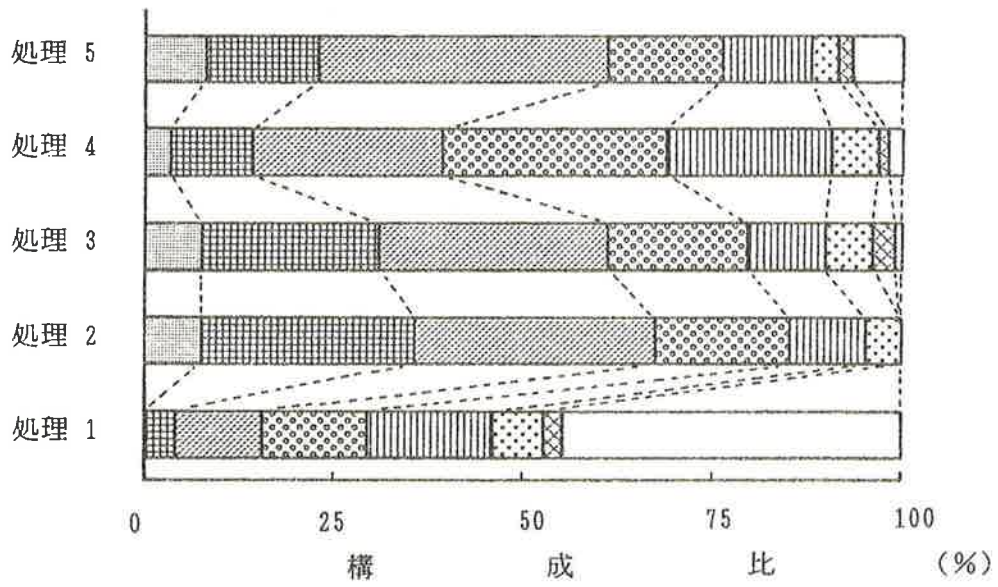
第22表 球茎収量 (9月13日)

処理区	親芋		子芋		孫芋		ひ孫芋		収量 ^z (g)
	重量(g)	個数	重量(g)	個数	重量(g)	個数	重量(g)	個数	
1	155.5 b ^y	13.2 a	611.3 c	33.9 bc	657.7 c	2.5 ab	16.5 ab	2.5 ab	1285.5 b
2	70.9 a	13.3 a	328.4 a	18.5 a	237.1 a	0.3 a	2.1 a	0.3 a	569.2 a
3	104.1 b	15.1 ab	443.9 b	33.3 b	595.2 c	6.1 bc	47.4 bc	6.1 bc	1086.5 b
4	165.4 c	15.8 b	590.7 c	40.4 c	878.5 d	11.5 d	89.8 d	11.5 d	1559.1 c
5	74.6 a	13.0 a	295.2 a	27.7 b	415.6 b	7.3 cd	62.7 cd	7.3 cd	773.3 a

^z 子芋重+孫芋重+ひ孫芋重.

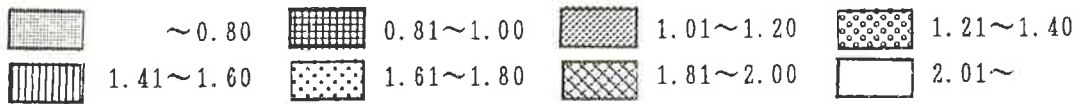
^y ダンカンの多重検定5%水準.

値はすべて株当たりの数量.



第25図 生育期間中の土壤水分が子芋の形状におよぼす影響

縦径/横径



第V章 培養球茎の生理的特性

第1節 球茎の内生生長物質

培養球茎を種芋に用いて栽培を行った場合、第III章に述べたように慣行の種芋を用いた場合に比べ地上部の生育は小さいが子芋、孫芋の肥大は優れこれらの割合が高率となって生産効率が良い。しかし、この培養球茎株を生育初期に水ストレス下におくと子芋の形状が長形となり、慣行小球茎株に近い生育状態になって有利性が著しく失われる(第IV章)。これらの生育差はどのような内的条件に基づいているのか明らかにするため、培養球茎、順化球茎、慣行小球茎、慣行球茎について、それぞれの内生生長物質を測定比較し生育の違いとの関連性を検討した。

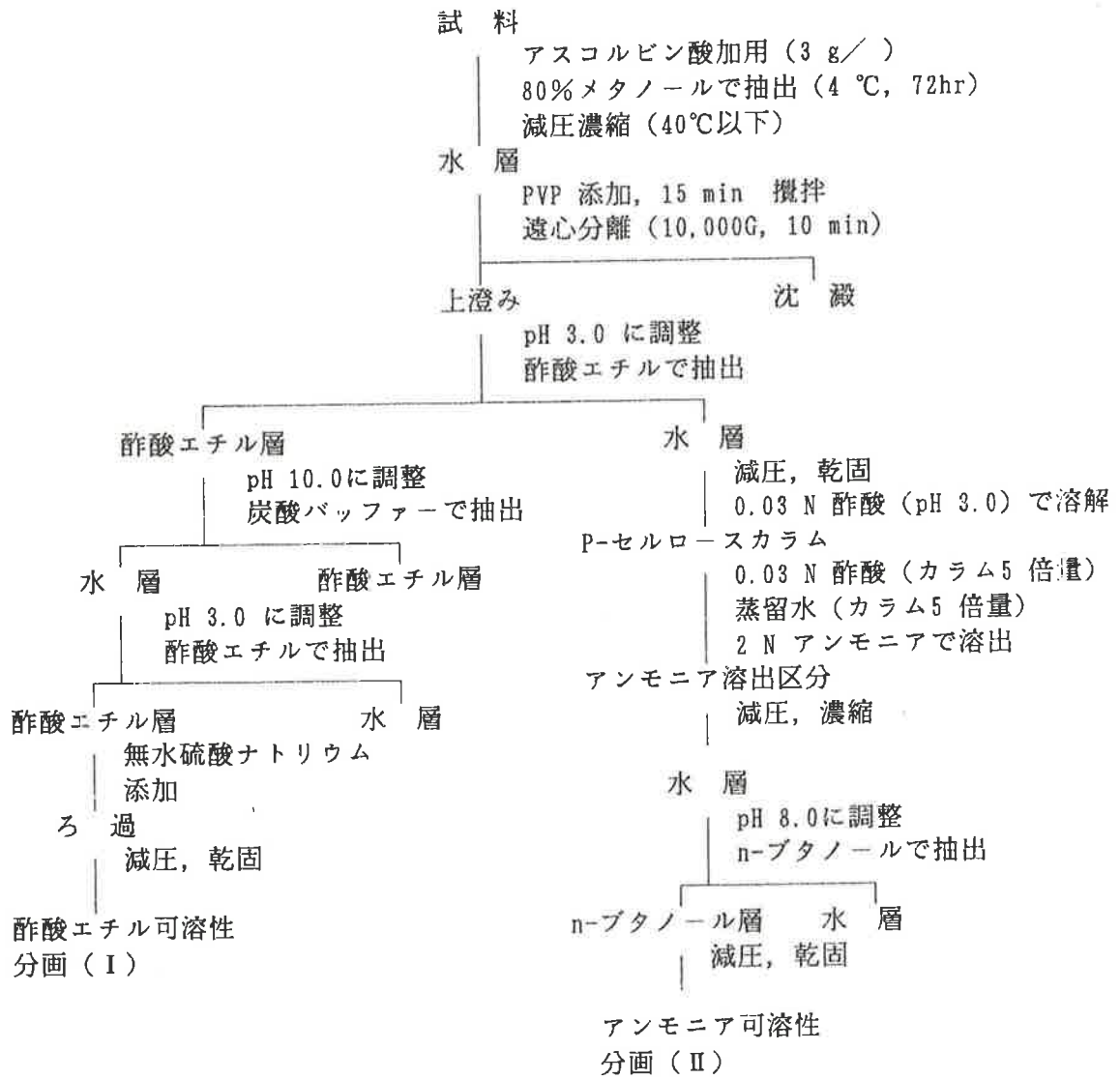
材料および方法

培養球茎、重さ約50gの慣行球茎、重さ1~2gの慣行小球茎および順化球茎(培養球茎株の4葉期に乾燥処理を行い基部に形成した球茎)を分析に供した。慣行球茎および慣行小球茎は前年栽培した保存株の球茎を、培養球茎および順化球茎は球茎形成後すぐに試験に用いた。1992年4月20日にこれらの球茎を市販の育苗用土を用いて25℃温室内で催芽した。5日後慣行球茎では20~30mmにその他の球茎では約10mmに頂芽が伸長したものを選び、頂芽部分と球茎(種芋)部分を採取した。試料は分析に用いるまで-80℃で保存した。

内生生長調節物質は第26図の方法に従って抽出、分離を行い、酢酸エチル可溶性分画およびアンモニア可溶性分画を得た。

酢酸エチル可溶性分画を用い、IAA(インドール酢酸)含量およびABA含量をガスクロマトグラフィー(ガスクロマトグラフ、検出器FTD、日立163型および検出器ECD、島津GC-7)でジベレリン様物質含量を矮性イネ検定法(品種、'短銀坊主')でそれぞれ測定した。サイトカイニンはアンモニア可溶性分画を用い液体クロマトグラフィーで測定した。

結 果



第26図 内生生長調節物質の抽出, 精製法

IAA 含量は球茎部分，頂芽部分ともに痕跡程度しか検出されず含量はわずかでいずれの球茎ともに差を認めることができなかつた。また，ABA 含量についてもいずれも含量はきわめて少なく球茎の違いによる差は見られず，順化球茎に特に多いという結果は得られなかつた。

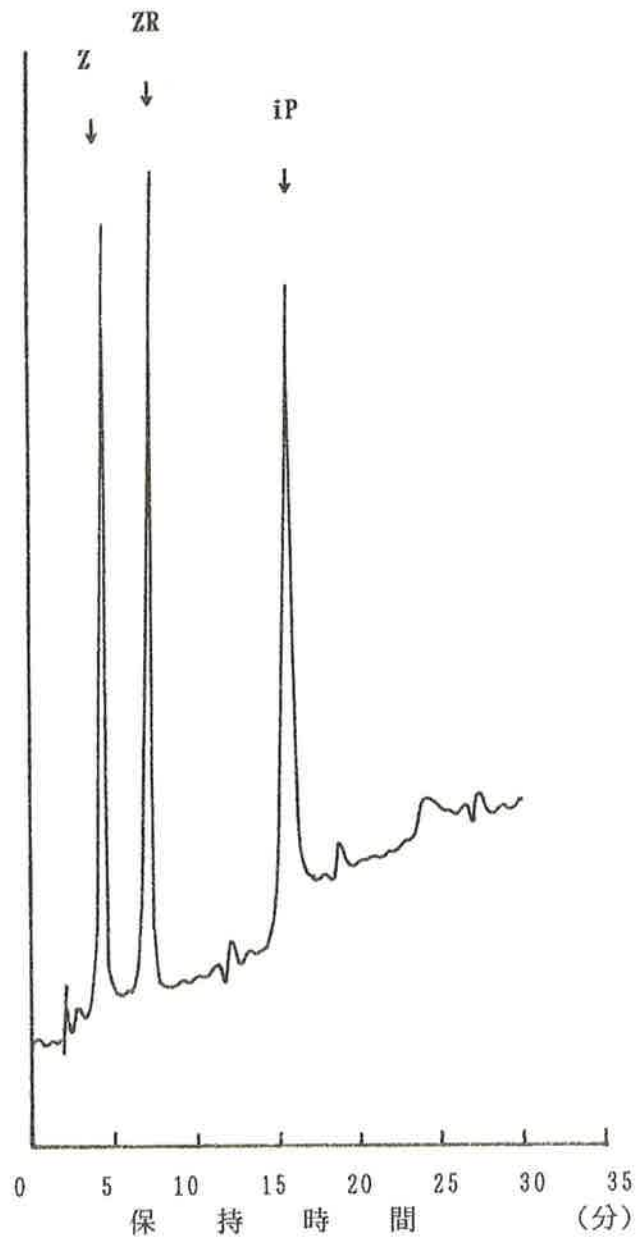
サイトカイニンのうちゼアチンについては球茎部分，頂芽部分ともに培養球茎が他に比べ含量が多かつた（第28図）。ゼアチンリボシドについても同様の結果であつた（第29図）。2-イソペンテニルアデニンについては第30図に示すように含有量は少なく，球茎間の差も小さかつた。

GA含量については第32図に示すように球茎間に大きい差は認められなかつた。

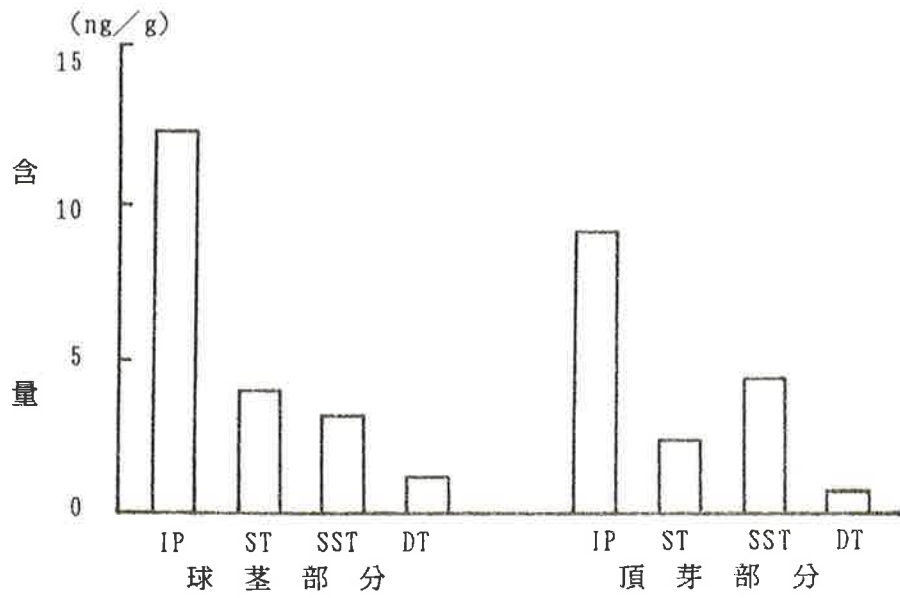
考 察

培養球茎株の生育特性は他球茎を種芋とした株と異なつてゐることを第三章で述べた。結果に示したように培養球茎は他の球茎に比べゼアチン，ゼアチンリボシドの含量が多く，種芋のサイトカイニンレベルの違いが生育特性の差に結び付いてゐるとみなされた。サイトカイニンは頂芽優勢を打破し腋芽の生育を促進する作用を有する（Tamas, 1988）。培養球茎では培養中にサイトカイニン含量が高まり，それが種芋として用いられる場合に後作用として働く結果，「頂芽」である親芋の地上部の生育が抑制されるとともに「腋芽」である子芋，孫芋の分化，生育が促進されると考えられる。

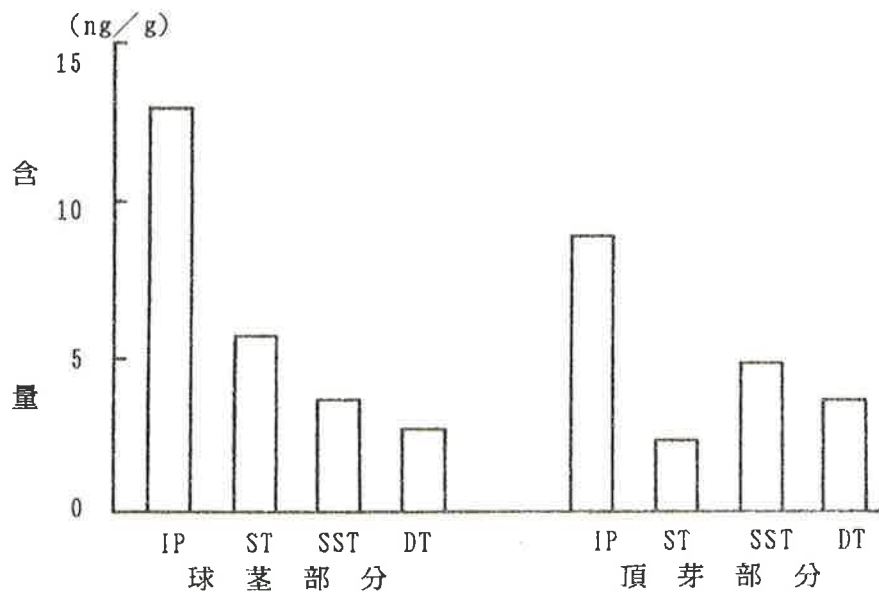
順化球茎株は培養球茎を種芋に用い，育苗中に乾燥処理を行つて得た球茎を再び種芋に使用したもので，培養球茎の植込みから45日程度の短期間に形成された球茎である。しかし，順化球茎株の地上部の旺盛な生育，各球茎の生育等の特性は慣行小球茎株の生育特性とほぼ同一であり，これは種芋のサイトカイニン含量ときわめて良く対応している。すなわち乾燥処理によって形成される球茎中のサイトカイニンレベルは低く，これを種芋とした場合，その生育は同じように種芋が小さくサイトカイニン含量が低い慣行小球茎と同様の生育を示すことから培養球茎が持つていた生育特性は乾燥処理により消失するように見えるものと考えられる。いずれにせよこのことはサイトカイニンが生育特性に



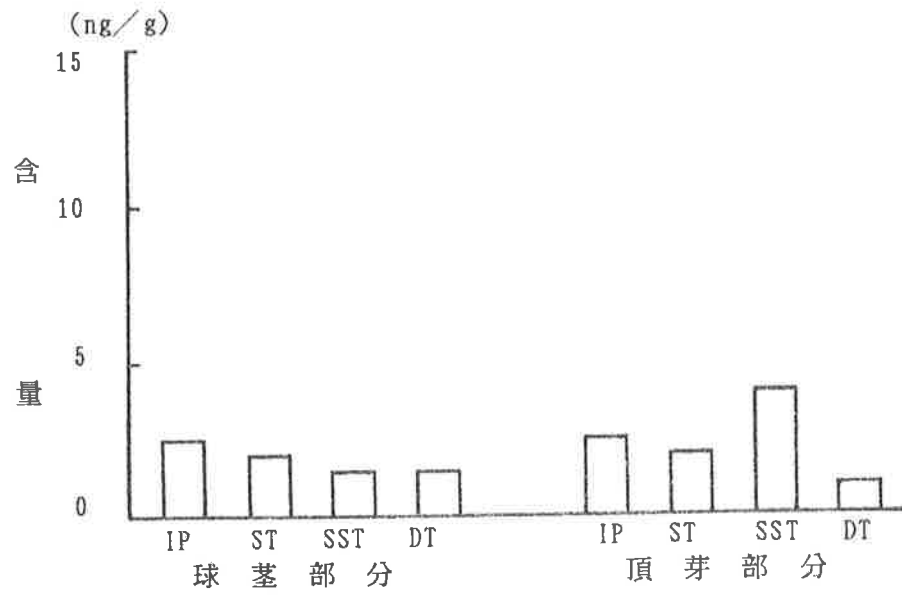
第27図 サイトカニン純品のクロマトグラム
 Z : ゼアチン, ZR : ゼアチンリボシド,
 iP : イソペンテニルアデニン.



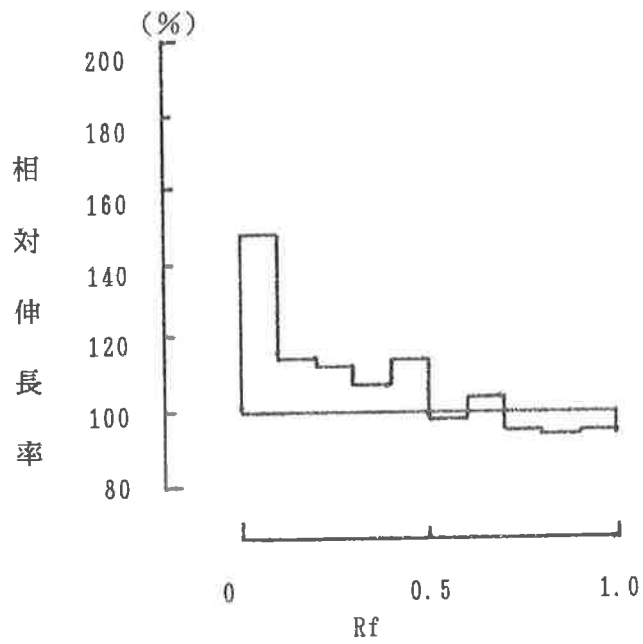
第28図 種芋に用いた球茎のゼアチン含量
 IP: 培養球茎. ST: 慣行球茎. SST: 慣行小球茎.
 DT: 順化球茎.



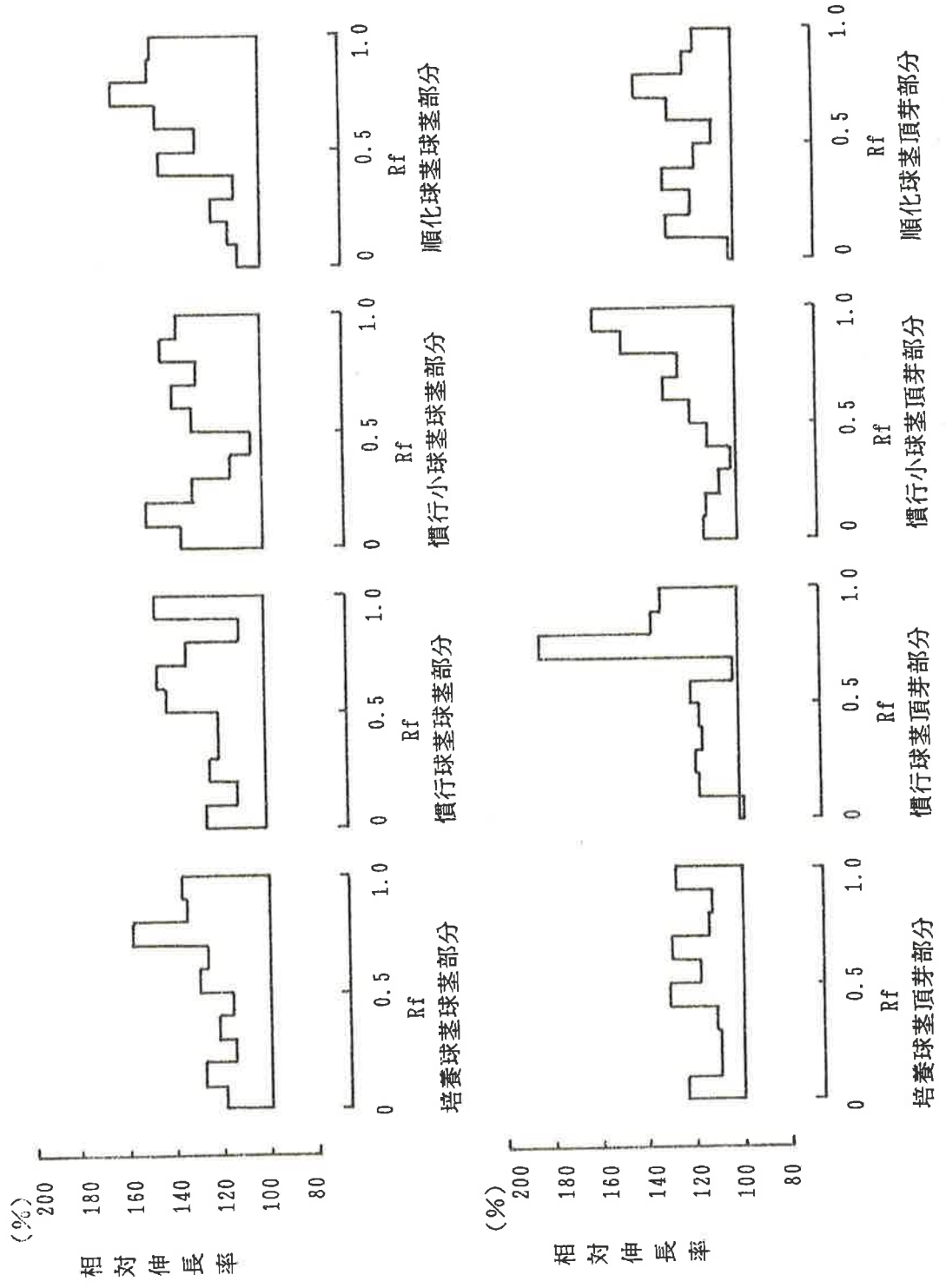
第29図 種芋に用いた球茎のゼアチンリボシド含量
 IP: 培養球茎. ST: 慣行球茎. SST: 慣行小球茎.
 DT: 順化球茎.



第30図 種芋に用いた球茎の2-イソペンテニルアデニン含量
 IP: 培養球茎. ST: 慣行球茎. SST: 慣行小球茎.
 DT: 順化球茎.



第31図 '短銀坊主' のGA₃ 純品に対する伸長率



第32図 種芋に用いた球茎のGA様物質含量

深く関わっていることを示す裏付けと解釈される。

以上のことから種芋のサイトカイニン含量は培養球茎株の特徴ある特性に關与する主要な要因の一つと考えられる。

GA₃ 以外のGA様物質含量は培養球茎に比べ地上部が旺盛な生育を示す慣行球茎、慣行小球茎がやや高かった。しかし、培養球茎と順化球茎については大きい差はなく、GA様物質含量によっては両者の生育特性の差は説明できなかった。GAはサイトカイニンとのバランスを通じて生育に關与しているものと推察される。

第2節 生長調節物質による生育調節

慣行小球茎を種芋に用いた場合、種芋の大きさが培養球茎株に近いにもかかわらず長形の子芋の割合が高いことを明らかにした（第Ⅲ章）。本節では球茎の形状が生長調節物質と密接な関係にあるかどうかを明らかにするため、GAおよびGA合成阻害剤を処理し検討した。

材料および方法

実験1. 培養球茎株に対するGAおよびS07 処理が球茎の形状におよぼす影響

培養球茎をプラグトレイ（60mℓ/セル；88穴）で育苗し、1990年5月15日にハウス内に定植した。育苗方法、栽植密度、施肥および土寄せ等の栽培管理は第Ⅲ章第3節で述べた早熟栽培と同様に行った。生育中（草丈25cm期）にGA 100 mg/ℓ およびS07 25mg/ℓ を株あたり20mℓ散布し、さらに20mℓを株元に灌注した。9月中旬に掘り取り球茎の形状を調査した。

実験2. 慣行小球茎株に対するS07 処理が球茎の形状におよぼす影響

慣行球茎株に着生した大きさ約2gの小球茎を種芋として用いた。1993年3月26日に種芋をプラグトレイ（60mℓ/セル；88穴）へ植え込み、25℃温室内で育苗した。育苗および栽培管理は実験1と同様に行った。栽植密度は120 cm×30 cmとした。S07 処理時期について4試験区を設け、栽培期間中に25ppmを第23表のとおり施用した。10月中旬に掘り取り球茎の形状を調査した。

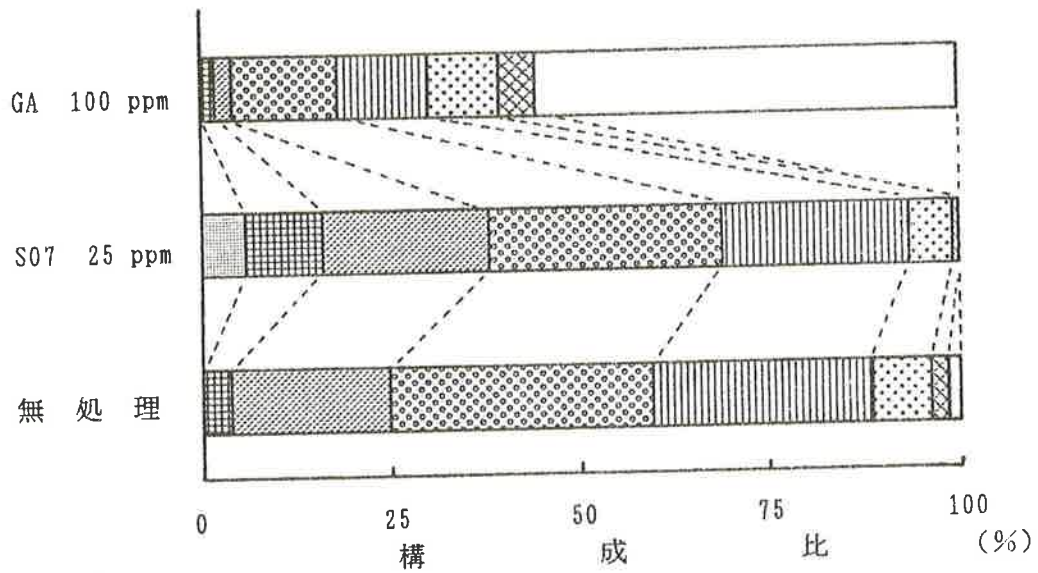
結果および考察

実験1で調査した結果、生育中にGAを処理した株では第33図および第34図に示すように長形の子芋、孫芋の割合が増加した。これとは反対にS07で処理した株では球形に近い子芋、孫芋の割合が増加した。GA、S07ともに孫芋より子芋の形状に対する影響が大きいことが認められた。実験2では第35図に示すように無処理区では長形の子芋の割合が高く、縦径/横径の値が2以上の著しく長い形状を呈するものが30%以上も認められた。これに対しS07処理を行った区では長形の子芋の割合が減少する傾向が見られ、処理①、処理②、処理③と処理回数が増えるに従い子芋の形状は縦径/横径の値が小さくなり球形に近く

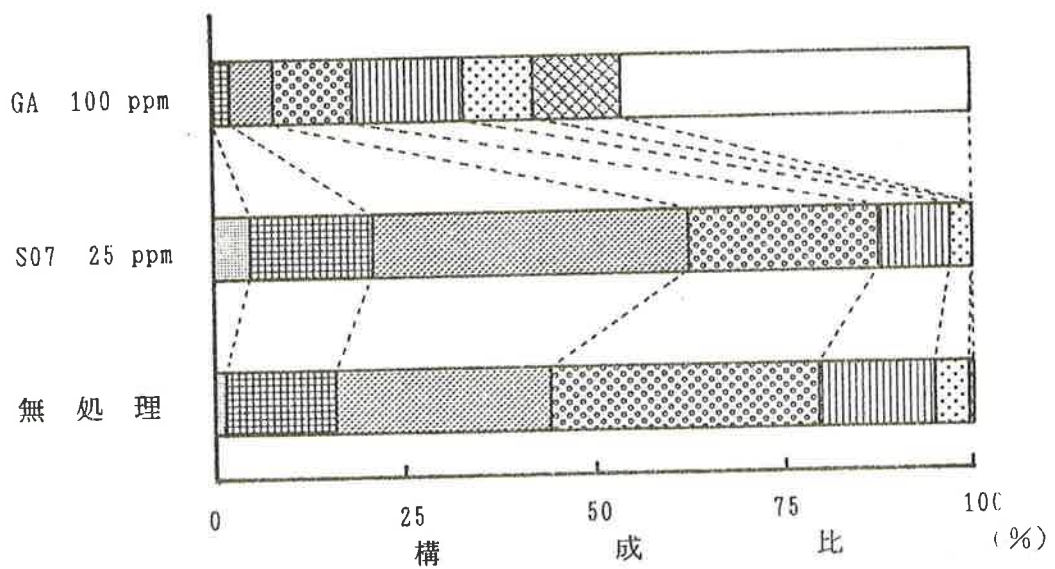
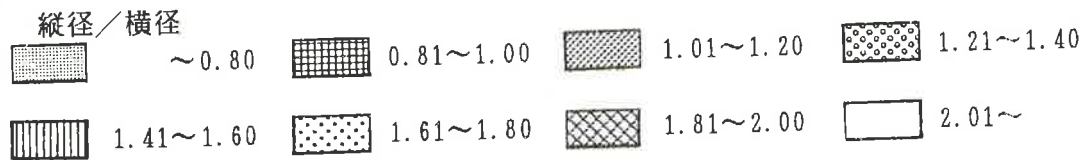
第23表 慣行小球茎株に対するS07 の処理時期および処理量²

処理区	処理時期 (月. 日)		
	5.27	6.27	7.27
無処理	-	-	-
処理 ①	5	-	-
処理 ②	5	15	-
処理 ③	5	15	25

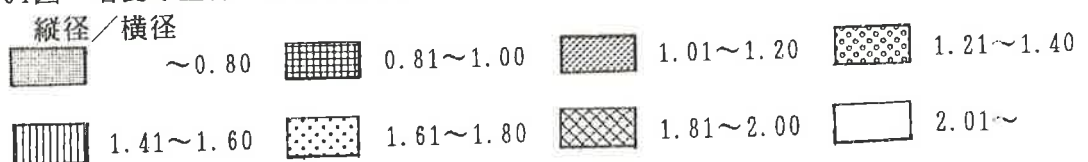
² 濃度25ppm , ml



第33図 培養球茎株に対する生長調節物質処理が子芋の形状におよぼす影響



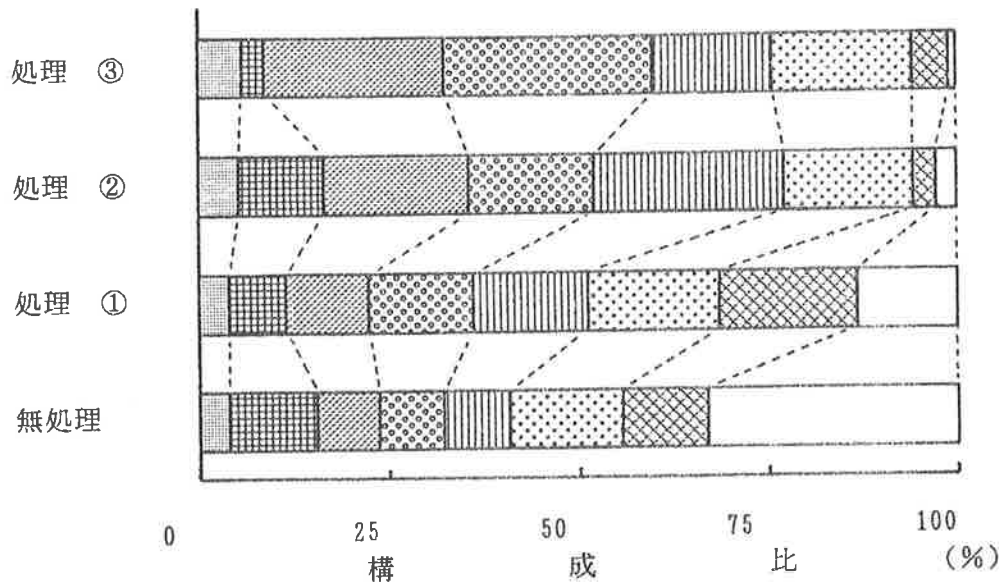
第34図 培養球茎株に対する生長調節物質処理が孫芋の形状におよぼす影響



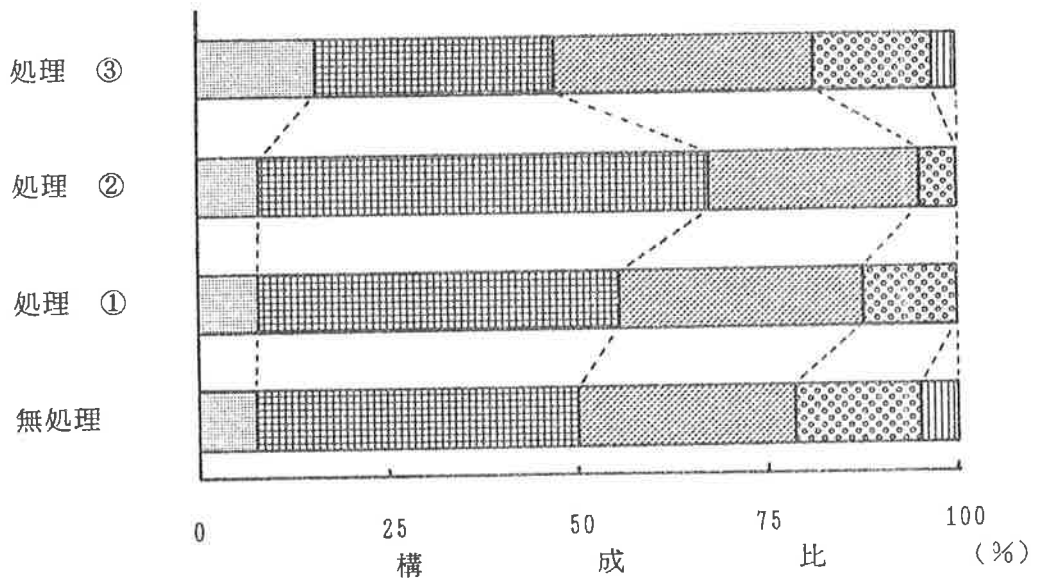
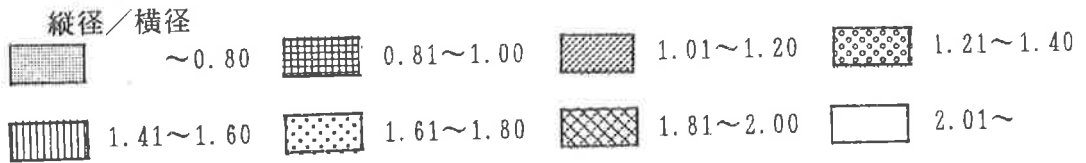
なった。孫芋でも無処理に比べ処理区では形状は丸くなる傾向にあったが子芋に比べS07 処理の影響は小さかった（第36図）。

これら実験の結果は球茎の形状が外部から投与した生長調節物質の影響を受けることを示している。桂ら（1989）は同様にエグイモの慣行球茎株に着生する球茎の形状が外部から投与した生長調節物質により影響されることを報告している。サトイモの球茎は側芽（分枝）が短縮肥大して形成されたものである（佐藤，1986）。本来球形に近い子芋を着生する培養球茎株にGAを与えると着生する子芋は節間が伸長して長形となり，逆に本来長形の子芋を着生する慣行小球茎株にGA合成阻害剤であるS07 を与えると着生する子芋は無処理株に比べ節間が短縮し丸い形状となることが観察された。第Ⅲ章第1 節で述べたように培養球茎株の球茎は慣行球茎株に比べ球形に近いが本実験でS07 を与えることによりさらに丸くなった。これらの結果は球茎の形状が球茎の節間長により変化し，節間の伸長にはGAが関与していることを示している。実験2 においてS07 の処理時期が子芋の形状におよぼす影響を見ると処理②と処理③の間の形状の差は無処理と処理①および処理①と処理②の間の差に比べ小さくなっている。これは処理③については処理時期が下～中位節の子芋の長さが決定される時期を過ぎていたためと考えられた。なお，慣行小球茎株では親芋の下位に着生する子芋は上位に着生するものに比べ縦長の傾向にある。球茎の形状は外部から与えた生長調節物質によっても制御可能であり，今後，さらに詳しく検討すれば栽培への応用の可能性があると考えられる。

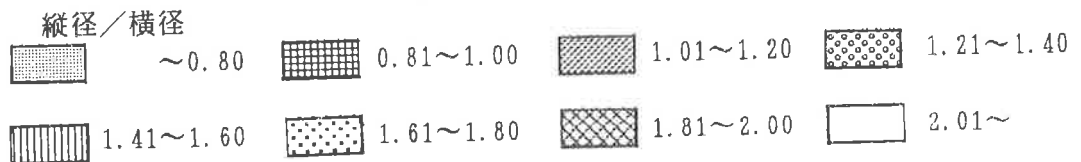
本節の実験の結果はまた，培養球茎株の生育期間中のGA活性は慣行小球茎株に比べ低いことを示唆している。培養球茎株ではGA活性が低いことが球茎の形状，さらには地上部の生育に影響していると推察される。



第35図 慣行小球基株に対するS07 処理が子芋の形状におよぼす影響



第36図 慣行小球基株に対するS07 処理が孫芋の形状におよぼす影響



第VI章 培養球茎を用いた種苗生産

システムの開発

第1節 変異株の早期検出法

培養苗の栽培では変異の発生が問題とされている。本研究で用いたサトイモ品種‘石川早生’でもごく低率ながら変異個体が見られた。培養系を利用した大量増殖ではこのような変異個体を早期に除去する必要がある。作物の品種分類の手法として従来形態による分類に加え、タンパク質やアイソザイムを用いた生化学的手法も試みられるようになった(Yamaguchi・Mino, 1981)。サトイモでは球茎タンパクや葉のアイソザイム泳動パターンを用いた品種の分類が試みられている。本実験ではこれらの方法を用いた培養段階での変異個体の検出について検討した。

材料および方法

サトイモの5品種および第24表にその特性を示す‘石川早生’の変異系統2系統を用いた。このうち変異系統Aは茎頂培養で得られた変異個体を増殖した系統で葉柄が暗紫色を示し、子芋や孫芋の着生が極めて少ない特性を持つ。変異系統Bは変異系統Aの栽培中に芽条変異により得られた個体を増殖した系統で葉柄色は淡緑色で地上部の形態、球茎の着生、肥大状況は‘石川早生’とは明らかに異なる。これら品種・系統を第I章第1節の方法に従って培養系で増殖し、さらにショ糖濃度8%MS液体培地で40日間培養して基部に球茎を形成した培養苗の葉および球茎(培養球茎)を分析に用いた。また圃場で生育中(9月)の葉および収穫時の球茎(慣行球茎)についても分析を行った。

試料をタンパクあるいはアイソザイム抽出用緩衝液中で磨碎し、ポリアクリルアミド電気泳動にかけた。タンパクは泳動後クマシーブリリアントブルーで染色した。アイソザイムはパーオキシダーゼについてはカルバゾール法により、PGM (Phosphoglucomutase), PGI (Phosphoglucose isomerase) については

第24図 変異系統の生育特性

品 種 系 統	草 丈 ^z (cm)	親芋重 (g)	子 芋		孫 芋		ひ孫芋	
			個数	重量 (g)	個数	重量 (g)	個数	重量 (g)
石川早生	119.7 c ^y	223.3 b	11.9 c	532.2 c	18.2 c	576.4 b	1.7 a	13.5 b
変異系統A	76.9 a	114.9 a	0.8 a	66.9 a	0.2 a	3.1 a	0 a	0 a
変異系統B	86.5 b	259.9 b	7.6 b	393.3 b	5.6 b	54.3 a	0.3 a	1.9 a

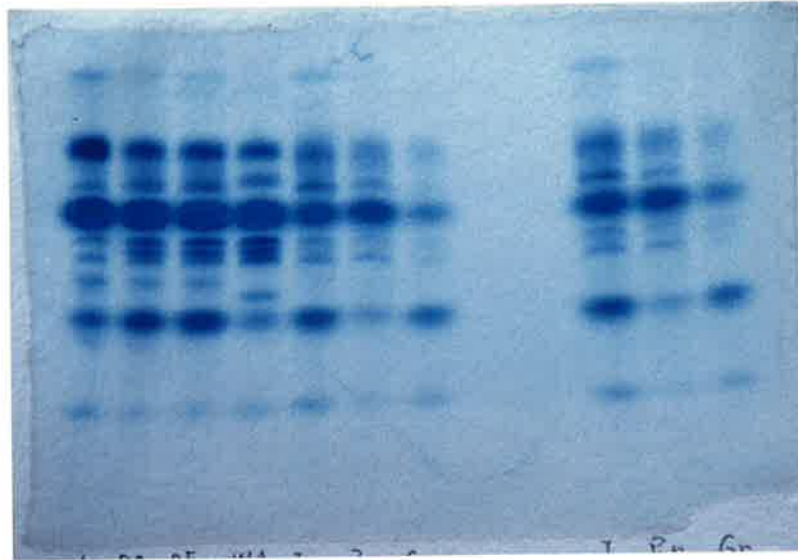
^z 8月28日調査。
y ダンカンンの多重検定5%水準。

Tottesら（1978）の方法で染色した。各試験はいずれも3回以上繰り返して実施した。

結果および考察

球茎タンパク質の泳動パターンは第37図および第38図に示すように品種・系統間に差が認められた。また、同品種・系統でも培養球茎と慣行球茎の間に差が見られた。さらに培養球茎では‘石川早生’とその変異系統の間に差が見られ、変異系統Aでは消失したバンドや、濃さが変化したバンドが認められた。変異系統Bではバンドのパターンは‘石川早生’と同じであったが濃さの変化が認められた。慣行球茎では変異系統は両系統ともに‘石川早生’とバンドの位置の変化はなかったが濃さが変化した。Hiraiら（1989）は球茎タンパク質について品種群間で泳動パターンに基づく分類が可能であることを報告している。‘石川早生’とその変異系統では第51表に見られるように子芋、孫芋の着生や葉柄色等形態的特性が大きく変化しているがタンパク質レベルでも差が認められた。長田ら（1990）は慣行球茎と培養球茎のタンパク質泳動パターンが一致するとしているが本実験では同一と思われるバンドも多く両者の間に相似性は認められるものの完全には一致しなかった。アイソザイム泳動パターンは生育ステージにより変化することが知られている（一色ら，1991）。タンパク質についても生育のステージにより変化すると考えられる。培養苗の葉について分析した結果、第39図に示すように培養苗は薄いバンドが得られたが圃場で生育中の株ではタンパクのバンドは得られず、いずれも品種・系統間の差異は明らかでなかった。

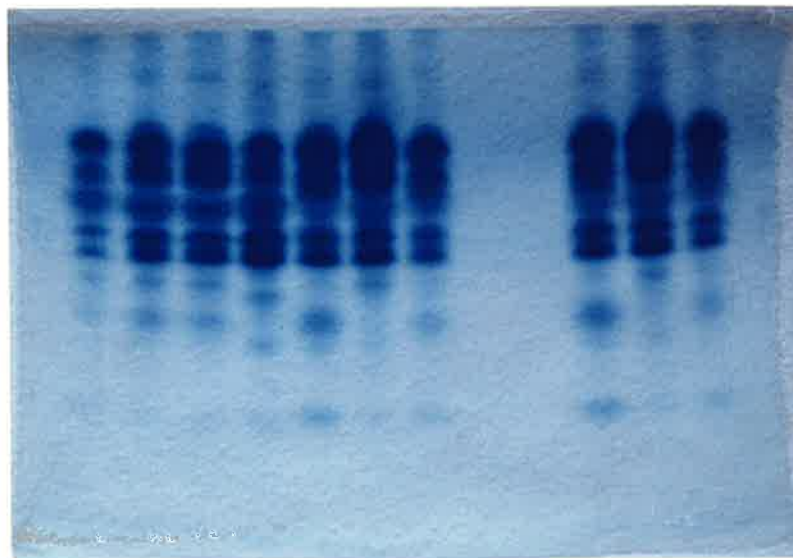
Tanimoto・Matsumoto（1986）はエステラーゼ泳動パターンに基づくクラスター分析によりサトイモ品種の分類が可能であることを示している。本実験のパーオキシダーゼの場合、品種間には差異が認められた。しかし、‘石川早生’とその変異系統間ではバンドの位置は同じであり、活性の程度が変わっているのみで大きい差は見られなかった（第40図）。PGM（第41図）、PGI（第42図）についても品種間に差が認められたが‘石川早生’とその変異系統の間で



U DO SE WA I MA MB I MA MB

第37図 慣行球茎タンパクの泳動パターン

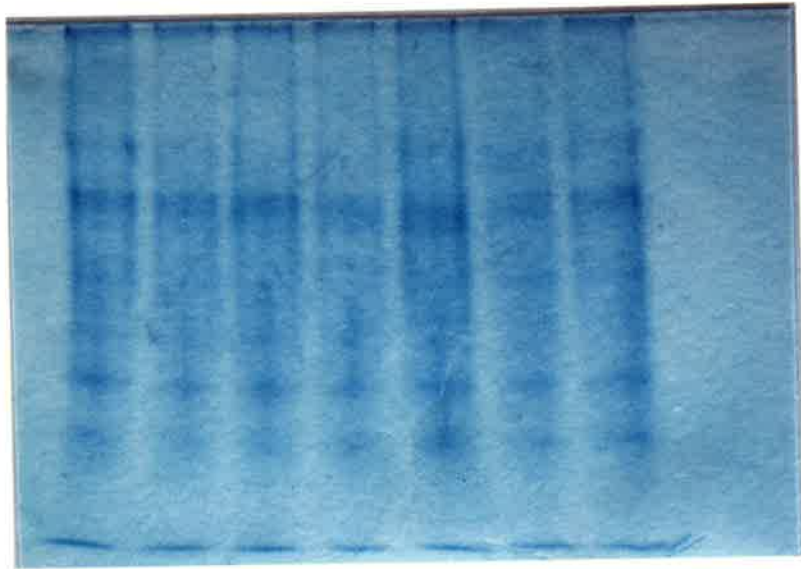
U : 烏播, DO : 土垂, SE : セレベス, WA : 早生小蓮葉芋,
I : 石川早生, MA : 変異系統 A, MB : 変異系統 B.



U DO SE WA I MA MB I MA MB

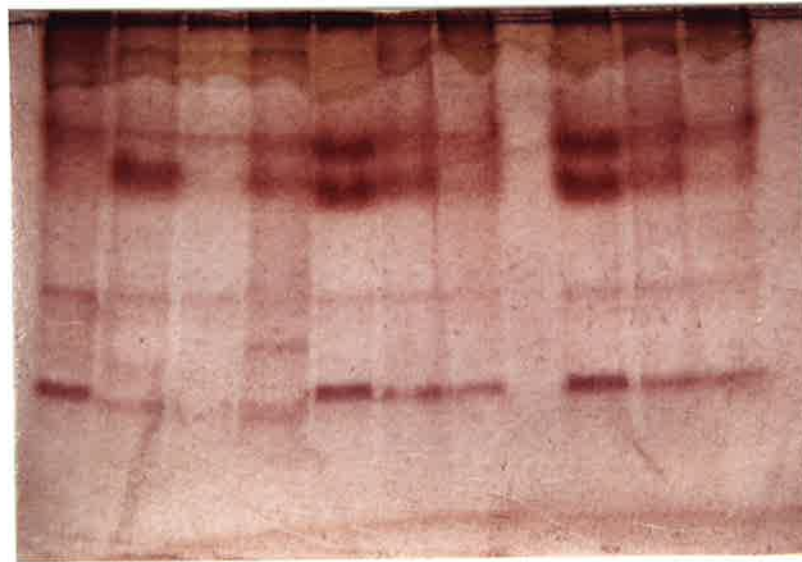
第38図 培養球茎タンパクの泳動パターン

品種・系統は第37図に同じ。変異系統A では←の
バンドの消失が見られる。



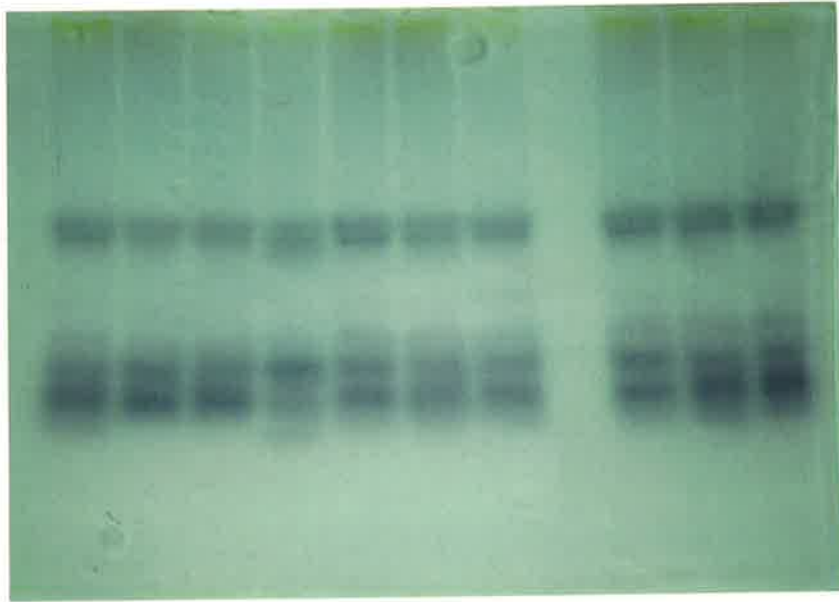
U DO SE WA I MA MB

第39図 培養苗の葉タンパクの泳動パターン
品種・系統は第37図に同じ。



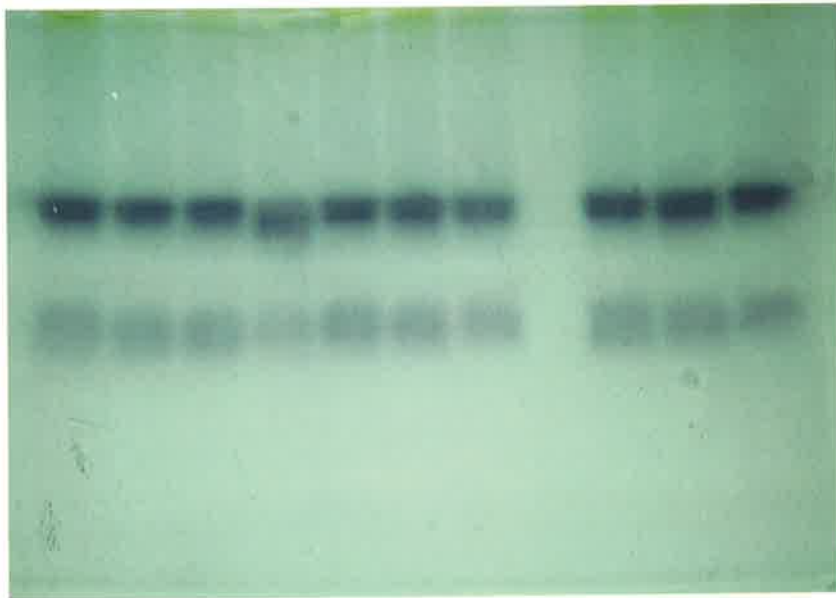
U DO SE WA I MA MB I MA MB

第40図 培養苗のパーオキシダーゼ泳動パターン
品種・系統は第37図に同じ。



U DO SE WA I MA MB I MA MB

第41図 培養苗のPGM 泳動パターン
品種・系統は第37図に同じ。



U DO SE WA I MA MB I MA MB

第42図 培養苗のPGI 泳動パターン
品種・系統は第37図に同じ。

は大きい差は見られなかった。

‘石川早生’では本試験以外でも茎頂培養で葉柄が暗紫色の変異株Aと類似した変異体の出現が報告されており（Morishita, 1988; 長田・後藤, 1989）, 大量増殖を行う場合は事前に除去する必要がある。形態的に見て疑わしい増殖用母株について球茎の一部を用いタンパク質の分析を行えばより正確に変異株の検出を行うことが可能とみなされる。他のアイソザイムや他品種での変異系統などを用いてさらに詳しく検討を進めることにより今後, 細胞育種や培養中の変異利用育種で培養段階での個体選抜にも利用できるようになると考えられる。

第2節 球茎の簡易大量培養技術の確立

第I章では苗条のin vitroでの増殖および球茎形成について基礎的な実験を行った。培養系を用いた大量増殖は野菜、花きを始め樹木でも研究が進められており、今後、実用化のため培養規模のスケールアップが必要である。すでに一部の作物では種苗の大量培養、供給を目的としたジャーファーマンターや大型の培養箱を用いた研究がすすめられている。一方、最近では市町村や地域の農協に中小規模の培養施設が設置されるようになりサトイモを含めた種々の地域特産物の培養苗が供給され始めているが、これらの多くの施設では依然として実験室規模の小型の培養器を多数用いる方法で培養が行われている。栽培面積が小さければこのような方法でも対応可能であるが、増殖効率は低く、種苗のコストも割高になる。しかし、効率の向上に重きをおいて大型のジャーファーマンター等、大量培養装置を導入すると中小の施設では設置の経費やこれを維持する技術面で困難が伴う。そこで本節ではこれら中小規模施設で容易に利用でき、しかも産地に種苗を安定供給することが可能な培養方法の確立のため検討を行った。

材料および方法

実験1. 分割球茎からのシュート形成

静置培養、旋回培養およびローラーボトル型培養で球茎切片からのシュートの生育について比較した。静置培養および旋回培養では200 mLフラスコにショ糖濃度3%のMS液体培地を40 mL入れ球茎切片(約0.2g)を容器あたり10個体置床した。ローラーボトル型培養では500 mLの円筒形ガラス製培養器に同様の培地を100 mL入れ球茎切片を25個体置床した。旋回培養では70 rpmで容器を水平に旋回させ、ローラーボトル型培養では傾斜した容器を2 rpmで回転した。容器のフタはいずれもアルミホイルを用いた。培養温度は25°C、培養棚面における光量子束密度を $30 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、日長は16hrとし17日間培養した後シュートの生育を調査した。また、培養液の溶存酸素濃度を酸素電極(Hansatech社製)で計測した。

実験 2. 苗条の培養

ローラーボトル型培養，静置培養およびエアリフト型培養器における苗条の生育，球茎の肥大について比較を行った。第 I 章実験 1 と同様に球茎を分割して増殖し，発根した苗条を培養した。ショ糖濃度 8 % MS 液体培地を用い，個体あたりの培地量をいずれも 5 ml とした。すなわち，ローラーボトル型培養では 1000 ml 容器に培地 500 ml を入れ 100 個体を置床した。静置培養では 500 ml フラスコに培地 100 ml を入れ 20 個体を置床した。また，エアリフト型培養器ではガラス製の容量 150 ml の容器に培地 100 ml を入れ 20 個体を培養した。ローラーボトル型培養ではアルミ箔に直径 9 mm の孔を開け，孔径 0.5 μ m のフロロカーボン製メンブランフィルターを張り付けたものを容器のフタとして用いた。静置培養ではアルミ箔でフタをした。エアリフト型培養器では 0.6 ml/min で通気を行った。また，ローラーボトル型培養では傾斜した容器を 1 rpm で回転した。さらに，ローラーボトル型培養では明条件，暗条件下で培養を行い，培養苗の形態を調査した。培養温度はいずれも 25°C，明条件では実験 1 と同様の光条件とし，40 日間培養後培養苗の生育を調査した。

実験 3. ローラーボトル型培養における通気条件

1000 ml の円筒形ガラス容器にショ糖濃度 3 % MS 液体培地を 200 ml 入れて用いた。フタにはシリコンゴムパッキンの付いたフェノール樹脂製キャップを用いた。フタの通気孔の大きさを通気孔無し，9 mm, 18 mm の 3 水準とし，孔径 0.5 μ m のフロロカーボン製メンブランフィルターを張り付けた。培養球茎の切片（約 0.2 g）を各容器に 50 個体置床し，実験 1 の明条件と同様の培養条件下で 25 日間培養後球茎から生育したシュートの生育を調査した。また，培養液の溶存酸素濃度を酸素電極（Hansatech 社製）で計測した。

結 果

実験 1. 分割球茎からのシュートの形成

球茎切片から伸長したシュート数には培養方法による差は見られなかった。しかし，シュートの生育は静置培養に比べ巡回培養，ローラーボトル型培養法

が優れた。また、静置培養に比べローラーボトル型培養では培地の溶存酸素濃度が高く、巡回培養以上に維持されることが明らかになった（第43図；第25表）。巡回培養、ローラーボトル型培養ではシュートの生育が優れるため第I章で述べた増殖のためのシュートの分割は静置培養に比べ7～10日早く行うことが可能で培養期間が短縮できた。

実験2. 苗条の培養

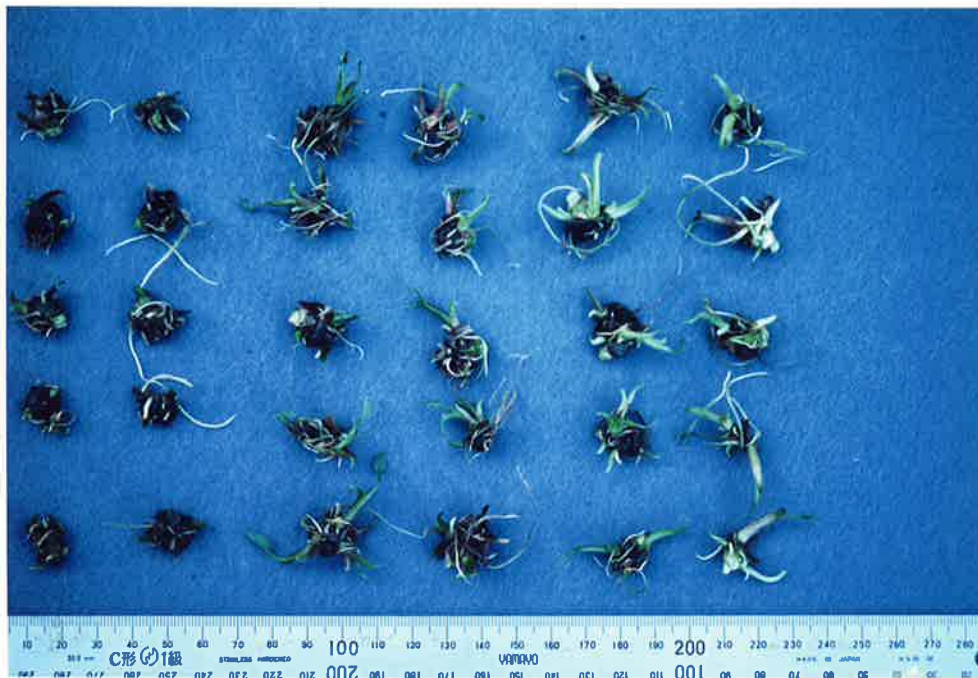
苗条のローラーボトル型培養では苗条は培養開始後しばらくは培地中に浮遊しているが、生育が進むと容器の回転に従い回転した。第44図にみられるように培養終了時には培養苗は容器内をすべて満たすまでに生育した。また、ローラーボトル型培養では静置培養に比べ葉および根の生育が優れた（第26表）。さらに、静置培養に比べ球茎の肥大も優れ、エアリフト型培養とほぼ同程度の生育を示した（第45図、第46図、第47図）。ローラーボトル型培養およびエアリフト型培養ともに静置培養に比べ側芽が多く分化した。ローラーボトル型培養における光条件についてみると暗条件で培養した培養苗は明条件で培養したものに比べ葉が徒長し、草丈が高くなった。また、球茎の肥大も劣った（第26表、第48図、第49図）。

実験3. ローラーボトル型培養における通気条件

通気孔について検討したところ第27表に示す結果が得られた。すなわち通気孔が無い場合は培地の溶存酸素濃度が大きく低下した。通気孔の大きさと酸素濃度との関係を見ると9 mmと18 mmの間で培地の溶存酸素濃度に差は認められなかった。球茎切片からのシュートの分化数には通気の有無による差は見られなかったが、シュートの生育は通気孔がある方が優れた（第27表、第50図）。通気孔が無い場合は根の生育が特に不良であった。また、展葉数も少なく、葉の形態は葉身が形成されず不完全であった。

考 察

栄養繁殖体を形成するジャガイモ（秋田，1989），シンビジュウム（本條・高倉，1987），イチゴ（高山，1985）などでジャーフェンターを用いた大



第43図 培養法とシュートの生育
 左：静置培養，中：巡回培養，右：ローラーボトル型
 回転培養。

第25表 培養方法がサトイモ培養球茎切片からのシュートの生育に
 およぼす影響

培養方法	シュート数	シュート長 (mm)	溶存酸素濃度 (ppm)
ローラーボトル	4.1 a ^z	16.3 b	7.6 c
巡回培養	4.5 a	17.3 b	7.2 b
静置培養	3.7 a	9.0 a	6.0 a

^z ダンカンの多重検定 5%水準。

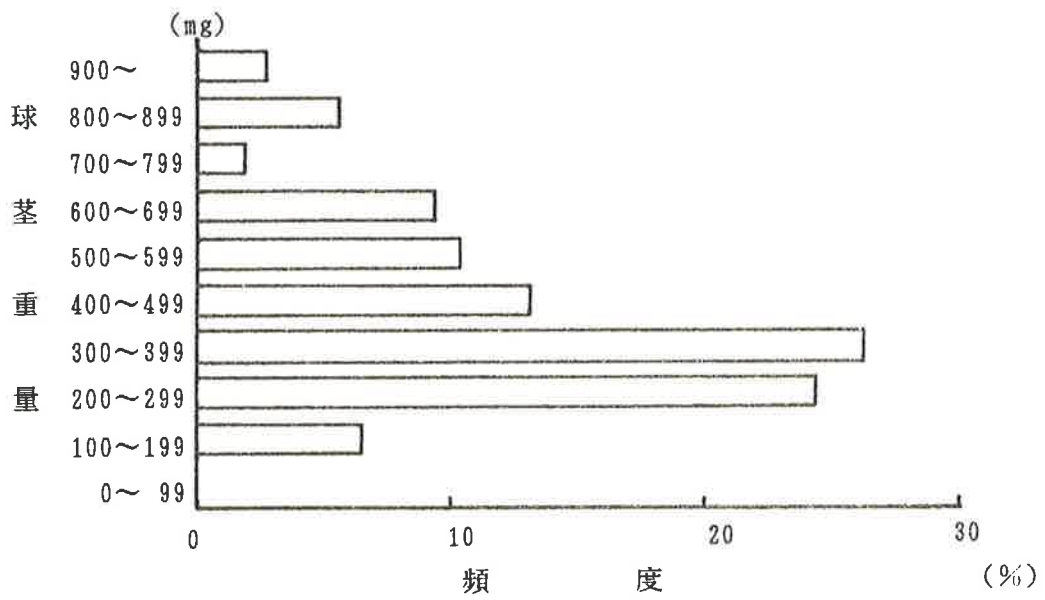


第44図 ローラーボトル型培養における苗条の生育

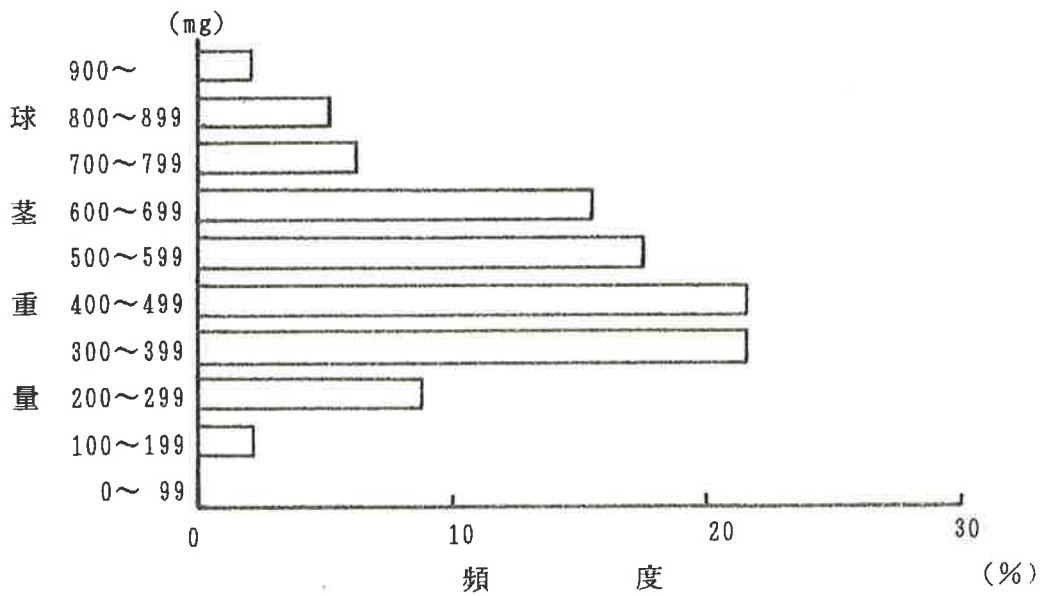
第26表 培養方法および光条件がサトイモ培養苗の生育におよぼす影響

培養方法	光条件	培養苗の生育			
		草丈 (mm)	葉重量 (mg)	根重量 (mg)	側芽数
ローラーボトル	明	55.7 b ^z	452 b	238 b	2.0 b
ローラーボトル	暗	72.8 c	466 b	162 ab	1.6 b
エアリフト	明	72.5 c	501 b	201 ab	1.8 b
静置培養	明	37.3 a	125 a	96 a	0.5 a

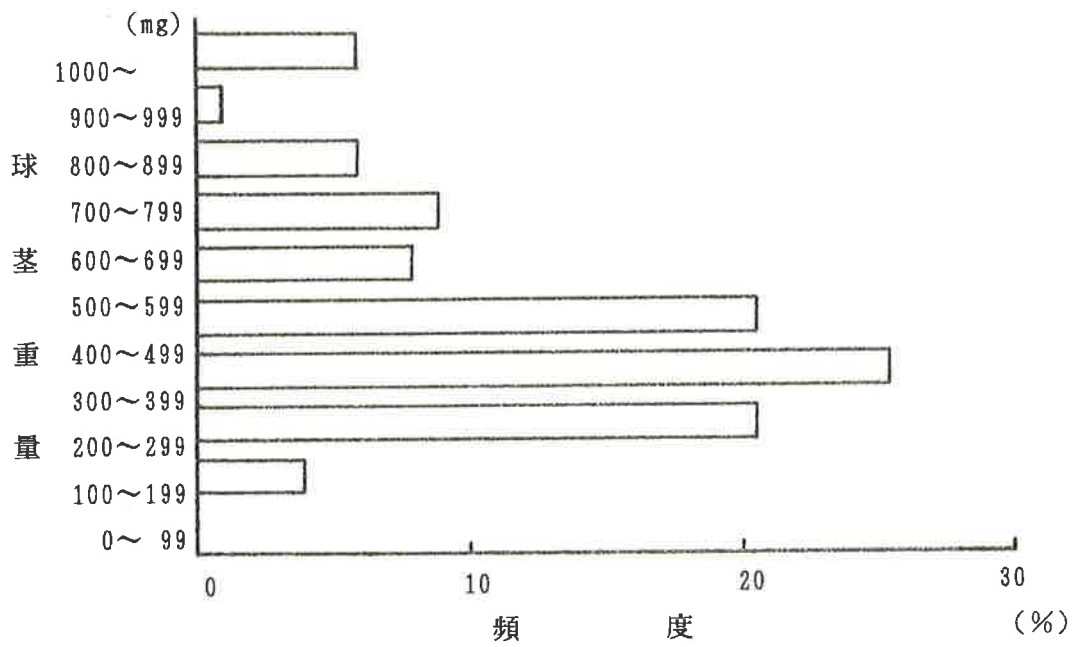
^z ダンカンの多重検定 5%水準.



第45図 静置培養における球茎重量の分布



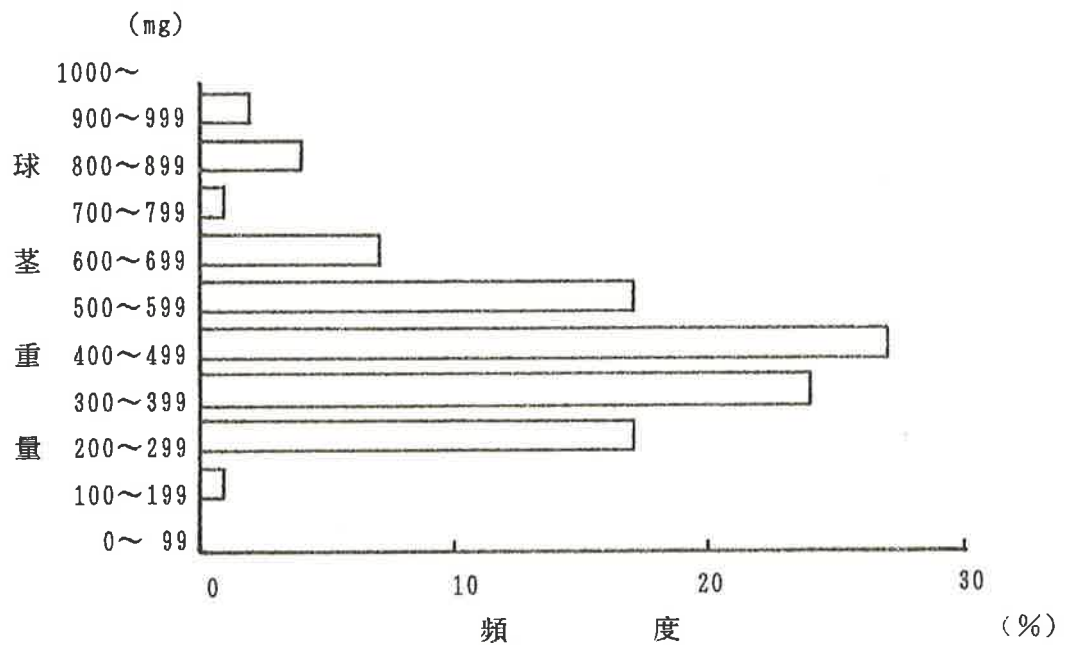
第46図 明条件下でのローラーボトル型培養における球茎重量の分布



第47図 エアーリフト型培養における球茎重量の分布



第48図 ローラーボトル型培養における光条件が培養苗の形態におよぼす影響
左：暗条件. 右：明条件.



第49図 暗条件下でのローラーボトル型培養における球茎重量の分布

第27表 通気孔の大きさがサトイモ培養苗の生育および溶存酸素濃度におよぼす影響

通気孔の 大きさ	培養苗の生育					溶存酸素
	シュート 数	草丈 (mm)	葉数 (枚)	根長 (mm)	苗重量 (mg)	濃度 (ppm)
なし	4.7 a ^z	32.9 a	2.4 a	5.3 a	24.0 a	2.4 a
9 mm	4.9 a	35.2 a	4.0 b	42.2 b	41.9 b	6.7 b
18mm	5.3 a	33.9 a	4.0 b	27.1 b	36.9 b	6.9 b

^z ダンカンの多重検定 5%水準.



第50図 ローラーボトル型培養における通気条件が球茎切片からのシュートの生育におよぼす影響
上：通気孔18mm . 中：通気孔 9mm . 下：通気孔なし.

量増殖の研究が行われている。サトイモでも同様な方法で培養が可能であることが報告されている（高山ら，1989）。しかし，ジャーメンターでは一度に大量の種苗を培養することは可能であるが装置は高価であり，操作も複雑である。これに比べ，本実験で検討したローラーボトル型培養法は取扱いの容易な簡単な装置で1ℓ以下～20ℓ規模までのスケールで培養が可能である。ジャーメンターでは大容量での培養が可能であるが雑菌の混入には細心の注意を払う必要がある。ローラーボトル型培養法では中小規模の培養槽を多く用いて培養するため，雑菌の混入について危険分散が可能である。山本ら（1990）は培養ラックと大型の培養箱を用いたジャガイモの大量増殖法について報告している。大型の培養箱を用い，多数のロットに分けて培養されるが滅菌，エアレーションのためシステムはかなり複雑となっている。ジャーメンターや培養箱を用いた培養では培地の溶存酸素濃度を保つためスパジャーなどを用いた積極的なエアレーションが必要とされる。しかし，ローラーボトル型培養では結果に示すとおりフタの部分に無菌フィルターをはりつける方法で培地の溶存酸素濃度はほぼ飽和濃度近くに維持することができた。これは容器の回転に伴い空気と培地の接触面が大きくなるためと考えられる。この結果，苗条はエアーリフト型培養器での培養とほぼ同程度の生育を示した。

サトイモでは第I章で述べたとおり明条件下での培養が球茎の形成に適する。ローラーボトル型培養では培養容器はガラス製で透明であるため培養中光を利用することができ，苗の徒長を防止することができるため球茎の肥大も優れた。ローラーボトル型培養はサトイモ以外の作物の培養にも利用可能であると考えられる。栄養繁殖体を形成しない作物ではスケールアップした場合ジャーメンター等，暗条件下での培養では苗が徒長し，外部環境への適応が困難になると思われる。しかし，ローラーボトル型培養では培養中光が利用でき培養苗も正常に生育するため順化が容易になると考えられる。

20ℓ程度までの培養器では実験室で通常使用される小型の装置で滅菌が可能である。また，培地の交換もアスピレーターで容器内部の培地を吸引する方法

で容易に行うことができる。サトイモではこのため同一の容器で培養球茎からのシュートの発生、シュートの培養に続きショ糖濃度を8%に上げた培地に変換して球茎の形成まで連続して同一の容器で培養が可能であった。このようにローラーボトル型培養は簡易な装置で取扱いも容易である。したがって、地域に設置される培養施設でサトイモだけでなく他の地域特産作物の培養にも利用できると思われる。また、実験室での研究用培養苗の大量増殖にも利用できる。

第3節 培養球茎の保存法

培養苗の保存については、培地浸透圧の調整や低温により培養中の苗条の生育を抑制する方法がこれまでに報告されている（山本ら，1989；岡・新野，1989）。培養後培養器外で長期の保存を行うことは培養苗の生理上困難である。しかし、栄養繁殖体であり栄養貯蔵器官であるサトイモ球茎は第Ⅱ章で述べたように生育中の培養苗に比べ環境ストレス耐性があるため保存に適していると考えられる。培養球茎の植え付け時期は3～5月であるが培養は年間を通じ行えるため、培養した球茎を利用時期まで保存することができれば中小規模培養施設の効率的利用で、より多くの種苗が供給できる。また、種苗の出荷調整も可能になる。本節では培養球茎の保存法について検討した。

材料および方法

ショ糖濃度8%MS液体培地で40日間回転培養して得た培養苗の球茎部分を試験に用いた。苗を培養器から取り出し、苗の葉および根を切除した球茎部分を水で洗浄し付着した培地を除いた。次いで、クリーンベンチ内で重量が培養直後の90%になるまで球茎の水分を減少させた。保存用容器として容量100mlのガラス製容器、同様の容器でフタに径9mmの通気孔を開けフロロカーボン製メンブランフィルターを貼り付けたもの、ポリエチレン製袋および紙製の袋を用いた。各容器に球茎を50個体ずつ入れ、ガラス製容器はプラスチック製のフタで密栓した。ポリエチレン製袋はシーラーで密封し、紙製の袋では接着剤で封をした。15℃暗黒条件下で90日間保存した。

それぞれの方法による保存状態を評価するため、保存後ベノミル水和剤1000倍液に12hr浸漬し、プラグトレイ（60ml/セル；88穴）へ植え込んだ。25℃ファイトトロン内に置き10日後に出芽率を調査した。

次に、より長期の保存を目的としてポリエチレン製袋を用いて同様の方法で6ヶ月間保存した後、25℃温室内で育苗し30日後の苗の生育を調査した。

結果および考察

第28表に示すように通気孔に無菌フィルターを貼り付けフタをしたガラス製

容器および紙製の袋で保存した球茎は保存中に乾燥し重量が著しく減少した。ガラス製容器で密栓したものおよびポリエチレン製袋で密封した球茎も保存前に比べ球茎の重量が減少したが通気のある状態で保存したものに比べ減少量は少なかった。ポリエチレン製袋では保存中にフィルムが球茎に密着する状態になった。また、ガラス製容器で密栓したものでは容器内面に水滴が付着した。

保存球茎を土壌へ移植した結果は第29表に示すとおりであった。通気のある状態で保存した球茎では全く出芽が見られず、これらは乾燥により枯死したものと考えられる。湿度が保てるガラス製容器およびポリエチレン製袋で保存した球茎は土壌へ移植後出芽、生育した。出芽の状態はポリエチレン製の袋で保存した球茎がガラス製容器で保存した球茎に比べやや早かった。慣行の栽培で用いられる種芋は冬季間、土中や温度の保てる室内で保存される。嘉儀（1898）はサトイモの慣行球茎を10℃あるいは室温で保存する場合は紙製の袋が保存状態が優れ、ポリエチレン製の袋では多湿であるため保存中に腐敗しやすいことを報告している。慣行球茎では通気が保てる状態での保存が適するが培養球茎では通気のある状態で保存すると乾燥枯死することが明らかになった。培養器内の環境で形成された培養球茎は乾燥に対する耐性が外部環境で形成された慣行球茎に比べ小さく、また、球茎の大きさも非常に小さいことから水分を失い易いため、多湿状態で保存する方法が適するものと考えられる。通気のある状態で保存する場合は湿度の調整が必要と考えられ今後検討の余地がある。湿度を保った状態のガラス製容器およびポリエチレン製袋では保存終了時にはいずれも芽が5～10mm伸長した状態であった。

ポリエチレン製袋で6ヶ月間保存した培養球茎を用いて育苗した結果、腐敗球は無くすべて出芽した。培養後すぐに育苗した第II章の場合に比べ草丈、葉令の変動がやや大きい傾向が見られたが苗の生育は正常であった（第30表）。

以上のとおりサトイモ培養苗は球茎部分をポリエチレン製の袋を用いて密封し低温に置くことにより6ヶ月以上保存できることが明らかになった。今後保存中の芽の伸長を抑制するためより低温での保存等、保存のための適温につい

第28表 保存方法による保存前後の球茎重量の変化^z

計測時期	ガラス製 容器	ガラス製容器 (無菌フィルター)	ポリエチレン 製袋	紙 袋	製
培養終了時	27.14	27.27	25.11	27.60	
風乾後	24.43 (90.0%) ^y	24.82 (91.0%) ^y	22.35 (89.0%) ^y	24.82 (91.0%) ^y	
保存後	20.86 (85.5%) ^x	7.02 (28.3%) ^x	19.50 (87.2%) ^x	5.44 (22.1%) ^x	

^z 培養球茎50個体

^y 風乾燥後の球茎重量／培養終了時の球茎重量 × 保存後の球茎重量／保存前の球茎重量

第29表 保存球茎の発芽率 (%)

保存方法	発芽率 (%)
ガラス製容器	84
ガラス製容器 (無菌フィルター)	0
ポリエチレン製袋	100
紙製袋	0

第30表 保存培養球茎の生育^z

草 丈 (cm)	葉 令	葉 長 (cm)	葉 幅 (cm)	出芽率 (%)
7.1±0.7	3.5±0.4	5.0±0.3	4.0±0.2	100

^z 6ヶ月保存後30日間育苗

てさらに詳しく検討すればより長期の保存も可能になると考えられる。

第4節 培養球茎の育苗法

第II章でサトイモ培養苗の土壌への移植は培養苗から葉および根を除去した球茎部分を用いると容易に行えることを示した。しかし、培養球茎は慣行球茎に比べ非常に小さく、生育初期は植物体も小さいため、このまま種芋として圃場に植えた場合には雑草との競合が問題になる。また、害虫による被害が慣行株に比べ大きくなると予想される。さらに、第III章の実験では培養球茎を直接圃場に播種すると出芽および初期生育が不揃いになることが観察されたことから、圃場へ移す前に均一に生育を進めておく必要があると考えられる。

近年、野菜や花き類でプラグトレイを利用した育苗が行われるようになった。プラグトレイを使用すると育苗に関する一連の作業の機械化・システム化が可能で生育が揃い規格化された苗を大量に供給することができる。また、生産された苗の輸送性も高く、定植作業も機械での対応が可能となる（塚田，1990）。本節ではサトイモ培養苗の効率的な育苗方法について検討した。

材料および方法

88穴（60mℓ／セル）および209穴（20mℓ／セル）の2種類の大きさのプラグトレイを用いて育苗し、苗の生育を調査した。同時にペーパーポット（110.5mℓ／セル）およびフェノール樹脂製培地についても検討した。フェノール樹脂製培地はキューブ型（33mℓ／セル：135セル）およびクサビ型（20.5mℓ／セル：216セル）の2種類を用いた。プラグトレイおよびペーパーポットではバーミキュライト、ピートモス、および木炭を成分とする市販の育苗用土を培地として充填した。いずれも約1gの培養球茎を水で2日間予措後植え込み、25℃温室内で育苗した。育苗開始20日後に液肥400倍の追肥を行い、30日後に地上部および地下部の生育を調査した。次に、それぞれの方法で育苗した苗を1993年4月26日に第III章第3節の方法に従い圃場へ定植した。トンネルは幅30cmの小型トンネルとし、有孔プラスチックフィルムを被覆した。5月26日に定植後の生育状況を調査した。

結果および考察

第31表および第51図に示すようにペーパーポットは他の方法に比べ発令が進み大型の苗が得られた。これはトレイあたり育苗個体数が少なく、個体あたりの培地量が多いためと考えられる。プラグトレイのセルの大きさでは209穴は88穴に比べ苗の徒長および第1葉の黄化が見られた。正木(1990)はレタスのプラグ育苗において葉面積指数が4以上になると各株の地上部に相互遮陰が生じ地上部の徒長や苗質の低下が見られるとしている。209穴で育苗した場合の調査時の葉面積指数は3.2であるが葉身が水平に配置されるサトイモでは葉面積指数3程度が限界と考えられる。フェノール樹脂製培地は草丈が低かったが他の特性はプラグトレイの209穴と同程度の苗が得られた。しかし、苗の揃いはプラグトレイに比べ劣った。プラグトレイ88穴はペーパーポットに比べ培地容量は少ないが根の生育は良かった。

定植後の生育を第32表に示した。定植時の苗の大きさはペーパーポットで育苗した苗がプラグトレイ88穴で育苗した苗に比べ大きかったが定植後30日目の生育では差が認められなかった。プラグトレイはペーパーポットに比べ苗の根の生育が優れたことおよび定植時にペーパーポットでは鉢が崩れ易かったこと等からプラグトレイの苗は移植後すみやかに活着し生育を開始したと考えられる。プラグトレイ209穴およびフェノール樹脂製培地ではセルが小さいためトレイあたり多数の苗が育苗可能であるが30日育苗では葉が込み合うため育苗期間を短縮する必要がある。しかし、この場合、定植用の苗としては小さく問題が残る。

以上のことから、培養球茎の育苗は88穴の大きさのプラグトレイを用いて行う方法が良いと考えられた。フェノール樹脂製培地でも育苗は可能であるがさらに大きいセルを用いる必要がある。今後、他の育苗資材についても検討が必要である。

慣行球茎を用いた早熟栽培では温床で種芋の催芽を行い、発根した苗をトンネル内へ定植している。しかし、サトイモの初生根は水分が多く軟弱であるため断根による活着不良を起こし易く、催芽植えは展開葉1枚程度の生育のごく

第31表 培養球茎の育苗方法が苗の生育におよぼす影響

育苗資材	葉 齡	草 丈 (mm)	茎基部直徑 (mm)	地上部重量 (mg)	葉面積 (cm ²)	根重量 (mg)
プラグトレイ 88穴	4.0 a ^z	73 b	8.0 b	3265 b	42.4 b	1399 c
プラグトレイ 209穴	3.9 a	78 c	7.1 a	2327 a	27.7 a	907 b
ペーパーポット	4.5 b	79 c	8.7 c	4300 c	55.4 c	1122 b
樹脂キューブ	4.0 a	57 a	6.9 a	2309 a	28.3 a	792 a
樹脂クサビ形	3.9 a	61 a	7.1 a	2024 a	23.8 a	804 a

^z ダンカンの多重検定 5%水準.



第51図 育苗法による苗の生育
 A：プラグトレイ88穴， B：プラグトレイ209穴， C：樹脂クサビ形，
 D：樹脂キューブ， E：ペーパーポット。

第32表 培養球茎の育苗方法が移植後の生育におよぼす影響

育苗資材	草丈 (cm)	葉長 (cm)	葉幅 (cm)
プラグトレイ 88穴	13.4 b	9.3 b	8.2 b
プラグトレイ 209穴	10.0 a	6.4 a	5.7 a
ペーパーポット	12.9 b	8.8 b	7.7 b
樹脂キューブ	10.1 a	6.5 a	5.6 a
樹脂クサビ形	10.8 a	6.7 a	6.0 a

^z ダンカンの多重検定 5%水準。

初期に移植される。第Ⅲ章で述べたとおり培養球茎株は小型であるが球茎の分化時期は慣行球茎株とほぼ同時期である。培養球茎株は慣行の催芽植えに比べ育苗期間を長くとることが可能で、育苗によりさらに生育の進んだ苗を定植できる。

慣行球茎株は移植後すぐに大きく生育するためトンネルは幅100 cm程度の大きさとする必要がある。これに対し培養球茎から育苗した苗は定植後の生育初期には草丈が低いため幅30cm程度の小型トンネルで十分であり設置にかかる経費が少なく経済的である。

第Ⅵ章 総合考察

植物バイオテクノロジー研究者による未来技術予測によれば、バレイショマイクロチューバー直播栽培用品種の普及と栽培の省力化については1990年代後半の実用化が見込まれている（大山，1991）。本研究ではサトイモの*in vitro*での球茎形成－培養球茎の保存－土壌への移植－育苗について種々の実験と検討を行い新たな培養工学的な手法および種苗工学的な手法を開発するに至り、一連の技術として確立した。次に培養球茎株の栽培により慣行球茎株とは異なる培養球茎株の生育特性を地上部および地下部球茎の生育、生長解析等、生態面から明らかにした。また、培養球茎株の生育についてさらに生理的側面から解析を加えるため内生ホルモンや生長調節物質の生育への作用および同化産物の転流等の分析を行った。得られた知見をもとに培養球茎株の生理生態的特性を利用した栽培方法についても確立を図り、種苗の生産と結合することにより実用的技術とした。

*In vitro*でのサトイモの球茎は植物ホルモンを添加しないホルモンフリー培地でも培地ショ糖の濃度を上げるにより形成されることを明らかにした。ショ糖は炭素源物質であるが同時に浸透圧調整物質としての役割もある（富士原，1991）。この栄養源と浸透圧のいずれが主要な要因であるかを調べるためショ糖に代えマニトールを用いて試験を行った結果、培地浸透圧は地上部の生育抑制を通して球茎の肥大へ関与するがその効果は小さいことが明らかになった。したがって、ショ糖による球茎の肥大は浸透圧とショ糖を栄養源として利用することの両面の効果によると考えられる。球茎や塊茎等、栄養繁殖体の形成には内生ホルモンが関与することが知られている。タマネギではABAが*in vitro*での球茎の形成を促進する働きがあることが報告されている。また、サツマイモでは塊茎形成、肥大における内生ホルモンの役割について多くの研究が行われており、サイトカイニンが塊根の形成に重要な役割を果たすことが報告されている（中谷，1990）。サトイモでは球茎の肥大について培地に対する

BAの添加効果は見られず、S07，PP-333等の矮化剤を培地に添加して培養すると地上部の生育は抑制されるが球茎の肥大に対する効果は認められなかった。ジャガイモでは塊茎形成誘導物質が単離され、その化学構造も明らかにされている（吉原・幸田，1989）。サトイモ球茎より得た抽出物はジャガイモの球茎形成に対する活性は弱く、ジャガイモとの類似性は低いとされている（中谷，1992）。今後サトイモの球茎肥大に関与する物質が明らかになればin vitroでの球茎形成を効率良く行う上で有利である。

培養を効率良く行うには培養密度を高めることが望ましい。この点について矮化剤を添加すると地上部の生育が抑制されるため培養密度を高めることが可能であったが矮化剤の影響が育苗時まで残り生育が抑えられるため土壌へ移植前にその後作用を消去する必要があった。そこで培養球茎の予措（順化前処理）について検討したところGA処理により生育の回復が認められたもののGAは球茎を縦方向へ伸長させるため使用は好ましくなかった。矮化剤無添加で培養した球茎についてもGA処理を行うと移植後の生育が促進された。しかし、純水での予措でもGA処理とほぼ同様の効果が認められることから、培養は矮化剤無添加で行い、移植前の予措処理を水で行う方法が適当であると判断された。

栽培に使用する培養苗の生産を行う場合、順化での活着率を高めすみやかに定植用の苗として成苗化を行うことによりコストの削減ができる。しかし、培養苗は培養器内の高湿度環境で生育するため水ストレス耐性に関与する組織、器官の発達が十分でない。このため順化時の生存率を高める方法として一般には湿度、光等の環境の調節が行われる。特に湿度環境については順化開始以降の培養苗の生理に合わせたきめ細かい管理が要求される。一方、培養中の容器内の相対湿度を適当なレベルまで低下させれば培養苗の水ストレス耐性が高まり、その結果移植時の生存率を高めることができる。ガス交換性を高めることで培養器内の相対湿度を低下させる方法も提案されている（富士原，1991）。これらの2つの方法はいずれも環境の調節が必要であり、このためには特別な装置や施設を必要とする。水蒸気交換性の制御にメンブランフィルターを使用

する方法は簡易ではあるが培養のスケールアップが困難である。第3の方法として移植する苗の形態による水ストレスの回避が考えられる。シヨ糖濃度が高い培地で培養して得られる基部に球茎を形成した培養苗は葉を付けたままの移植でも活着し、生育した。しかし、このような状態では葉からの蒸散を防ぐことは困難であるため、やはり移植時に水ストレスを受ける。そのためこれを定植した場合、収穫時の球茎は長形化する恐れがある。これに対して葉を除去した培養球茎は葉身からの水分の損失がなく、移植後の生育のための養分も球茎に保持している。このように *in vitro* で球茎を形成し土壤へ移植する方法は特別な順化の過程を必要とせず、一般の種苗の育苗と同様の管理で育苗することができる。このため多くの地域に設置されている水稻や野菜等の育苗施設で育苗が可能である。さらに、種苗の増殖率は圃場での生産に比べ飛躍的に向上するためこの技術を利用すれば一度に大量のウイルスフリー苗供給が可能であり、産地全体で栽培される株を一度に更新できることからウイルス再感染を防止する上からも好都合である。一般の圃場ではウイルスフリー化された種芋を用いることにより得られる高い生産性は何年にもわたって維持することが困難である。Morishita (1988) は露地圃場での調査でウイルスフリー株のウイルス再感染株率が2年目には11%、3年目には22%となり5年で100%に達したことを報告している。しかし、培養球茎を毎年直接種芋として利用すればウイルスの感染による収量低下や品質低下の問題は考慮する必要がないわけである。

熱帯で栽培される親芋利用品種は従来、親芋の分割あるいはわずかに着生する子芋を種芋として利用しているため増殖率はきわめて低い。また、サトイモでは生産物の一定の部分を次回の栽培のための種芋として使用し、この割合が大きいため他の作物に比べて生産効率が低い。しかし、年中生産が可能な培養球茎を種芋として利用すれば生産物をすべて食用として利用でき増殖率は飛躍的に向上する。

培養球茎株は生育初期に乾燥処理を行うことにより基部に再び球茎を形成させることができる。しかし、このようにして得られた球茎を種芋に使用して栽

培した株の生育特性は慣行球茎株に着生するごく小さい球茎を用いて栽培した場合に類似し、着生する球茎の形状が不良である。このためこれらを直接栽培用の種芋として使用することは適当でないが種芋の増殖用に用いることは可能である。親芋利用型品種での乾燥処理により得られた球茎の生育特性は明らかではないが、乾燥処理により形成した小球形は慣行の球茎と同様の方法で保存が可能である。低温の保存施設の整備されていない発展途上の地域でも簡易な種芋の輸送、貯蔵手段として利用できる。

培養球茎株は慣行球茎株と異なった生育特性を示し地上部の生育量は慣行球茎株に比べ $1/3 \sim 1/4$ しかなかった。しかし、地下部球茎の肥大は良好で収量は露地、ハウス、トンネル栽培ともに慣行球茎株とほぼ同程度の収量が得られた。球茎については慣行球茎株に比べ全球茎重量に対する親芋重量の割合が小さく、子芋、孫芋、ひ孫芋の着生数が多かった。培養球茎株のこのような生育特性は種芋として培養球茎を用いた場合に限って見ることができ、培養球茎株に着生した球茎を種芋として栽培した次代の株ではこの特性は発現しない。したがって、培養球茎株の生育特性は遺伝的な変異によりもたらされたものではなく、培養当代にだけ現れる生理的な変異あるいは培養の後作用と考えられる。

生育特性については内生生長調節物質の分析により生理的側面から検討を加えた。その結果、培養球茎では培養中に球茎内に高レベルのサイトカイニンが生成されることが明らかになった。サイトカイニンは側芽の生長を促進し、頂芽優勢を弱める作用がある (Tamas, 1988)。培養球茎はサイトカイニン含量が高いためこれを種芋として用いた場合「頂芽」である親芋の地上部の生育が抑制されるとともに「側芽」である子芋、孫芋の分化、生育が促進されると考えられる。種芋のサイトカイニン含量は培養球茎株の特徴ある生育特性に関与する主要な要因の一つであり、GAはサイトカイニンとのバランスを通じて生育に関わっているものとみなされる。培養球茎株では地上部の生育抑制により同化産物はより多くの部分が地下部へ分配されることになると考えられる。

培養球茎株では乾物の子芋、孫芋、ひ孫芋への分配が生育の早い時期から進

んだが慣行球茎株では生育の前半は地上部へ多く分配された。同化産物の転流を調査した結果、培養球茎株では同化産物の収穫対象となる球茎への蓄積が慣行球茎株に比べ生育の早い時期から進むことが認められた。培養球茎株の主茎の展葉速度は慣行球茎株より速く、生育末期までの展開葉数も多かった。このため培養球茎株では子芋の着生節数が多くなり着生数が増加することが明らかになった。子芋の着生数の増加に対応して孫芋、ひ孫芋の着生も多くなるため、培養球茎株は慣行球茎株に比べ、これらのシンクとしての力が相対的に地上部のシンクに対して強くなり、同化産物の球茎への転流量が多くなる結果、球茎の肥大が優れるものと推察される。したがって球茎が分化し肥大を始める時期では同化産物の球茎への転流が多いため、地上部の生育は引続き抑制されると推察される。球茎間にも同化産物の蓄積について競合があり、培養球茎株は同様の理由で親芋のシンク力が子芋、孫芋、ひ孫芋に対して小さくなるため親芋の肥大は少なく、生育末期の肥大も抑制されるものと考えられる。慣行球茎株でも種芋が小さいと球茎の分化数は培養球茎株と同様の傾向を示した。しかし、地上部の生育、球茎の形状には明らかな差が認められた。この点については外部から投与したGAおよびGA合成阻害剤の球茎の形状におよぼす影響から慣行小球茎株、順化球茎株では培養球茎株に比べ生育期間中においてもGA活性が高いため地上部が繁茂することが示唆された。

ハウス栽培、トンネル栽培でも培養球茎株の生育特性は露地栽培と同様の傾向が認められた。培養球茎株は慣行球茎株に比べ地上部の枯れ込みが早くから開始され、子芋、孫芋の肥大は早くなることが認められた。これらの結果から早生種のハウスやトンネルでの促成栽培で培養球茎の生育特性を有効に利用できると思われる。

培養球茎株は生育特性が異なるだけでなく、生育環境に対する反応も慣行球茎株とは差異がある。したがって培養球茎株の栽培では生育の変化に伴い、栽培管理についても特性を有効に利用するためには慣行球茎株とは異なる対応が必要である。培養球茎株は慣行球茎株に比べ土壌水分の影響が大きく水分不足

により生育が著しく不良になる。逆に、土壤水分の過多の条件下では培養球茎株は慣行球茎株のように過繁茂になる恐れはない。土壤水分管理に関しては培養球茎株は慣行球茎株に比べより多水分条件下での栽培が適すると考えられる。このため栽培圃場は灌水が可能であることが必要である。

サトイモではカルスからの苗条の再分化は容易である (Malamug, 1992; 村上ら, 1992) が、カルスからの再分化法では変異体が出現する確立が高くなるため大量増殖には球茎分割法を用いる方が適当と考えられ、本研究では *in vitro* で形成した球茎の分割により増殖を行った。しかし、茎頂培養でも変異の発生が報告されており本研究においても葉柄が暗紫色を示し子芋の着生が極めて少ない親芋利用型に変化した‘石川早生’の変異個体を認めた。大量増殖を行う際にはこのような変異個体を事前に検出・除去する必要がある。培養球茎の球茎タンパク質を分析した結果、変異系統では特定のバンドの消失が認められ、泳動パターンの差により変異個体の検出が可能となった。

サトイモは栽培品種が主として3倍体であり、我国では開花する品種も少なく現在の品種群や品種は芽条変異により生成したものと推定されている (飛高, 1971)。交雑育種による品種の育成は困難であるため新たな育種法が望まれる。サトイモでは栽培において出現する変異は品種の範囲を超えないと報告されている (熊沢, 1954)。しかし、第V章で述べた変異系統は変異が大きく、培養系を利用した育種が考えられる。これまでに *in vitro* で耐塩性個体の選抜が試みられている (Nyman ら, 1983) 他、 γ 線や紫外線等の放射線やMNU (メチルニトロソウレア) 等の変異源を用いた *in vitro* での突然変異育種も試みられ、優れた形質を持つ個体も選抜されている (Malamugら, 1991)。第VI章ではタンパク質の泳動パターンと球茎の着生型の関係を示唆する結果が得られている。今後、成分や形状等、球茎の形質とタンパク質やアイソザイムの関係を明らかにすれば有用変異個体の培養段階での一次選抜が可能となり育種の効率化に寄与できるものと考えられる。

本研究で開発したローラーボトル型培養法は静置培養や旋回培養に比べ高密

度で培養を行うことができしかもジャーファーメンターを用いた大量培養法に比べ培養装置が簡易で培養も容易である。サトイモでもエンブリオジュニクカルスからの不定胚形成が最近報告された（軽部ら，1992）。不定胚分化系はカルス分化系に比べ変異が少ないと言われている。安定した不定胚分化系が確立できれば球茎分割法に換えてローラーボトル型培養による球茎の形成と組み合わせることによってより効率的に増殖を進めることができる。

サトイモをはじめ多くの地域特産は栄養繁殖性作物である。これらの作物は気象条件や土壌条件さらに社会的条件等，地域の特性を生かして生産されるため栽培面積はさほど大きくないものが多い。したがって種苗の供給は大規模な工場生産ではなく地域に設置された中～小規模の培養施設で対応する方法が取られる。すでに各地にこのような培養施設が設置され種苗の供給が始まっている。ローラーボトル型培養法はサトイモ以外の地域特産物の種苗の供給にも応用可能であり地域時産物の生産性向上に寄与すると考えられる。

慣行の催芽による早熟栽培では移植時に主根が切断されるため葉令1.2～1.5以上の苗を定植することは困難である。しかし，培養球茎を種芋として使用した場合，プラグトレイによる育苗では葉令4程度まで生育した苗を定植することができる。球茎の分化は植物体の大小に関係なく培養球茎株，慣行球茎株ともほぼ同じ時期に起こることが観察された。この結果，同時に定植した場合，定植時の苗の生育は培養球茎株の方が進んでおり，収穫期はより前進化できる。慣行球茎株ではポット育苗を行えば葉令を進めた苗を定植することが可能であるが育苗床の面積を多く必要とする。これに対して培養球茎のプラグトレイによる育苗は高密度の育苗が可能である。また，定植苗は慣行球茎の催芽苗に比べ小さいため，被覆用のトンネルも小型化できる。さらに，培養球茎株は地上部の生育が小さいことから栽植密度を高くすることが可能である。以上のことから早生品種を用いた早熟栽培で培養球茎株の生育特性を有効に利用できると考えられた。本研究では‘石川早生’の早熟栽培技術を確立した。サトイモは我国では7～8月に高価格で取引されている。このためトンネル栽培や

マルチ栽培による早熟化が図られてきた。しかし、ハウスを用いた栽培の前進化はごく一部でしか行われていない。これは植物体が大きいため、土地生産性が低いことが主な原因と考えられる。今後、培養球茎株を利用すればハウスでの促成栽培等、新たな作型も実用化の可能性がある。

我国で栽培される早生品種の培養球茎を用いた栽培方法の確立を図ったが、親芋利用型品種についても培養球茎株は地上部が小型化し球茎の肥大が良くなる等、栽培上の利点が認められた。熱帯諸国で栽培される親芋利用型品種に本研究の成果を適用すればこれら品種でも増殖率の向上、単位面積当たりの生産量および利用部位の割合の増加に伴う生産性の向上が期待できる。

摘 要

サトイモは栽培の歴史も古く伝統的な野菜とされるが、近年水田転作物として生産が振興されたことから各地で産地が形成されている。しかし、栄養繁殖性作物であり、球茎を種芋に用いることから種苗の増殖率はきわめて低く、生産物の10%程度を次回の生産に必要とする。また、大型の葉を着生し、草丈が1～1.5mに達することから高密度の栽培が困難で、他の野菜に見られるような施設を利用した新たな作型の開発は行われていない。

本研究は組織培養による球茎の大量増殖法および培養球茎の順化・育苗法の確立を図り、種苗生産システムとして発展させようとしたものである。また、培養球茎の生育を生理生態的側面から解析するとともにその特性を利用した栽培方法、作型を樹立することにより組織培養と栽培の分野を結び付け、生産性の向上に貢献しようとした。

In vitro における球茎形成

サトイモ品種‘石川早生’のin vitroでの球茎形成条件を検討した。

1. 増殖した苗条をショ糖8%MS液体培地に移し光条件 $30\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}$, 16hr日長, 25°Cで40日間培養することにより直径約10mm重さ約1gの球茎を持つ苗条を得ることができた。

2. 2%のショ糖を含む培地に対しマニトールを0から7%まで添加するとマニトール濃度が高くなるに従って苗条の地上部の生育は抑制された。しかし、球茎の肥大は2%まではわずかに促進された。5～7%のマニトール濃度は球茎の肥大に抑制的であった。

3. 培地へのPP-333, S07の添加により根の生育は促進されるが地上部の生育および球茎の肥大は抑制された。

4. In vitroでの球茎の形成はすべての供試品種で認められたが肥大程度には品種間に差があった。

培養苗の順化, 土壌への移植

1. 培養球茎を用いると特別な順化過程を経ることなく培養苗を植え出すことが可能と判断された。この方法を用いることにより従来の方法に比べて一度に大量のウイルスフリー種苗を供給することが可能となる。

2. 培養球茎は土壌へ移す前に25℃純水に2日間浸漬処理することにより移植後の生育が促進された。

培養球茎株の生育特性

品種‘石川早生’について培養球茎を種芋とした株（培養球茎株）と慣行球茎を種芋とした株（慣行球茎株）の生育を比較した。次に数品種・系統の培養器内での球茎形成の差異と培養球茎株の生育について比較した。

1. 培養球茎（球茎重：1g）株は地上部や親芋が小型化するが利用部位の収量は慣行球茎（球茎重：60g）株と同程度となり植物体全体や全球茎重量に占める割合は高かった。また、子芋も小型化し形状も良くなるため慣行球茎株に比べ大きさや形状の揃った球茎が多数得られた。

2. 培養球茎株の地上部の生育は、慣行球茎株、慣行小球茎（慣行球茎のうち小さい球茎）株ならびに順化球茎（培養球茎株の6葉期に乾燥処理を行い形成した球茎、球茎重：1.6g）株より劣った。子芋、孫芋の着生数、親芋の肥大は種芋の大きさによる影響が認められた。

3. 順化球茎株は慣行小球茎株に類似した生育特性を示した。

4. 培養球茎株は明らかに順化球茎株、慣行小球茎株および慣行球茎株とは異なった生育を示した。これらのことから培養球茎株の生育には何等かの培養の影響が考えられる。

5. 各品種、系統ともに培養球茎株は慣行球茎株に比べて地上部の生育は劣るが地下部球茎の肥大は良く、植物体全体に占める球茎の割合が大であった。

6. 子芋利用型品種‘烏播’，‘土垂’，‘早生小蓮葉芋’，‘石川早生’の培養球茎株では慣行球茎株に比べ子芋、孫芋の着生数が増加して1個当たりの重量は小さくなる傾向があった。

7. 親芋利用型の変異系統では培養球茎株は慣行球茎株に比べ親芋の肥大が

良かった。一方、子芋利用型品種では培養球茎株の親芋は小さくなり、利用部位である子芋、孫芋の割合が大きかった。

8. ‘石川早生’ではハウス栽培、トンネル栽培でも培養球茎株の生育特性は露地栽培と同様の傾向が認められた。

9. 培養球茎株は慣行球茎株に比べ地上部の枯れ込みが早くから開始され、子芋、孫芋の肥大は早くなることが認められた。これらの結果から早生種のハウスやトンネルを用いた促成栽培に培養球茎株が種芋として利用できると思われる。

培養球茎株の乾物生産特性および同化産物の転流・分配

培養球茎株と慣行球茎株の乾物生産特性について調査した。また、 ^{13}C の同化24時間後の同化産物の分配について比較した。

1. 培養球茎株の相対生長率は生育の全期間を通じ慣行球茎株に比べ高かった。

2. 培養球茎株の純同化率は4月22日～5月20日および9月23日～10月14日の間を除き慣行球茎株より高かった。

3. 培養球茎株では乾物の子芋、孫芋、ひ孫芋への分配が生育の早い時期から進んだが慣行球茎株では生育の前半は地上部へ多く分配された。

4. 7月14日に同化させた ^{13}C は培養球茎株では約70%が球茎へ分配されたのに対し、慣行球茎株では約35%が分配されたにすぎず地上部への分配割合の方が大きかった。

5. 9月9日に同化させた ^{13}C は培養球茎株では約80%が球茎へ分配された。慣行球茎株では球茎への分配率は7月14日より増加したがなお約1/2は地上部へ分配された。

6. 培養球茎株は慣行球茎株に比べ球茎着生数が多く、球茎のシンクの強さが慣行球茎株に比べ強いと考えられる。また、各球茎間では親芋のシンクとしての力が子芋、孫芋、ひ孫芋に対して小さくなると考えられる。

7. 培養球茎株では同化産物の収穫対象となる球茎への蓄積が慣行球茎株に

比べ生育の早い時期から進む結果、球茎の肥大も早くなると考えられる。

培養球茎株の栽植密度

1. 栽植密度を278株/aから556株/aに高めても株当りの収量の減少は見られなかった。

2. さらに栽植密度を833株/aにした場合、株当り収量は減少したものの面積当たりの収量はさらに増加が認められた。

培養球茎株の生育におよぼす土壌水分条件の影響

1. 培養球茎株は育苗期に強い水分ストレスを受けると長形の子芋の着生が増加した。

2. 培養球茎株は慣行球茎株に比べ多水分条件下での栽培が適すると考えられる。

培養球茎株の生理的特性

1. 培養球茎のゼアチンおよびゼアチンリポシド含量は慣行球茎株、慣行小球茎株および順化球茎株に比べ高かった。

2. 慣行小球茎株の子芋の形状は生育期にS07を処理することにより短くなった。逆に、培養球茎株の子芋は生育期にGAを処理することにより長形化した。これらのことから内生GAレベルが子芋の形状に影響しているものと推察される。

3. 以上の結果から種芋の内生ホルモンレベル特にサイトカイニンが地上部および球茎の生育に影響していることが強く示唆された。

培養球茎を用いた種苗生産システムの開発

1. ‘石川早生’と‘石川早生’の変異系統の間には球茎タンパク質泳動パターンに明らかな差異が認められた。この差により培養段階での変異個体の早期検出が可能である。

2. パーオキシダーゼ、PGM、PGIは品種間に差がみとめられるが‘石川早生’とその変異系統の間には明瞭な差は見られなかった。

3. 簡易な装置で大量の培養が可能なローラーボトル型培養法を開発した。

4. ローラーボトル型培養では通気孔にメンブランフィルターを張り付ける

方法で培地の溶存酸素濃度を高めることが可能であった。この結果、培養苗の生育は静置培養に比べて優れた。

5. 培養球茎は培養後水分を調整しポリエチレン製袋に密封することにより15℃で6ヶ月以上の保存が可能であった。保存後の球茎の発芽率は低下しなかった。

7. 培養球茎はプラグトレイ(88穴)で30日間育苗することにより圃場への定植に適した草丈7~8cm, 葉数4枚程度の大きさに生育した。

8. 培養球茎の育苗により慣行の栽培に比べ栽培の前進化が可能である。

引用文献

- 秋田 求・高山真策. 1989. 組織培養によるジャガイモ塊茎形成に関する研究
(第5報) 培養由来の塊茎の性状について. 園学雑. 58(別1):230-231.
- Andrew M. Torres, Robert K. Soost and Ulrike Diedenhofen. 1978. Leaf
isozymes as genetic markers in citrus. Amer. J. Bot. 65:861-881.
- 荒井 滋・浅尾浩史・川端里奈・小島博文. 1989. イチゴ培養苗の生育と苗質
に及ぼすCO₂ 施用の影響. 園学雑. (別1):252-253.
- Brainerd, K. E. and L. H. Fuchigami. 1981. Acclimatization of aseptically cultured apple plants to low relative humidity. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 106:515-518.
- Donnelly, D. J. and F. E. Skeltron. 1989. Comparison of hydathode structure in micro-propagated plantlets and greenhouse-grown 'Queen Elizabeth' rose plants. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114: 841-846.
- Ewing, E. E. 1988. The role of hormones in potato (Solanum tuberosum L.) tubrization. Davis, P. J. (eds.). Plant hormones and their role in plant growth and development. Dordrecht, Boston, London.
- FAO Year book. 1991. vol.44. p.97. Rome.
- 富士原和宏. 1991. 植物組織培養器内の水環境. 農業気象47:101-107.
- 藤岡唯志・藤田政良・宮本芳城. 1992. 試験管内におけるショウガの塊茎形成とは場栽培での生育. 園学雑. 61(別2):288-289.
- Hasegawa, A. and M. Goi. 1987. Rhizome formation in Cymbidium goeringii Reichenbach fil. and Cymbidium kanran. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 56:70-78.
- 林英明. 1973. 早掘りサトイモの栽培法に関する研究(第1報). 神奈川農総研研報. 113:1-10.

- 飛高義雄. 1971. サトイモの品種分類と作型の創設. 農業技術26:80-85.
- 飛高義雄. 1977. サトイモ. p. 1032-1044. 野菜園芸大事典編集委員会編. 野菜園芸大事典. 養賢堂. 東京.
- Hirai, M. and K. Takayanagi. 1989. Classification of Japanese cultivars of taro(Colocasia sculenta (L). Schott) based on electrophoretic pattern of the tuber proteins and morphological characters. Japan. J. Breed. 39:307-317.
- 本條 毅・高倉 直. 1987. 植物組織培養によるシンビジュウムPLB 増殖へのCO₂ 濃度, 光および液体培地組成の影響. 農業気象43:223-227.
- 星川清親. 1985. いも一見直そう土からの恵み. p. 29-31. 女子栄養大出版部. 東京.
- 星川清親. 1987. 栽培植物の起源と伝播. 二宮書店. 東京. p.118-119.
- Hu, C. Y. and P. J. Wang. 1983. Meristem, shoot tip, and bud cultures. p.177-227. In:Ammirato, P.V., D. A. Evance, W. R. Sharp. and Y. Yamada(eds.). Handbook of plant cell culture, Vol. 3. Collier Macmillan publishers. London.
- 一色司郎・大久保 敬・藤枝国光. 1991. ナスにおけるアイソザイムの組織特異的発現. 園学雑. 60:200-201.
- Iwama, K., M. Yoshinaga and H. Kukimura. 1990. Dry matter production of sweet potato in true seed culture. Japan. Jour. Crop. Sci. 59: 146-152.
- 泉 和夫・岩井智子・大塩祐陸. 1989. ウニコナゾールの矮化作用. 植物の化学調節24:142-146.
- Jungnickel, F. 1988. Strawberries (Fragaria spp. and hybrids) . p. 38-83. In:Y. P. S. Bajaj.(eds.). Biotechnology in agriculture and forestry. Vol.6. Crops II. Konrad Triltsh, Graphischer Betnib, Wurzburg.

- 嘉儀 隆. 1989. 栄養繁殖性野菜（サトイモ，フキ，イチゴ，ラッキョウ）の無病優良株の大量供給と再汚染防止技術の確立. 昭和63年度近畿中国地域地域重要新技術成果報告. 57-92.
- 黄 賢喜・陳 東鐘・韓 青梅・呉 育郎. 1991. サトイモの湛水栽培法（台湾）. 農及園. 66:70-74.
- 鴨田福也・伴 義之・志村 清. 1974. 野菜の光合成及び蒸散に関する研究 I 光合成・蒸散の作物間差異及び土壌水分との関係. 野菜試報. A1: 109-139.
- 加藤一郎・鴨田福也・内藤文男・谷口利策. 1969. 作物の水分特性に関する研究（第4報）サトイモの蒸散及び蒸発散について. 園学雑. 38: 60-67.
- Katsura N., K. Nagai and T. Sato. 1986. Gibberellic acid induced flowering in cultivars of Japanese taro. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 55: 69-74.
- 桂直樹・西島隆明・山路博子. 1989. サトイモの形態とジベレリンの関係. 園学雑58（別1）:322-323.
- 桂直樹・西島隆明・山路博子. 1990. そう（叢）性サトイモ品種成立の生理的機構に関する一考察. 園学雑. 59（別1）:386-378.
- 軽部 稔・下西 恵・久木村 久. 1992. サトイモの細胞培養系の確立. I. エグイモにおける効率的なカルス培養系の確立と不定胚形成. 育雑42（別1）:58-59.
- 河原林和一郎. 1991. ササユリ球根の大量増殖技術の開発（第2報）液体培養における子球の分化と生育に及ぼす培養条件の影響. 園学雑. 60（別2）:516-517.
- Koda Y. and Y. Okazawa. 1983. Influences of environmental, hormonal and nutritional factors on potato tuberization *in vitro*. Japan Jour. Crop Sci. 52:582-591.
- 小清水弘一. 1983. 植物の生育とアブシジン. p.135-159. 日本農芸化学会. 朝

倉書店. 東京.

- 古在豊樹・林真紀夫・広沢祐二・児玉友孝・渡部一郎. 1987. 植物組織培養苗の順化のための環境調節 (1) 順化装置の開発と栽培試験. 農業気象42: 349-358.
- 久木村 久・高柳謙治. 1985. パプアニューギニア, ソロモン, フィジーにおける農業事情と地下植物. 熱研資料. 64.
- 久木村 久・高柳謙治. 1992. 熱帯における地下植物の有効利用. II 地下植物の生産と利用. 4 オセアニアにおける地下植物. 熱帯農研集報. 74:131-146.
- 熊沢喜久雄・柳沢 啓. 1981. 植物試料中の¹³C濃度の赤外線吸収法による定量. 土肥誌. 52:74-76.
- 熊沢三郎・本多藤雄. 1954. 里芋に於ける芽條変異と品種造成に関する考察. 育雑. 3:19-21.
- 熊沢三郎・二井内清之・本多藤雄. 1956. 本邦における里芋の品種分類. 園学雑. 25:1-10.
- 位田藤久太郎. 1958. サトイモ栽培の灌漑とその効果. 農業技術13:665-667.
- Lim, C. H. 1988. Metabolism and compartmentation of imported sugars in sink organs in relation to sink strength. Plant Mol. Biol. 39:355-378.
- Malamug, J. J. F., 矢澤 進. 浅平 端. 1991. In vitro でγ線を照射されたサトイモ茎頂から得られた変異個体の形質. 園学雑60(別2). 234-235.
- Malamug, J. J. F., S. Yazawa and T. Asahira. 1992. Callus formation and multiplication in taro. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 60:927-933.
- Malamug, J. J. F., S. Yazawa and T. Asahira. 1992. Plantlet regeneration from taro(*Colocasia esculenta* Schott) callus. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 60:935-940.

- 正木 敬. 1987. 野菜の栽培に関する研究. 野菜・茶試盛岡年報. p.101-129.
- Matsubara S. and I. Kumura. 1991. Changes of ABA content during bulbing and dormancy and in vitro bulbing in onion plant. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 59:757-762.
- 松本美枝子. 1981. サトイモ (Colocasia antiquorum Schott.) の茎頂培養. 富山農試砺波園研報. 16:37-47.
- 松本美枝子. 1988. サトイモの種芋分割育苗による大量増殖法. 富山農技セ研報 3:37-44.
- Matthews, P., Y. Matsushita, T. Sato and M. Hirai. 1992. Ribosomal and mitochondrial DNA variation in Japanese taro (Colocasia esculenta L. Schott) . Japan. J. Breed. 42:825-833.
- Meira Z., G. M. and A. H. Halevy. 1982. Factors influencing the production of hardened glaucous carnation in vitro. Plant Cell Tissue Organ Culture 2:55-56.
- 宮崎貞巳・田代洋丞・金澤幸三. 1986. サトイモの種芋及び幼植物に対するジベレリン酸処理による開花促進. 園学雑. 54:450-459.
- 森下正博・山田貴義. 1978. サトイモの組織培養に関する研究 (1) 茎頂からの幼植物誘導. 大阪農技セ研報. 15:9-12.
- 森下正博・山田貴義. 1981. サトイモの組織培養に関する研究 (2) ウイルスの感染による生産力の変動. 大阪農技セ研報. 18:19-26.
- 森下正博・山田貴義. 1984. サトイモの組織培養に関する研究 (3) ウイルスフリー株の生産力. 大阪農技セ研報. 21:11-16.
- Morishita, M. 1988. Taro (Colocasia esculenta Schott.). p.322-336. In: Y. P. S. Bajaj.(eds.). Biotechnology in agriculture and forestry. Vol.6 Crops II. Konrad Triltsch, Graphischer Betrieb, Wurzburg.
- 村上賢治・横山裕彦・松原幸子. 1992. サトイモ黄化茎からのカルス形成と植物体再生. 園学雑. 61:367-374.

- 長田龍太郎・後藤義昭. 1989. サトイモのウイルスフリー苗作成技術の開発.
宮崎総農試研報. 23:1-11.
- 長田龍太郎・菓子野利浩・轟 篤. 1990. 圃場栽培及び組織培養で生産された
サトイモ (*Colocasia esculenta*. (L). Schott), ハスイモ (*C. gigantea*
Hook) 塊茎タンパク質電気泳動パターンの比較. 園学雑. 59 (別1):781.
- 中尾佐助. 1981. タロイモの起源と分化. 育種学最近の進歩22:75-85.
- 中谷 誠. 1990. サツマイモ塊根の形成, 肥大における植物ホルモンの役割.
植物の化学調節25:183-191.
- 中谷 誠. 1992. バレイショ茎断片培養法を用いた数種塊根茎作物の抽出物の
塊根形成活性の比較. 日作紀. 61:394-400.
- 新美芳二. 1984. ナフタレン酢酸, ベンジルアデニン及び明・暗条件が試験管
内でのヒメサユリ (*Lilium Rubellum* Baker) の子球の発達と圃場における
子球の出葉に及ぼす影響. 園学雑. 53:59-65.
- 新美芳二・斉藤 勳. 1990. ヒメサユリの成球生産に関する研究試験管内で増
殖した子球の生長改善. 園学雑. 59:635-640.
- 新美芳二・遠藤由起夫・有坂英一. 1988. ヒメサユリ培養子球の休眠打破に及
ぼす低温及びGA₃ 処理の効果. 園学雑. 57:250-257.
- 農林水産省統計情報部編. 1993. 平成3 年度農産物生産費調査報告. 米及び麦
類の生産費.
- 農林水産省統計情報部編. 1993. 平成3 年度農産物生産費調査報告. 野菜生産
費.
- 農林水産省野菜・茶業試験場編. 1988. 改訂版 全国野菜・花きの種類別作型
分布の実態とその呼称 (野菜編).
- Nyman, L. P., J. Gonzales and J. Arditti. 1983. In-vitro selection for
salt tolerance of taro (*Colocasia esculenta* var *antiquorum*). Ann.
Bot. 51:229-236.
- 王 博仁. 1985. ウイルスフリージャガイモのマイクロプロパゲーション. 組

織培養11:391-395.

小河原公司. 1944. 里芋植付の深淺, 土寄の多少, 除けつの有無の影響. 農及

園. 19:601-602.

岡 成美・新野考男. 1989. 生長抑制法によるナシ培養シュートの長期保存.

園学雑. 58(別1):120-121.

大西昇・間宮幹士・藤山俊計・鏡勇吉. 1990. バレイショマイクロチューバー

の生産力について. 育雑. 40(別1):88-89.

大山勝夫. 1991. 作物生産におけるバイオテク先端技術. p.1-3. 農林水産省農

業研究センター編. 国際化時代における日本農業の技術開発戦略. 第3巻

先端技術による技術革新. 農林水産技術協会. 東京.

Ruter, J. M. and Ingram, D. L. 1990. ¹⁴Carbon-labeled photosynthate

partitioning in *Ilex crenata* 'Rotundifolia' at supraoptimal root-

zone temperatures. J. Amer. Soc. Horti. Sci. 115:1008-1013.

斉藤 隆. 1973. 第4章 野菜. 植物生長物質の園芸的利用. p.171-235. 高

橋信考・広瀬和栄・佐藤幹夫・斉藤 隆・上本俊平編著. 誠文堂新光社.

東京.

佐々木高明. 1982. 照葉樹分化の道. 日本放送出版協会. 東京.

佐藤隆二. 1973. 水稻育種における粳/わら比率による選抜に関する研究. 農

事試研報. 17:1-59.

佐藤 亨・川合通資・杉本秀樹・中島欣吾・福山寿雄. 1980. サトイモの物質

生産に関する研究. 第4報 乾物生産と養分吸収. 日作紀. 49(別1):

73-74

佐藤亨・川合通資・杉本秀樹・菅野尚人・福山寿雄. 1981. サトイモの物質生

産に関する研究. 第5報 生育に及ぼす土壤水分の影響. 日作紀. 49(別

2):85-86.

佐藤亨・川合通資・杉本秀樹・橋本 宏. 1983. サトイモの物質生産に関する

研究. 第7報. 被陰処理が生育・収量におよぼす影響. 日作紀. 52(別1

-) : 165-166.
- 佐藤亨・杉本秀樹・川合通資・渡部昌明. 1984. サトイモの物質生産に関する研究. 第9報 生育に及ぼす地温の影響. 日作紀. 53(別2) : 68-69.
- 佐藤亨・宮内英二・杉本秀樹. 1986. サトイモの物質生産に関する研究. 第11報 イモの肥大特性について. 日作紀. 55(別2) : 41-42.
- 佐藤亨・宮内英二・杉本秀樹. 1988. サトイモの物質生産に関する研究. 第2報 乾物生産とイモ肥大特性の品種間差異. 日作紀. 57:305-310.
- Shanmgavelug, K. G. 1985. Production technology of vegetable crops. p 604-627. Oxford & IBH publishing Co. PVT. LTD. New Delhi. Bombay. Calcutta.
- Shih, S. F. and G. H. Snyder. 1985. Leaf area index and evapotranspiration of taro. Agron. J. 77:554-556.
- Sonnewald, U. and Willmiter, L. 1992. Molecular approaches to sink-source interactions. Plant Physiol. 99:1267-1270.
- Steinitz B. and H. Yahel. 1982. In vitro propagation of *Narcissus tazetta*. Hortscience 17:333-334.
- Stimart, D. P. and P. D. Ascher. 1978. Tissue culture of bulb scale sections for asxual propagation of *Lilium longiflour* Thunb. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 103:182-184.
- 杉山直儀. 1993. 江戸時代のサトイモの品種. 農及園. 68:250-256.
- Sutter, E. and R. W. Langhans. 1978. Epicuticular wax formation on carnation plantlets regenerated from shoot tip culture. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 104:493-496.
- Swartz, H. J., G. J. Galletta and R. H. Zimmerman. 1981. Field performance and phenotypic stability of tissue culture-propagated strawberries. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 106:667-673.
- Takayama, S. M. Misawa, Y. Takeshige and H. Tsumori. 1982. Cultivation

- of in vitro-propagated *Lilium* bulbs in soil. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 107:830-834.
- 高山真策. 1985. 植物の工業的プロパゲーション. 組織培養11:385-390.
- 高山真策・天羽孝子・深野真弓・大沢勝次. 1985. ジャーファメンターによるイチゴの大量繁殖に関する研究. (第2報) 液体培養法の検討ならびにジャーファメンターによる大量繁殖法の確立. 園学要旨60春:220-221.
- 高山真策・石尾慎史・秋田求・大澤勝次. 1989. ジャーファメンターによるサトイモ科植物の大量増殖に関する研究. (第1報) サトイモ苗条の大量増殖. 園学雑. 58(別1):232-233.
- 高山真策・石尾慎史・秋田求・大澤勝次. 1989. ジャーファメンターによるサトイモ科植物の大量増殖に関する研究. (第2報) サトイモ球茎の大量増殖. 園学雑. 58(別1):234-235.
- Takayama S. and K. Ohkawa. 1990. Growth and flowering of in vitro-propagated *Lilium auratum* bulbs in soil. Plant tissue culture letters 7:187-192.
- 高柳謙治. 1986. 日本人とサトイモ. p.91-121. 吉武成美 他編. 日本人のための生物資源のルーツを探る. 筑波書房. 東京.
- Tamas, I. A. 1988. Hormonal regulation of apical dominance. p.373-340. In: Davis, P. J. (eds.). Plant hormones and their role in plant growth and development. Kluwer academic publishers. Dordrecht, Boston, London.
- Tanimoto, T., H. Tsuchiya and T. Matsumoto. 1983. Geographical variation in morphological characters of inflorescence in taro (*Colocasia esculenta* Schott). Japan. J. Breed. 33:259-268.
- Tanimoto, T. and T. Matsumoto. 1986. Variation of morphological characters and isozyme patterns in Japanese cultivars of *Colocasia esculenta* Schott and *C. gigantea* Hook. Japan. J. breed. 36:100-111

- 谷本忠芳. 1990. 本邦および台湾における野生サトイモ (Colocasia esculenta Schott) の分布および形態的特性. 育雑. 40:233-243.
- 竜野得三. 1964. 畑地灌漑農業の方向. 農及園. 39:131-134.
- 坪井洋文. 1979. イモと日本人. 未来社. 東京.
- 塚田元尚. 1990. 育苗システムとセルナエ. 1990. 農及園. 65:111-117.
- Tsukamoto, Y. and K. Inaba. 1961. The effect of day-length upon the cormel formation in Taro (Colocasia antiquorum). Mem. Res. Inst. Food Sci. Kyoto Univ. 23:15-22.
- 上野 博. 1989. パクトブトラゾールの作用特性と植物矮化剤としての実用性. 植物の化学調節24:127-141.
- Valenzuela, H. R., S. K. O'Hair and B. Schaffer. 1991. Shading, growth, and dry-matter partitioning of cocoyam (Xanthosoma sagittifolium (L.) Schott). J. Amer. Soc. Hort. Sci. 116:1117-1121.
- Wardle, K., E. B. Dobbs and K. C. Short. 1983. In vitro Acclimatization of aseptically cultured plantlets to humidity. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 108:386-389.
- Wilson J. E. 1981. Effects of formulation and method of applying gibberellic acid on flower promotion in cocoyam. Expl. Agric. 17:317-322.
- 山形 光・高橋 滋・森本悌次郎. 1990. 液体培養によるテッポウユリ球根の大量増殖に関する研究(第2報) 培養球根の性質に及ぼす培養液浸透圧の影響. 園学雑. 59(別2):634-635.
- Yamaguchi, H. and M. Mino. 1982. Peroxidase iso-enzyme variabilities of weed oats. Bull. Univ. Osaka Pref., Ser. B, 34:7-14.
- 山本哲也・福井博一・中村三夫. 1989. ショ糖濃度及び浸透圧調整によるシンゴニウムの試験管内生長抑制法の検討. 園学雑. 58(別1):438-439.
- 山本雄慈・松本 理. 1990. ハスの組織培養(第2報) 増殖・順化・培養苗

の生産力. 山口農試研報. 42:1 - 6.

山本義美・本多 茂・永島 聡・中西一泰. 1990. 大量増殖システムを利用したジャガイモマイクロチューバー生産に関する研究. 園学雑. 59 (別2) :330-331.

山崎博子・斉藤敦夫. 1992. バイオナーサリーシステムに関する研究. 第3編 種苗の付加価値増大技術の開発. p.148-157. 農林水産技術会議事務局編. 農林弘済会. 東京.

吉原照彦・幸田泰則. 1989. バレイショ塊茎形成物質. 植物の化学調節24:147-150.

在原章公・原田千文. 1990. 組織培養によるナガイモのイモ形成について. 園学雑. 59 (別1) :280-281.

Summary

Taro (Colocasia esculenta Schott.) is a member of the family Araceae. It is grown mostly as staples or subsistence crop through tropical, subtropical and many warm regions of the temperate zones. The propagation of taro is inefficient because it is propagated vegetatively by corms or cormels, almost 10 % of the yield from the previous cropping is used. Since taro plant has leaves with long petiole and large lamina and plant height is from 1 to 1.5 m, developing advanced type of culture has been difficult.

Thus there is a great need to incorporate in vitro culture technique for intensifying taro production.

In vitro corm formation

Factors favorable for in vitro corm formation in 'Ishikawa-wase', an early maturing taro cultivar was investigated.

1. Plantlets transplanted to MS liquid medium containing 8% sucrose and held at 25°C under light intensity of $30 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ for 16hr formed corms of about 1g and 10mm in diameter after 40 days.

2. As mannitol concentration in medium containing 2% sucrose increased from 0% to 7%, the top growth of plantlets decreased, whereas corm swelling was slightly promoted as the mannitol concentration increased from 0% to 2%. High mannitol concentration (5~7%) inhibited corm swelling.

3. Although root growth was promoted by the addition of 2mg/l pp-333 or S07, top growth and corm development were reduced.

4. While in vitro corm formation was observed in all cultivars used, corm swelling differed among the cultivars.

Transplanting to soil of in vitro propagated seed corm.

1. Corms produced in vitro served as seed corms without any acclimation

process, the use of a nitroreductase by the bacteria or by the host cells is not clear. The results are presented in Table 1.

2. The results of the in vitro experiments described above are summarized in Table 2. The results show that the growth of the bacteria is inhibited by the treatment of the cells with streptomycin at 25°C for 2 days.

RESULTS OF IN VITRO EXPERIMENTS

Characteristics of the growth of the bacteria in the presence of streptomycin are shown in Table 3. The results show that the growth of the bacteria is inhibited by the treatment of the cells with streptomycin at 25°C for 2 days. The results are summarized in Table 4.

1. The growth of the bacteria in the presence of streptomycin is shown in Table 5. The results show that the growth of the bacteria is inhibited by the treatment of the cells with streptomycin at 25°C for 2 days. The results are summarized in Table 6.

2. The growth of the bacteria in the presence of streptomycin is shown in Table 7. The results show that the growth of the bacteria is inhibited by the treatment of the cells with streptomycin at 25°C for 2 days. The results are summarized in Table 8.

3. The results show that the growth of the bacteria is inhibited by the treatment of the cells with streptomycin at 25°C for 2 days. The results are summarized in Table 9.

4. The results show that the growth of the bacteria is inhibited by the treatment of the cells with streptomycin at 25°C for 2 days. The results are summarized in Table 10.

5. The results show that the growth of the bacteria is inhibited by the treatment of the cells with streptomycin at 25°C for 2 days. The results are summarized in Table 11.

cultivar and line, the growth of corm and cormel of IP plants was satisfactory, the ratios of corm and cormel fresh weights to whole plant fresh weight were higher in IP plants than in those of ST plants.

6. IP plants of the cultivars classified as cormel type, such as 'Uhan' , 'Do-tare' , ' Wase-kohasubaimo' , 'Ishikawa-wase' produced more cormels than did ST plants. But weight per cormel of IP plants was lighter than that of ST plants.

7. In mutant line classified as corm type, IP plants showed better corm growth than ST plants. On the other hand, in cultivars of cormel type, IP plants produced less corm than did ST plants, and the ratio of edible part (total cormel weight to total weight of corm and cormel) was higher in IP plants than in ST plants.

8. There was no significant difference in growth habits of IP plants of 'Ishikawa-wase' obtained under semi-forcing and in open field culture.

9. It was observed that retardation of petiole extension, leaf mortality, and cormel growth tended to start earlier in IP plants than in ST plants.

10. From these results it is concluded that in vitro produced corm of early maturing cultivar may be useful as seed corm source for semi-forcing culture under a plastic house or a plastic tunnel.

Characteristics of dry matter production and translocation of assimilates

The dry matter production and their partitioning of IP plants and ST plants were examined. Also, comparative studies were made between IP plants and ST plants on the translocation of assimilates for 24hr after feeding of $^{13}\text{CO}_2$.

1. Relative growth rate of IP plants was higher than ST plants during growing period.

2. IP plants indicated a higher net assimilation rate than ST plants except the periods during from Apr. 4 to May 20 and from Sept. 24 to Oct. 14.

3. IP plants partitioned more dry matter to corm and cormels than to the

foliage from early growth stage. In ST plants, conversely, more dry matter was partitioned to the foilage in the early half of the growing season.

4. On July 14, almost 70% of the total ^{13}C -labeled assimilates translocated to the corm and cormels in IP plants, only 35% in ST plants.

5. On September 9, the translocation ratio of ^{13}C -labeled assimilates to the foliage in ST plants decreased compared to the ratio on July 14, though nearly half of the total was still distributed to the foliage. On the other hand, in IP plant almost 80% of ^{13}C -labeled assimilates translocated to the corm and cormels.

6. Increase of cormel number in IP plants seems to induce stronger sink strength of cormels compaired with ST plants. It also seems that sink capacity of cormels is higher than corm in IP plants.

7. From these facts it is considered that in IP plants, more accumulation of assimilates to cormels resulted in higher cormel growth during growing period.

Planting density of IP plants

1. Cormel production per plant of IP plant was not decreased with increasing plant density from 278 plants/a to 556 plants/a.

2. As plant population was increased from 556 plants/a to 833 plants/a, the cormel production per plant was decreased, whereas coemel production per are was still increased.

Soile moisture

1. It was considered that the water stress during raising of seedling caused abnormal elongation of first cormel.

2. Higher soil moisture rather than ST plant was suitable for top and cormel growth of IP plant.

Physiological characteristics of IP plants

1. Zeatin and zeatin riboside content of IP corm was higher than that of ST,

SST and DT corm.

2. The longitudinal diameter of the first cormel of SST plant was decreased by treatment of S07 during growing season. Conversely, the application of GA during growing season promoted increasing of longitudinal diameter of first cormel of IP plants. It is considered that endogenous GA affects cormel shape.

3. These results strongly suggest that the endogenous plant growth hormones especially cytokinin level in seed corm affected the subsequent growth of plant.

Mass propagation of corm by tissue culture and raising of seed corm

1. There was marked difference in the electrophoretic patterns of protein between in vitro propagated corm of normal 'Ishikawa-wase' and its mutant. Difference of electrophoretic patterns of corm protein may be a useful marker for detecting of mutant.

2. Although there were difference in the peroxidase, PGM, and PGI zymogram patterns among cultivars, no difference was observed between 'Ishikawa-wase' and its mutant.

3. Roller bottle culture, a simple new mass propagation method of tissue culture was developed.

4. Membrane filters were utilized in lids of the culture bottles so as to allow O₂ enrichment. Increasing the O₂ concentration promoted the growth of plantlets. Plantlet growth was superior in the roller bottle culture when compared to the static culture.

5. In vitro propagated seed corms could be stored at 15°C for more than 6 months by seal packaging with polyethylene film bags. There was no negative effect of storage on the rate of sprouting percentage of corm.

6. In vitro propagated seed corm grown in the green house at 25°C raised plant of 7~8 cm with 4 leaves in 30 days seed raising with plug tray of 88 halls.