

肥大初期における甘藷塊根の組織学的研究 ——主として 澱粉集積機能の品種間差異との関連において

第1報 典型的な高、低澱粉品種間の幼塊根における組織特性の比較*

宮 司 佑 三 ・ 国 分 禎 二

Studies on the Structure of Young Tubers of Sweet Potatoes, *Ipomoea batatas* Lam., with Special Reference to Varietal Differences in the Capacity of Accumulating Starch

I. Comparative study on some Structural Characteristics of Young Tubers observed between a Typical Pair of Varieties having Low and High Starch Contents, respectively

Yuzo MIYAJI and Teiji KOKUBU
(Laboratory of Plant Breeding)

I. 緒 言

近年、甘藷は主として澱粉原料作物として重視され、高澱粉多収品種の育成が要望されている。澱粉の集積機能は、塊根の組織的特性とも関連するものと推察されるので、本研究はまずこの関連性を追究し、澱粉集積機能に関する早期検定の可能性を検討せんとするものである。

本報では、澱粉含有量に関し代表的な高、低2品種を選定し、幼根の組織およびその発達過程に存する相違点を調査した。

根部の肥大成長に関する品種間差異を組織学的に追跡した研究は大根を用いた渡辺⁽¹⁾の報文がある。また根部の含有成分との関連における組織の研究はてん菜を用いた ARTSCHWAGER⁽²⁾の報告がある。甘藷根の組織学的研究は MC CORMICK⁽⁶⁾, ARTSCHWAGER⁽¹⁾, HAYWARD⁽³⁾, 小倉⁽⁷⁾⁽⁸⁾, 戸刈⁽⁹⁾等の報告があるが、品種の澱粉集積機能との関連性を追究したものは見当たらない。

本実験は主として1961年に実施された。

本研究に要した研究費の一部は農林省応用的科学研究費の援助によった。記して謝意を表す。本研究の契機と助言を与えられた京都大学教授赤藤克己博士、品種の選定や育苗に協力された九州農業試験場坂井健吉博士、安藤隆夫技官に深謝する。

II. 実験材料および方法

材料として用いた沖縄100号および九州34号は九州農業試験場より苗の分譲を受け、'61年6月10日に6節苗の3節直立挿とし、35×75cmの間隔で圃場に栽植した。

材料の採取は挿苗後5日おきに1ヶ月間計6回行った。採取方法は各品種10株掘り取り下記のごとく10ヶの根を採取した。肉眼的に肥大の認められぬ生育初期には、比較的伸長が早くて太い根を選定し、肥大が明確になった1ヶ月後の採取には、品種内の個体変異を少なくするため大きさのほぼ均一な塊根を選び、水洗後ただちに F. A. A. で固定した。組織標本の作成にあたっては固定され

* 本稿の内容は1962年日本育種学会第21回講演会で発表された。

た材料を諸梗部，肥大部，尾部の部位別に Parafin 法によって厚さ 20μ の横断および縦断切片とし，Safranin と Fast Green の二重染色法⁽⁵⁾によって組織標本を作成した．観察は主として肥大部について行い，諸梗部および尾部を参考とした．

III. 実 験 結 果

塊根の肥大は中心柱における組織の分化発達によるので，供試両品種間において認められた中心柱内の組織およびその分化発達様相に関する 2, 3 の差異について述べる．

I. 原 生 木 部

Table 1. Frequency distributions of the number of radially arranged ridges in protoxylem.

Varieties	Number of radially arranged ridge				Mean
	4	5	6	7	
Okinawa No. 100		7	21	2	5.83 \pm 1.22
Kyushu No. 34	3	20	5	2	5.20 \pm 0.71

Table 2. Frequency distributions of the number of vessels constituting each radially arranged ridge in protoxylem system

Varieties	Number of vessels						Mean
	4	5	6	7	8	9	
Okinawa No. 100		5	9	8	5	1	6.53 \pm 1.07
Kyushu No. 34	15	10	3	1	1		4.77 \pm 1.00

挿苗 5 日後の幼根では，基部ないし中間部において，原生木部となるべき細胞の細胞膜の肥厚は認められるが，木化の進行程度は顕著ではなく，Safranin によって染色されない．10 日後では淡赤色に15 日後で濃赤色に染色された．九州34号は原生木部の Safranin による被染色性が沖縄 100 号に比して幾分早く発現されるようであるが，材料および染色条件によつ影響を受けやすく，両者間の差を確認することは困難であった．原生木部の放射列数は Table 1 に示すごとく，同一品種においても変異があり，本供試材料においては 4 から 7 にわたっているが，沖縄 100 号は 6 原型，九州34号は 5 原型が多い．各原生木部を構成する道管数は Table 2 に示すごとく沖縄 100 号が九州 34号より多い傾向がある．これは原生木部の各放射列は九州34号では 1 列の道管群よりなることが多く沖縄 100 号では道管が往々 2 列にならび，あるいは放射列の内鞘に接する側が数箇の小道管群から構成されるためである．

挿苗後15日の中心柱内部を Pl. 1, 2 に示す．

II. 原生木部と中央後生木部道管との間に介在する柔組織細胞

挿苗10日後には中心柱のほぼ中央部に後生木部道管（以下中央道管と略称する）が分化する．つ

Table 3 Number of the layers of parenchyma cells intercalated between the innermost vessel of protoxylem and the central metaxylem vessel.

Varieties	Number of days from planting		
	10	15	20
Okinawa			
No. 100	1.9	4.3	15.4
Kyushu			
No. 34	0.5	0.8	0.05

いで中央道管の隣接柔細胞が分裂を開始し、原生木部との間に柔組織を構成するに至る。この介在柔組織の発達程度を各原生木部放射列と中央道管との間の柔細胞層数の平均値で示したものが Table 3 である。

沖縄 100 号では介在柔細胞数が挿苗後の日数経過と共に著しく増加している。この柔組織の発達によって原生木部は中央道管から次第に隔離され塊根の比較的周辺に位置するようになる。これに反し九州 34 号では介在柔組織の発達が殆んど認められず中央道管分化に引続いてその隣接細胞が木化し、原生木部は中央道管に接して星状に根のほぼ中央部に位置する場合が多い。挿苗後 20 および 25 日後における介在柔組織の発達様相を Pl. 3~6 に示す。

III. 道管周囲の木化程度および柔細胞の増生、肥大、配列

挿苗後 30 日における中心柱内部の発達様相を Pl. 7, 8 に示す。前掲の Pl. 3, 4 (20 日) ; 5, 6 (25 日) を合せて、供試両品種の中心柱内の組織発達過程を比較する。なお、これらの図版はいずれも各生育期の標本の中で、肥大程度の相似た 1 点づつが各品種から選ばれた。従って各品種の平均に較べれば、肥大が九州 34 号では良好なもの、沖縄 100 号では平均ないしは稍不良なものである。

20 日の材料を見ると Pl. 3 では中央道管ばかりでなく成形を遂げた道管の大部分が周囲を木化細胞（縦断切片では小道管状を呈する）で囲まれており、その周辺にはいまだ柔細胞の分裂組織は認められない。中央道管と一次形成層との間に——中間部では稍大型に肥大した細胞も認められたが——粒の揃った柔細胞が放射状に整然と配列されている。Pl. 4 では道管周囲の木化は殆んど認められず、2~3 の道管では、原生木部道管群を含めて周囲に分裂組織が認められる。極めて大型に肥大した柔細胞が画面左下の一角を除いて中央道管を取囲んで居る。その配列は一見雑然として居るが、彎曲しながらも原生道管群への連りが認められる。肥大細胞の一部は細胞膜で 2 分され柔細胞分裂を起している。これらの大型柔細胞は中央道管の周辺分裂組織より派生したものと見受けられるが、列が乱れているのはその肥大が急速であり、各個の細胞自身も分裂を起し、また他の道管に発生した周辺分裂組織による圧迫が原因の様に見受けられる。原生木部の放射列が中央道管に近接した側では柔細胞肥大が認められない。

Pl. 5 は Pl. 6 に比して塊根肥大の良好なことは中央道管と一次形成層との距りを見ても明かである。それにもかかわらず、道管の周辺に木化が認められ周辺分裂組織は極少数の道管に限られる。稍大型に肥大した細胞もあるが、中に澱粉粒が充満し分裂中の細胞を殆ど見受けない。Pl. 6 は中央道管が 3 箇の大型道管よりなり、これが 2 群に分離している。沖縄 100 号としては肥大稍不良な根で、原生木部放射列の 1 部は中央道管に附着し、道管の周辺に多少の木化が認められるが、2 群の中央道管あるいは中央道管と分離した原生道管とを結ぶ浴線には Pl. 5 に比して遙かに肥大

した大型柔細胞があり、澱粉粒の含有は少く、分裂像も見受けられる。道管の周辺分裂組織の発達は余り良好とは云えない。

Pl. 7, 8 においても上述の両品種間の組織上の相異点は大体同様の傾向を示す。ただこの頃になると九州34号でも一部の細胞は肥大がかなり旺盛で、分裂も認められるが、いずれも Pl. 8 のそれには及ばない。大型柔細胞が沖縄 100 号では中心柱中央部にも認められるのに、九州34号ではこれが中間部から稍一次形成層側に認められ、この附近では道管周辺分裂組織の発達も良好な傾向がある。Pl. 7-A, -B; Pl. 8-A, -B は夫々中央道管および大型道管の周辺組織の模様を拡大撮影したものである。中央道管周辺で、沖縄 100 号では依然切線方向の分裂がかなり活潑におこなわれているのに、九州34号ではその頻度減少の様子が認められる (Pl. 7-, 8-A)。発生の新しい道管では九州 34号でもかなり旺盛な分裂がおこなわれているが、この場合にも小道管で囲まれる側では比較的小型柔細胞が派生されている。沖縄100号では細胞の肥大が速かなことが明瞭に認められる (Pl. 7-, 8-B)。

大型柔細胞の分裂は孤立的で分裂方向も一定しない。挿苗30日後の材料について、中心柱の中間部における大型柔細胞 100 箇当りの分裂の生起頻度を比較すると Table. 4 に示すごとく沖縄100号において極めて高いことが認められた。

Table 4 Frequency of the enlarged parenchyma cells divided in interlocated region of vascular cylinder

Varieties	Number of times of cell division per 100 parenchyma cells
Okinawa No. 100	17.4 ± 3.37
Kyushu No. 34	8.2 ± 3.22

IV. 澱粉粒の集積

上掲の写真は Safranin と Fast Green の染色性を識別するためパンフィルムを用いたので澱粉粒は明瞭でない。Pl. 7, 8 の標本の中央道管および第一次形成層附近を複写フィルムで撮影したものが Pl. 9, 10, 11, 12 である。沖縄 100 号は澱粉粒子が大きいので、一見際立って見えるが細胞内の含有粒数は少く、また含有細胞の割合も少い (Pl. 10)。九州34号は小型細胞にも澱粉粒が充満し、分裂組織における一部細胞を除いて、不含有の細胞は極めて少い (Pl. 9)。

第一次形成層外側の篩部柔組織では両品種共に澱粉含有量が多く、品種間の差は顕著ではないが、木部柔組織内の澱粉集積程度の差は著しい (Pl. 11, 12)。

木部柔組織における含有澱粉粒数を生育期を追って比較したものが Fig. 1 である。澱粉粒の発現は沖縄 100 号が早く、挿苗20日後までは含有粒数も多いが25日以降九州34号の集積程度が大となり品種の特性が発揮される。また集積程度の個体間変異も初期には大であるが30日頃にはその差が少くなる。

IV. 考 察

原生木部放射列数の多い根は塊根に肥大し易いことは、古く ARTSCHWAGER⁽¹⁾ が指摘し、戸刈、明峯⁽¹⁰⁾ 伊東⁽⁴⁾ 等もこれを認めている。沖縄 100 号が九州34号に比べて、放射列数が多いことは塊

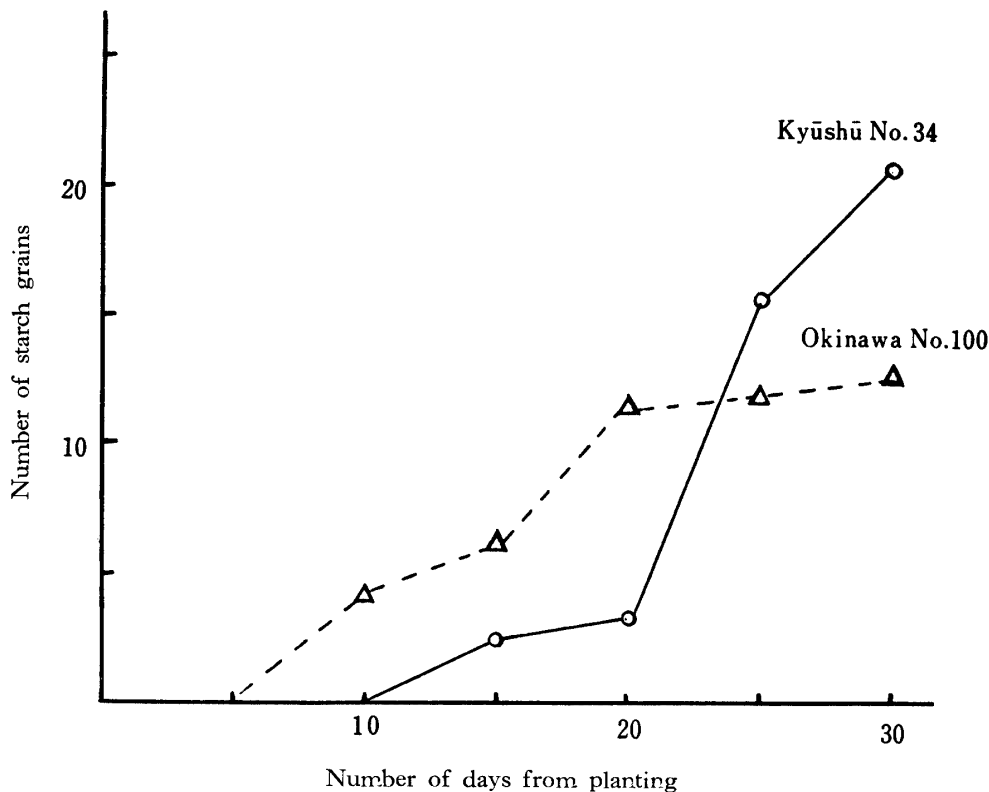
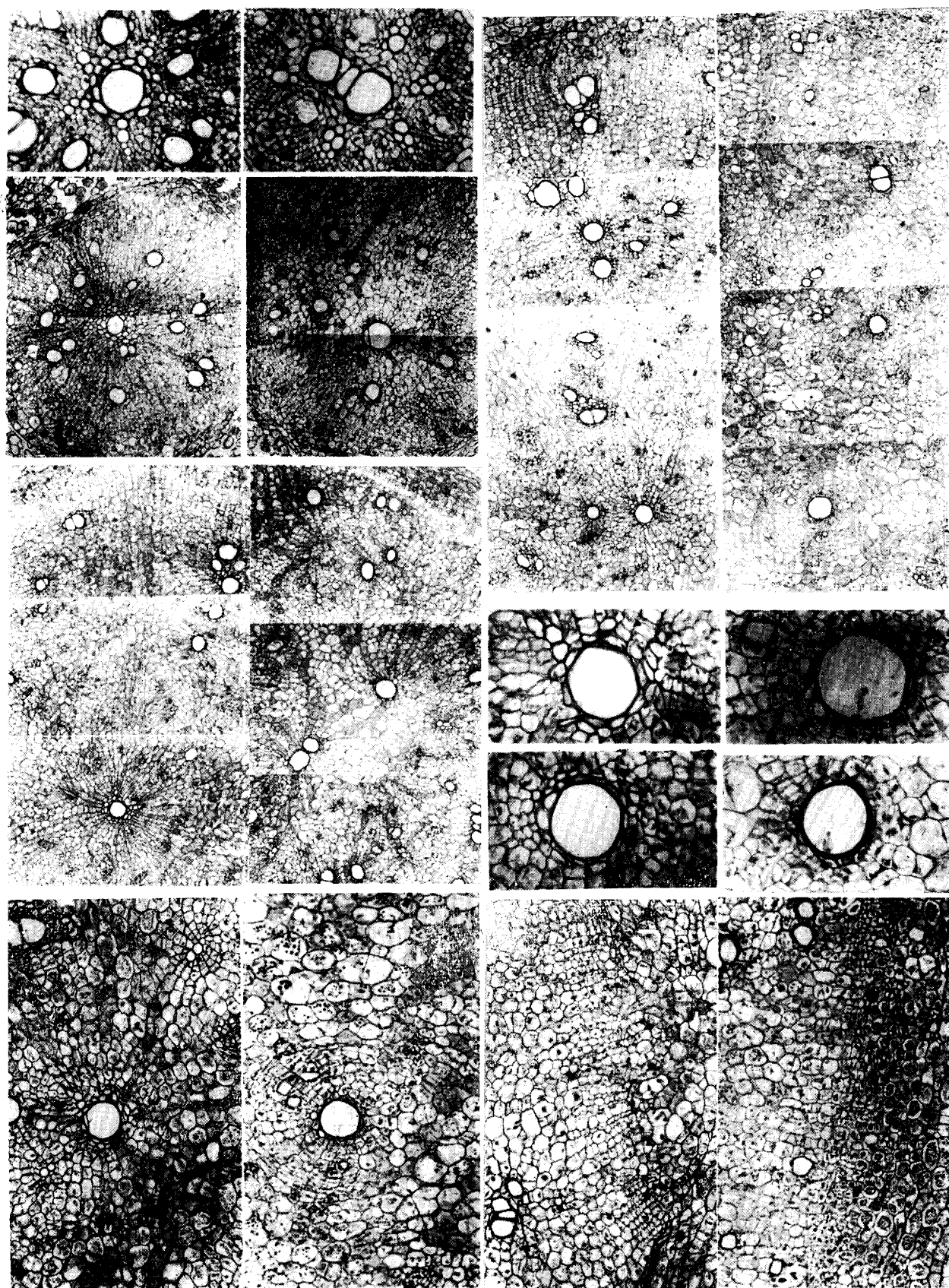


Fig. 1 Relationship between the mean number of starch grains contained in a parenchyma cell in the xylem of young tuber and the number of days from planting.

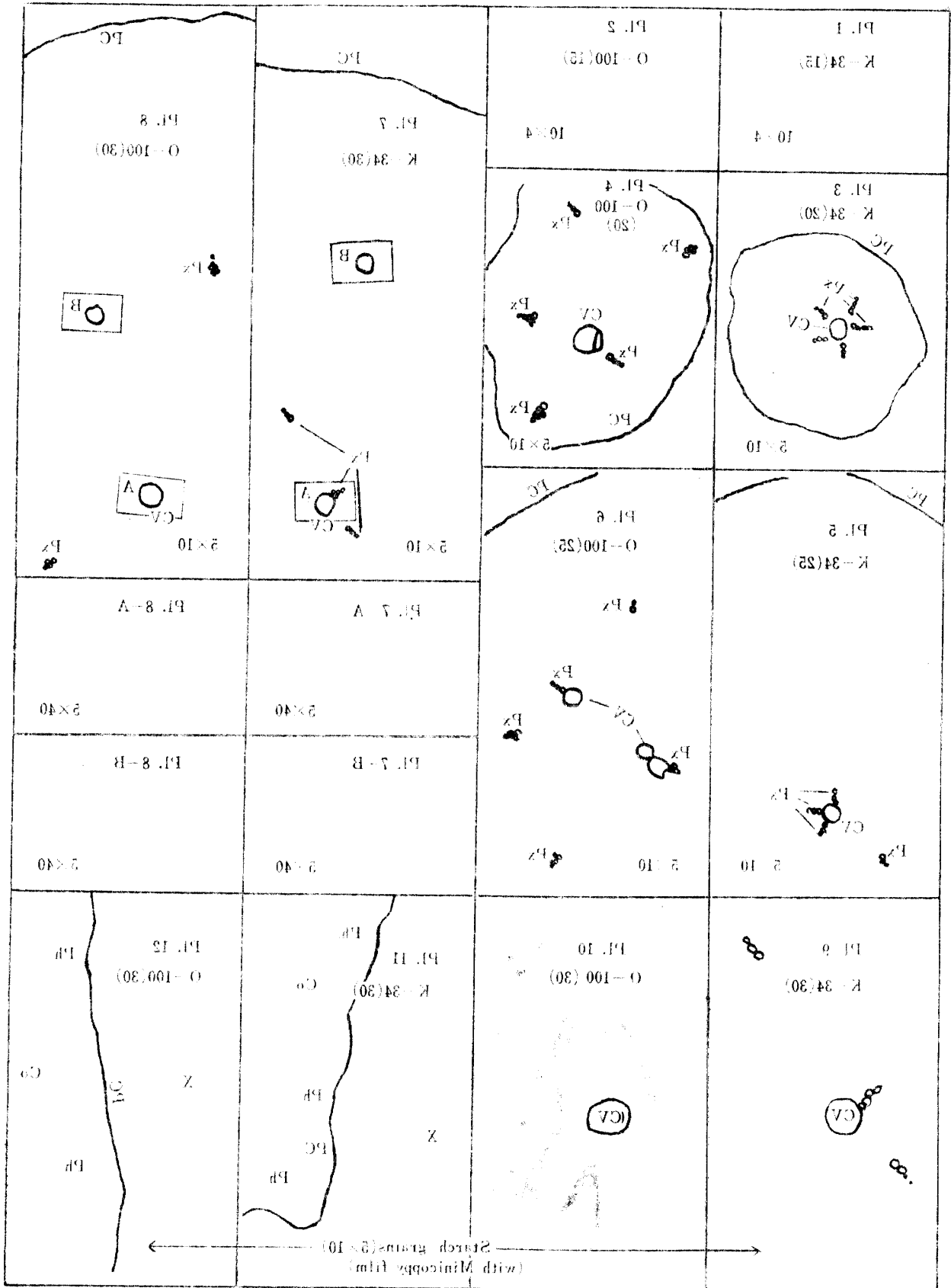
根の肥大性がより旺盛なことを意味し、肥大に関係する諸種の細胞分裂機能と関連するものであろう。放射列構成道管数に着目した既往の報文は見当たらないが、おそらく放射列数と同じく細胞の分裂活性に関連性を有するものであろう。

原生木部放射列と中央道管との間に介在する柔細胞が分裂能力を保持するか、木化が進行して分裂能力を失うかが塊根肥大性と密接に関係することは ARTSCHWAGER⁽¹⁾、小倉⁽⁷⁾、戸刈⁽⁹⁾ 等多くの研究者によって指摘され、肥大する根では介在柔細胞の分裂によって原生木部と中央道管とは次第に離れるが、肥大しない根では両者が連絡するとしている。しかし、筆者等は高澱粉品種九州34号において挿苗30日後の相当肥大した塊根においても原生木部と中央道管が連絡している場合が多いことを認めた。かかる場合は道管群（中央道管およびその周辺の小道管、附着した原生道管）の外周に分裂組織が出来るようでその模様は Pl. 3, 5, 7 に明瞭に表現されている。

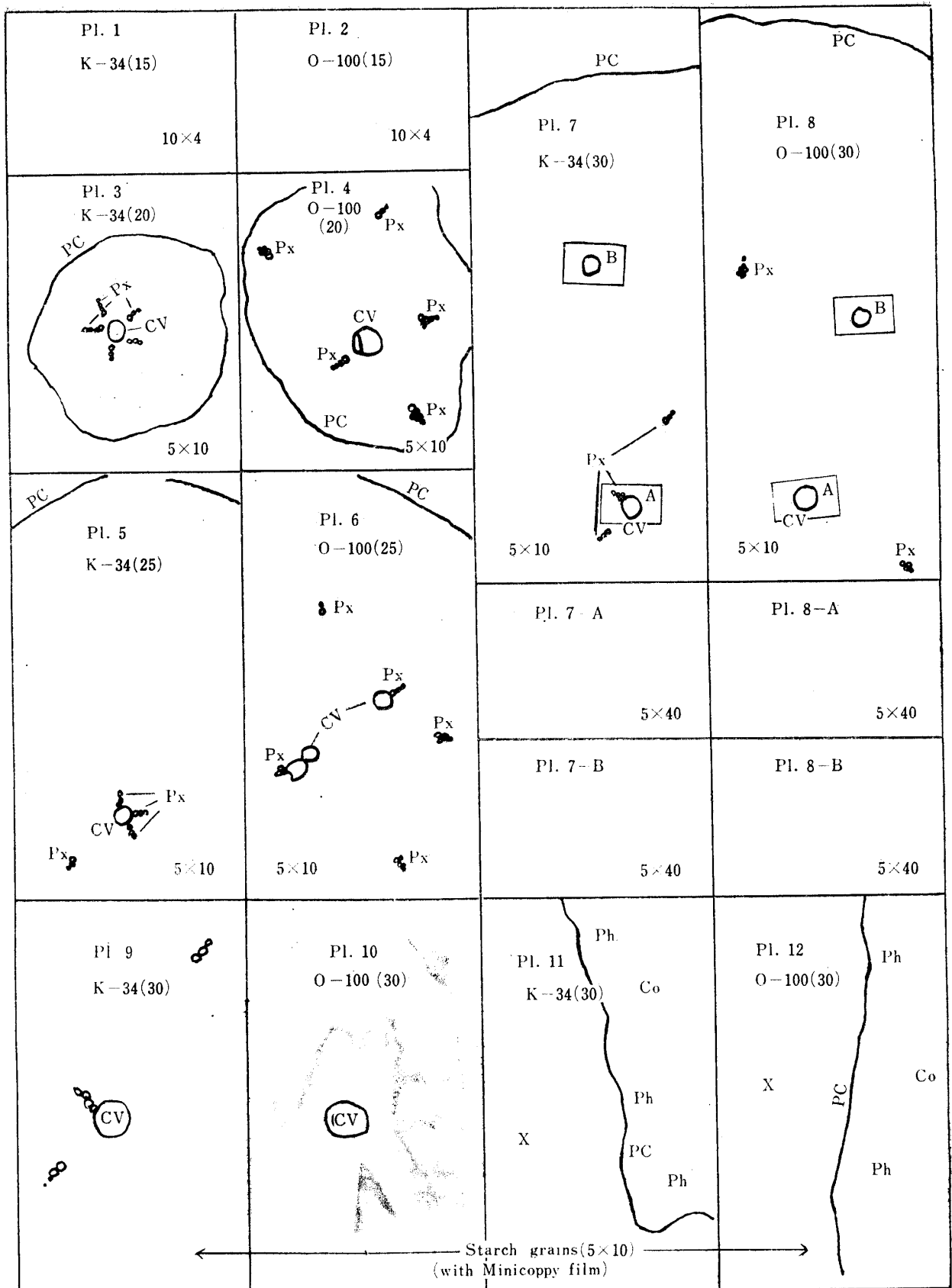
渡辺⁽¹¹⁾ は大根で道管形成に参加して厚膜化した細胞の一部が再び薄膜化して道管間柔細胞を形成する過程を詳細に観察している。甘藷でも Pl. 1 では原生木部、中央道管の近くに Safranin に染色した木化細胞のほかにも同色素には染色せず厚膜化している細胞が認められる。さらに Pl. 3, 5, 7 を見ると中央道管周辺における木化細胞が、生育日数の経過とともにその数を減少する傾向が看取される。これらの事実を合せ考えると九州34号の道管周辺の分裂組織は一旦厚膜化し、中には Safranin 染色性を発揮する程度に木化の進行した細胞が脱分化して柔細胞に還元し、柔組織発生の素因をなすのであろう。Pl. 7-B に見るごとく道管周辺の小道管の存する側では派生柔細胞の形が小さいこと、九州34号の中心柱内が小型柔細胞で充され組織配列が整然としていること (Pl. 3) も小型木化細胞の脱分化に起因するものかも知れない。高澱粉品種の九州34号が20日頃までは澱粉粒数の少いのも中心柱内の脱分化過程の進行によるものではあるまいか。沖縄100号の塊根では道



K-34.....Kyrush No. 34 O-100.....Okilawa No. 100
 Number of days after planting are given in parenthesis.
 Z.....xylem Pp.....phloem Co.....Cortex
 CV.....central vessel Px.....Protoxylem BC.....Primary Cambium



← Starch grains (2-10) (with Minicopy film) →



K-34.....Kyushu No. 34 O-100.....Okinawa No. 100
 Number of days after planting are given in parenthesis.
 CV.....central vessel Px.....Protoxylem PC.....Primary Cambium
 X.....xylem Ph.....phloem Co.....Cortex

管周辺細胞の厚膜化ないしは木化はほとんど認められず、周辺細胞自身が道管成立と同時的に分裂を開始するものようである。

両品種の組織特性を端的に表現すれば沖縄100号は柔細胞の増生、分裂が活潑で、肥大も迅速である。九州34号では道管周囲に木化を伴い易く、分裂組織の発生はおそく、活性は早く減退し、概して云えば既往の研究者が塊根に肥大しえぬ根に認めた組織上の諸特性を有するようである。これらの知見が品種の澱粉集積機能と直接的に関連するか否かは逐次解明を期し度い。

V. 摘 要

1. 高澱粉品種九州34号と低澱粉品種沖縄100号の肥大初期の塊根組織を比較した。
2. 原生木部の放射列数およびその構成道管数は沖縄100号が多い (Table 1, 2 および Pl. 1, 2)
3. 原生木部と中央道管との間の柔細胞の分裂は沖縄100号が多い (Table 3 および Pl. 3, 4, 5, 6)。
4. 九州34号は一次形成層輪内の柔細胞配列が沖縄100号にくらべてより整然としている (Pl. 3, 4)。これは柔細胞の分裂機能も肥大能力も微弱なためと思われる。
5. 大型柔細胞の分裂頻度も沖縄100号が大である (Table 4 および Pl. 7, 8)。
6. 沖縄100号は、とくに木部柔細胞の澱粉含有粒数が、九州34号に比して劣っている (Pl. 9, 10, 11, 12)

文 献

1. ARTSCHWAGER *J. Agr. Res.* **27**. 3 : 157-166 (1924)
2. ARTSCHWAGER *J. Agr. Res.* **40**. 10 : 867-915 (1930)
3. HAYWARD, H.E. *Bot. Gaz.* **93**. 4 : 400-420 (1932)
4. 伊東秀夫, 森田義彦, 鈴木耕三, 林隆之助, 農及円 **21**. 6 : 243-245 (1946)
5. JOHANSEN *PLANT MICROTÉCHNIQUE* 80-82 MCGRAW-HILL, NEW YORK AND LONDON (1940)
6. MCCORMICK *Bot. Gaz* **61**. 5 : 388-398 (1916)
7. 小倉謙 農及円 **20**. 8 : 331-334 (1945)
8. 小倉謙 農及円 **20**. 9 : 381-383 (1945)
9. 戸苅義次 農林省農事試験場報告 **68**, 1-99
10. 戸苅義次, 明峯英夫 農及円 **20**. 2 : 95-96 (1945)
11. 渡辺光太郎, 日本の大根 79-97 日本学術振興会 (1958)

R é s u m é

- 1) Between a low starch content variety "Okinawa No. 100" and a high starch content variety "Kyushu No. 34", the root-tissues at their most primary stage of the growth were compared.
- 2) In Okinawa No. 100, the number of radially arranged ridges and that of the vessels constituting the ridge were ascertained to be larger. (Table 1, 2 and Pl. 1, 2).
- 3) The cell division in parenchyma intercalated between the protoxylem system and the central metaxylem vessel seemed to be more active in Okinawa No. 100 (Fig. 3 and Pl. 3, 4, 5, 6).
- 4) The arrangement of parenchyma cells within the primary cambium ring was better organized in Kyushu No. 34 than in Okinawa No. 100 (Pl. 3 and 4). It was probably based

on that both the dividing activity and the enlarging capacity of a parenchyma cell were less remarkable in Kyushu No. 34 .

- 5) The frequency of the enlarged parenchyma cells set apart from vessels was higher in Okinawa No. 100 (Table 4 and Pl. 7, 8).
- 6) As was seen most remarkably in xylem parenchyma, the number of starch grains of Okinawa. No. 100 was smaller than that of Kyushu No. 34 (Pl. 9, 10, 11, 12, 13,14).