稲の形態形成に関する研究

第12報 冠根師部の微細構造と転流機構について

川原 治之助・松田 智明・長南 信雄

(茨城大学農学部)

昭和54年10月24日受理

水稻冠根においては、1次根の分裂帯・分化帯・伸長帯は根端より約1 cmの間にあり、2次根の出根は1次根の根端より約6 cmまでに開始される。また、イオン吸収は、2次根を考慮しなければ、1次根の根端の約5 cmが重要部位であり、そこは1次根における生化学的合成の場でもある。これらに必要な同化産物は師管によって地上部から輸送される。

水稻根師部の形成過程については、森¹²⁾、川田ら¹¹⁾が顕微鏡観察しているが、さらに、原生・後生師管の成熟過程と位置については顕微鏡観察によって確認の必要がある。また、茎葉の原生師管は器官伸長に際して破壊するが^{3,6)}、根の原生師管は生存しつづける。すなわち、根の原生師管は先端部ではシソクの師管として機能し、基部では遠距離輸送の師管として機能する特異性がある。その特異性が根の師部構造にみられるであろうか。また、第9, 10, 11報^{7,8,9)}でもふれたように、師管転流機構はMÜNCHの庄流説と師部による能動輸送の2説がある。そして、能動輸送の重要な構造として、師管内腔の微繊維状P-たんぱく質や索条構造が注目されているが^{1,2,3,13,15,16)}、水稻根師管はどのような構造であろうか。

以上の諸点を念頭におきながら、1次根の師部の成熟過程を顕微鏡観察した結果を報告する。

材料および方法

ポットで湛水あるいは水耕栽培した水稻品種コンヒカリの8~12葉期の太い冠根のうち、急速伸長中とみられる5~15 cmの健康な根を観察材料とした。地上部器官に比して根ではアーティファクトが生じやすく、各組織・細胞によって最適固定条件が多少異なるので今回の観察のために18回の固定を試みた。師管は内腔圧力のため、固定前に細切すれば内腔構造が破壊されるので、基部から切断した根をそのまま、あるいは、茎から切断せずに室温でグルタルアルデヒドとオスミック酸で2重固定し、その後1~1.5 mmに

本研究の一部は農林水産省総合研究「グリーンエネルギー計画」研究費による。(GEP 54-II-3-6)

細切してエタノール脱水、スパー樹脂包埋した。また、根を固定液に浸漬すると数分以内に師孔にカーズが沈積するので、グルタルアルデヒド、アクロレイン固定では開いた師孔をみることはごくわずかであった。そこで、液体窒素で根を凍結後、1~2°Cのアクロレインとグルタルアルデヒド混合液固定¹⁴⁾を試みたが成功しなかった。結局、師孔の観察は凍結置換法⁴⁾によった。

染色はすべてウランと鉛のメッシュ染色である。

観察結果および考察

観察した冠根の2次根原基は川田ら¹⁰⁾の観察結果と同様に1次根の先端より約1 cmの位置で分化し、先端より5.5~6.5 cmの位置で2次根は出根し始めていた。分化した2次根原基の先端が1次根の皮層の中央付近まで伸長するのは、1次根の先端から約4.5~5.5 cmの部位であって、それまでは伸長速度はおそいが、それ以後は急速に伸長して出根していた。

1. 師部の構成

第1図は1次根の先端より約4 cmの横断面で、師部は原生師管(pp)、後生師管(mp)およびそれらの間に位置する通常2個の伴細胞(cc)より構成されている。また、原生師管は伴細胞以外に2個の内鞘細胞(pe)とも接している。後生師管は伴細胞以外には、中心柱の基本的柔組織の細胞と接し、その柔組織は根基部では厚壁化する。

2. 原生師管とその隣接細胞

原生師管、後生師管、伴細胞が分化する様相は顕微鏡で川田ら¹¹⁾によって詳細に報告されたので、ここではふれないで置く。第2, 3図はそれぞれ生長点より約300 μ mの師部横断、縦断面であって、師部構成細胞はその形と位置から周辺の細胞と区別できる。そして、原生師管形成細胞(以下形成を省く)にはすでに多角形のたんぱく質結晶を含む球状のP-プラスチド(P)が認められ、このP-プラスチドは師管細胞以外には認められない。P-プラスチドの拡大像を第4図に示したが、たんぱく質結晶格子が認められ、中央の発

達した結晶はさらに薄く切らないと格子を明瞭に撮影できないであろう。また、師部構成細胞は隣接細胞と原形質連絡 (pd) によって連絡して（第2図）、第3図では原生師管細胞壁はすでに肥厚し始め、伴細胞との間に特徴のある原形質連絡が認められる。

第5, 6図は生長点からそれぞれ約 450 μm 、約 500 μm の原生師管細胞の縦断面である。この位置では生長点から遠ざかるにつれて原生師管細胞は伸長し、細胞基質濃度がうすくなり、P-プラスチドの数は増加し、核 (n) の内容物、および核膜の染色がうすくなり（第5図）、ついに核は溶解消失するに至る。これらの成熟過程には、リボゾーム、ミトコンドリア (m)、ゴルジ体 (g)、粗面小胞体 (rer, 小胞体を以下 ER と記す) の数は減少し、細胞伸長につれて、根軸に平行な細胞壁の原形質連絡の間隔は広がる。また、液胞 (v) は小さなものが少数認められるが発達することがなく、双子葉植物で報告されたような微繊維状 P-たんぱく質の束状結晶^{1,13,15)}は全く存在しない。そして、師板にはその中央がやや太くなった原形質連絡が認められるが、師孔としてはまだ開いていない。

一方、生長点から 400~500 μm 近辺になると、伴細胞の細胞基質濃度、リボゾームとミトコンドリアの分布密度は他の細胞よりも高くなり始める。

生長点から約 500 μm 隔たると第6図の上の原生師管細胞のように、急に細胞基質が希薄になり、細胞質のち密な構造が崩れ始める。第7図はその位置の横断面である。

さらに、生長点より約 700~800 μm では第8図のように、原生師管細胞の細胞質は崩壊がすすみ、内腔周囲には原形質膜 (pm) に沿って薄層の細胞質が残る、P-プラスチド、ミトコンドリア、ER が散在するようになる。第8図の細胞内腔中には屑状 ER が認められる。そして、細胞内腔の屑状分散物は双子葉植物で報告されているような^{1,13,15)}微繊維状 P-たんぱく質ではなく、細胞質の残渣である。また、原生師管細胞が成熟する際の細胞質退化過程には、液胞はほとんど関与していない点に注目すべきである。

生長点より約 800 μm 隔たると、第9図のように原生師管細胞の内腔は屑状分散物が消えて透明になってくる。生長点から約 1 mm 隔たると急速伸長帯に入り師管内腔には内腔周囲に原形質膜、薄層の細胞質が残るのみとなり、P-プラスチド、ミトコンドリアなどの細胞小器官の分布密度はきわめて小さくなる。これらの様相は第15図（生長点から 900 μm ）~第21図（根端から約 8 cm）からも知ることができる。

師管細胞が転流機能を得るには師孔が開かねばならない。しかし、通常の固定法では固定中にカロースの形成によってすでに開いた師孔が閉じる。ごくまれではあるが、開いた師孔がみられることがあり、生長点から 1 mm の部位におけるその1例を第10図に示した。この師孔 (sp) もカロース (c) によって細くなっている。そこで開いた師孔を確認するために凍結置換法を用いた。凍結置換法による師板を第11~14図に示したが、第12図（生長点より 1 mm）、第14図（生長点より 2 mm）の伴細胞にみられるように、凍結置換法は細胞基質、細胞小器官のアーティファクトが大きい。それ故、師管内腔にも大きなアーティファクトを考慮せねばならないが、師孔のカロース形成を防ぐことができるので、師孔の開き具合を知ることができる。第11図（生長点から 800 μm ）では内腔の細胞質残渣はアーティファクトのため移動して師孔を埋めているが、明らかに師孔は開いている。また、第12, 13, 14図ではアーティファクトのため P-プラスチドからとび出たたんぱく質結晶体によって師孔の一部はふさがれているが、開いた師孔をみることができる。これらの結果より、原生師管の師孔が開く部位は生長点から 700~800 μm と考えることができる。これは第8図のように、師管内腔に細胞質残渣が屑状に散在する部位にあたる。それ故、この状態のときに師管細胞は転流機能を得ると考えてよいであろう。なお、図示しなかったが、細切後グルタルアルデヒド固定した根端組織の縦断面を電顕観察すると、切断面で師管内腔の圧力が消失するため、生長点から 700~800 μm の師管内腔の屑状分散物が切断面側の師板の方向に移動している像をみることができる。

また、第10図のように、師孔の中にも師管内腔にも微繊維状 P-たんぱく質も、特殊な索条構造も認められない。

つぎに、第9図のように成熟師管は伴細胞のみならず、隣接細胞との間にも原形質連絡がある。師管と伴細胞間の原形質連絡は伴細胞側が分枝状になっていて、これは器管による差がない。しかし、葉の師管は伴細胞との間にも原形質連絡をもつが、1次根の原生師管と内鞘細胞間の原形質連絡の存在は注目すべきであり、これは第7, 15（生長点より 900 μm ）、17（生長点より 3 mm）図にも認められ、根基部においてもこの原形質連絡は消失せず、機能しているようにみえるのである。

生長点から約 1 mm 隔たると急速伸長帯に入り、師管内腔には内腔周囲に原形質膜と薄層の細胞質が残る

のみとなり、P-プラスチド、ミトコンドリアなどの細胞小器官の分布密度はきわめて小さくなる。これらの様相は第16図(生長点より1mm)~第21図(根端より8cm)から知ることができる。

また、急速伸長帯に入ると1次根各組織の細胞の液胞が大きくなり、細胞基質濃度は低くなるが、伴細胞の液胞化は最もおくれ、ついで内鞘の液胞化が基本的柔組織よりおくれる。根端から4cm隔った第18図のように、伴細胞にはかなりの細胞質が残り、根端から8cmの位置でも(第21図)多数のミトコンドリアが存在し、これは根基部においても同じ様相である。

2次根形成に直接関係しない限り、内鞘細胞は根端より約4cmまでは液胞の発達はとくに大きくはないが、それより基部では液胞は発達し細胞質は内腔周辺に薄層となって残るのみとなる。ここで特筆すべきことは、生長点から500 μ m~2mmの間の1次根では伴細胞、内鞘細胞のみならず各組織細胞にもミトコンドリア、粗面ER、ゴルジ体の分布密度が高まることである。第15図の伴細胞には層状粗面ERが認められる。層状粗面ERの生合成活性の高低については論議はあろうが、粗面ERの増加の一樣相と考えて

良いであろう。

3. 後生師管とその隣接細胞

後生師管形成細胞(以下形成を省く)は、その形と位置によって生長点から約300 μ m隔たると原生師管細胞と同時に確認できるが、細胞小器官によって師管細胞として確認できるのは生長点から約1mmの位置で第16図のようなP-プラスチドの存在によってである。生長点より約1mmを過ぎて急速伸長を始めると、師管細胞の液胞が大きくなり(第16, 17図)、P-プラスチドの数が増し、根端より4cmの位置(第18図)では液胞は師管細胞内腔の大部分を占め、細胞質は原形質膜と液胞膜の間に薄層となる。そして、核、液胞膜が消失して細胞質が崩壊し、原形質膜と薄層の細胞質および少数のミトコンドリア、P-プラスチド、ERなどが細胞壁に沿って残り、細胞内腔が透明化して成熟するのは根端から4.5~5.5cmの部位である。根端より6cmの第19図には液胞膜や細胞質の崩壊残渣が後生師管内腔にまだ残っているが、根端より7および8cmの第20, 21図では後生師管内腔は全く透明となり、P-プラスチドが認められる。

また、中心柱横断面でみると各後生師管細胞には多少成熟の遅速がある。例えば、根端より5cmの横断

Abbreviations.

c : callose, **cc** : companion cell, **co** : cortex, **en** : endodermis, **er** : endoplasmic reticulum, **ex** : early metaxylem, **g** : Golgi apparatus, **lx** : late metaxylem, **m** : mitochondrion, **mp** : sieve element of metaphloem, **n** : nucleus, **p** : P-plastid, **pd** : plasmodesma, **pe** : pericycle, **pm** : plasma membrane, **pp** : sieve element of protophloem, **px** : protoxylem, **rer** : rough endoplasmic reticulum, **sp** : sieve pore, **to** : tonoplast, **v** : vacuole.

Fig. 1 ($\times 600$) A transection through a crown root 4 cm apart from the root tip. **Fig. 2** ($\times 5,800$) A transection of phloem 300 μ m apart from the growing point. P-plastids are already recognized in the immature sieve element of protophloem. **Fig. 3** ($\times 5,600$) A longitudinal section of protophloem 300 μ m apart from the growing point. **Fig. 4** ($\times 83,000$) A P-plastid. **Fig. 5** ($\times 6,000$) A longitudinal section of immature sieve elements of protophloem 450 μ m apart from the growing point. The content and envelope of nucleus are thin stained. Small vacuoles and no P-protein are shown. **Fig. 6** ($\times 11,500$) A longitudinal section of immature sieve elements of protophloem 500 μ m apart from the growing point. No sieve pore but plasmodesmata in the sieve plate and no P-protein are shown. **Fig. 7** ($\times 5,600$) A transection of a immature sieve element of protophloem 500 μ m apart from the growing point. The sieve element has plasmodesmata in the cell walls facing to the pericycle cells as well as to the companion cells. The small vacuoles are not thought to function for the degeneration of cytoplasm. **Fig. 8** ($\times 5,800$) A longitudinal section of a maturing sieve element of protophloem 700 μ m apart from the growing point. The dust-like things scattering in the lumen of the sieve element are not P-protein, but the remnants of degenerated cytoplasm. Note the stuck of endoplasmic reticulum. **Fig. 9** ($\times 7,800$) A transection of a mature sieve element of protophloem 800 μ m apart from the growing point. Note the plasmodesmata in the cell walls between the sieve element and the pericycle cells. **Fig. 10** ($\times 14,400$) A longitudinal section of a sieve element of protophloem fixed with glutaraldehyde and osmic acid 1 mm apart from the growing point. The sieve pores are narrowed by the precipitation of callose.

面では第19図の成熟像のみでなく、第18図の未熟像の篩管細胞もみられることがある。

上述のように原生篩管細胞は液胞が発達することなく、核や細胞質の崩壊によって成熟した。この過程は双子葉植物の莖葉で報告されているが、水稻冠根の後生篩管細胞のように、液胞が発達したのち、液胞膜や核の消失によって成熟する過程は特異なものであって、他の植物の根との比較をさらに進める必要がある。

後生篩管と伴細胞とは分枝状原形質連絡によって連絡しているが、後生篩管はまた隣接基本的柔細胞間にも数多くの原形質連絡をもっている（第2, 19, 21図）。隣接基本的柔細胞壁は根基部では肥厚するが、後生篩管細胞との間の原形質連絡は消失せず、機能しているようにみえる。これらの後生篩管の原形質連絡の特徴は原生篩管の場合と同様に、根篩管の特徴として注目すべきである。

また、原生篩管と後生篩管の直接の接触は第16図のようにまれに観察されるけれども、両篩管の間には原形質連絡は認められない。おそらく、両篩管の連絡は、2次根形成部では不明であるが、それ以外の1次根中にはないと考えてよいであろう。

4. 総合考察

篩管細胞の分化・成熟並びに2次根の形成位置の根

端からの距離は個体差が大きいけれども、その個体差は根伸長速度と密接な関係があると考えられる。

この観察に用いた急速伸長中の冠根1次根の場合、生長点から約5 cmの位置で後生篩管が成熟すると直ちに2次根が出現した。従って、1次根の先端約5 cmは原生篩管によって篩管溶液が運ばれ、1次根の先端約5 cmより基部並びに出根後の2次根の形態形成に1次根後生篩管は寄与しているということになる。それゆえ、1次根後生篩管と2次根篩管の連絡様式は興味ある研究課題である。

ソースである葉の篩管は伴細胞との間のみ原形質連絡がある。これは伴細胞によって濃縮された溶液が原形質連絡を通じて能動的に篩管に注入される構造と考えられる。一方、シンクとしての子房脊部維管束の篩部では、横断面でみた場合、伴細胞数が篩管数よりも少なく、篩管細胞壁の原形質連絡の数も少ない³⁾。これは伴細胞のみならず隣接柔細胞に篩管から篩管細胞壁を通じて篩管溶液が流出することを推測させるものである。おそらく、脊部維管束の篩管の原形質膜は溶液透過性が高くなっているであろう。

根端約1 mmの部分では、成熟直後の原生篩管はシンクとしてのみ機能している。この位置の原生篩管と隣接細胞の間には分布密度の高い原形質連絡がある。従って、篩管溶液の流出は原形質連絡によるであろう。

Figs. 11–16 Sieve plates in sieve elements of protophloem fixed by freeze-substitution and post osmic acid.

Fig. 11 ($\times 20,000$) A sieve plate 800 μm apart from the growing point. As the fixation of freeze-substitution breaks down the inside of the lumen, the sieve pores are plugged with the remnants of degenerated cytoplasm. But, sieve pores have not been closed without callose precipitation during fixation. **Fig. 12** ($\times 18,000$) A sieve plate 1 mm apart from the growing point. Envelopes of P-plastids are torn off, and naked proteins are pushed against the sieve plate. **Fig. 13** ($\times 36,000$) A sieve plate 2 mm apart from the growing point. **Fig. 14** ($\times 20,000$) A sieve plate 2 mm apart from the growing point. Note the artifact in the companion cell. **Fig. 15** ($\times 4,200$) A transection of phloem 900 μm apart from the growing point. Note the dense cytoplasm and the stuck of endoplasmic reticulum in the companion cells. The sieve elements of proto- and metaphloem are connected by plasmodesmata with the surrounding cells, that is, pericycle cells, companion cells and also a fundamental parenchyma cell. **Fig. 16** ($\times 6,400$) A transection of phloem 1 mm apart from the growing point. P-plastids appear in the sieve element of metaphloem. **Fig. 17** ($\times 2,400$) A transection of phloem 3 mm apart from the growing point. A large vacuole is shown in the rapidly elongating sieve element of metaphloem. **Fig. 18** ($\times 4,500$) A transection of phloem 4 cm apart from the root tip. Tonoplast can be recognized in the immature sieve element of metaphloem. **Fig. 19** ($\times 5,000$) A transection of phloem 6 cm apart from the root tip. Remnants of cytoplasm, but not the fibrillar P-protein, are scattered in the lumen of the metaphloem sieve element just matured. **Fig. 20** ($\times 6,000$) A transection of a mature sieve element of metaphloem 7 cm apart from the root tip. The lumen of the sieve element is transparent. **Fig. 21** ($\times 5,000$) A transection of a mature sieve element of metaphloem 8 cm apart from the root tip. No fibrillar P-protein can be seen. Note the plasmodesmata in the walls between the sieve element and the fundamental parenchyma cells.

が、一方、自由空間としての師管壁を通ることも否定できない。しかし、急速伸長部より基部では原生師管は長距離輸送の機能も兼ねるので、師管の原形質膜の溶液透過性は低くなっているであろう。そして、旺盛な形態形成の場である根端約5 cmの部分に師管溶液を分配する構造として、原生師管は伴細胞のみならず隣接内鞘細胞とも原形質連絡を通じている事実は重要視されねばならない。また、後生師管は伴細胞のみならず隣接基本的柔細胞とも原形質連絡していたことは、根基部の基本的柔細胞壁肥厚などの形態形成にとって甚だ好適な構造である。このように考えるならば、根師管壁の原形質連絡の様相はシンクと長距離輸送を兼任する師管構造の特徴として理解することができる。

つぎに、細胞質濃度が高く、ミトコンドリアに富む根の伴細胞の様相は穂や葉の場合と同じ傾向を示している^{5,8,9)}。

また、根端より4 cmの間の内鞘細胞の高い細胞活性の持続については、2次根原基の形成と関連して考えるべきであろう。しかし、根端より5 cmまでの1次根は形態形成の盛んな場であると同時に、イオン吸収と生化学的合成の場でもある。とくに、生長点より500 μm ~2 cmの間の根組織細胞における細胞小器管の豊富なことは、根の機能の多様な面から今後検討すべきである。そして、これらの根の活性がシンクの内容容であって、師管転流の原動力の一つとなっていると考えてよいであろう。

最後に、1次根師管に微繊維状 P-たんぱく質もなく、内腔は透明でとくに索条構造も見出せなかったことについてふれたい。師管内腔の構造と固定中の障害について多くの論議があるが、少くとも現在適当であると報告されている師管の固定法はほとんど今回試みられた。そして、今回試みた固定法による観察結果に基づくという条件付きではあるが、水稻根では微繊維状 P-たんぱく質や索条構造を必要とする師管の能動転流機構は存在しないと考えられる。

また、P-プラスチドの数は師管の成熟直前に最大となり、その後、減少してゆくことから、P-プラスチドはたんぱく質の一時的貯蔵形態と考えられるが、転流機構との関係は不明である。

摘 要

急速伸長中の水稻冠根の師部を電顕観察し、次の結果を得た。1. 根端より約5 cm隔った部分で後生師管は成熟し、その直後、2次根が出根する。2. 原生

・後生師管は伴細胞のみならず、隣接する内鞘細胞や基本的柔細胞とも原形質連絡で連絡している。これはシンクと長距離輸送を兼任する師管の特徴と考えられる。3. 師管内腔は透明でとくに索条構造も微繊維状 P-たんぱく質も存在しない。4. 生長点より500 μm ~2 cmの間では、根組織全般にわたって、細胞質、ゴルジ体、粗面小胞体、ミトコンドリアの密度が高く、伴細胞と内鞘細胞はその活性が他の柔細胞より持続する。

引 用 文 献

1. CRONSHAW, J. 1974. Phloem differentiation and development. In *Dynamic aspects of plant ultrastructure*. (Ed.) A. W. ROBARDS. McGraw-Hill, Madenhead. 391—413.
2. ——— 1974. P-proteins. In *Phloem transport*. (Ed.) S. ARONOFF, J. DAINITY, P. R. GORHAM, L. M. SRIVASTAVA and C. A. SWANSON. Plenum Press, New York. 59—116.
3. FENSON, D. S. 1975. Work with isolated phloem strands. In *Transport in plants I*. (Ed.) M. H. ZIMMERMAN and J. A. MILBURN. Springer-Verlag, Berlin. 223—244.
4. FISHER, D. B. 1976. Histochemical approaches to water-soluble compounds and their application to problems in translocation. In *Transport and transfer processes in plants*. (Ed.) I. F. WARDLAW and J. B. PASSIOURA. Academic Press, New York. 237—246.
5. 兼子 真・長南信雄・松田智明・川原治之助 1979. 水稻葉身における小維管束の微細構造と光合成産物の移動径路. 日作紀 **49**: 42—50.
6. 川原治之助・長南信雄 1968. 稲の形態形成に関する研究. 第5報 稈における維管束の成熟過程. 日作紀 **37**: 399—410.
7. ———・松田智明・長岡信雄 1977. ———. 第9報 小穂における維管束の構造と転流機構について. 日作紀 **46**: 82—90.
8. ———・——— 1977. ———. 第10報 子房の脊部維管束の電顕観察と転流機構について. 日作紀 **46**: 91—96.
9. ———・——— 1977. ———. 第11報 小穂軸維管束の微細構造と転流機構について. 日作紀 **46**: 537—542.
10. 川田信一郎・高田寿雄 1972. 水稻冠根における分枝根始原体の形成、とくにその根端近傍において最初に形成される部位について. 日作紀 **41**: 111—290.
11. 川田信一郎・森田茂紀・山崎耕宇 1978. 水稻冠根の根端における導管および師管の分化の順序について. 日作紀 **47**: 101—110.
12. 森 敏夫 1960. 水稻根における組織の分化と発

- 育に関する解剖学的考察. 東北大農研彙報 **11**: 159—203.
13. PARTHASARATHY, M. V. 1975. Sieve element structure. In *Transport in plants I.* (Ed.) M. H. ZIMMERMAN and J. A. MILBURN. Springer-Verlag, Berlin. 3—37.
14. SHIH, C. Y. and H. B. CURRIER 1969. Fine structure of phloem cells in relation to translocation in the cotton seedling. *Amer. J. Bot.* **56**: 462—472.
15. SRIVASTAVA, L. M. 1974. Structure and differentiation of sieve elements in *Angiosperms* and *Gymnosperms*. In *Phloem transport* (Ed.) S. ARONOFF, J. DAINY, P. R. GORHAM, L. M. SRIVASTAVA and C. A. SWANSON. Plenum Press, New York, 33—62.
16. THAINE, R., M. C. PROBINE and P. Y. DYER 1967. The existence of transcellular strands in mature sieve elements. *J. Exp. Bot.* **18**: 110—127.

Studies on Morphogenesis in Rice Plant

XII. Ultrastructure of the phloem in the crown root

Harunosuke KAWAHARA, Toshiaki MATSUDA and Nobuo CHONAN

(Faculty of Agriculture, Ibaraki University, Ami, Ibaraki 300-03)

Summary

The phloem of rapidly elongating crown roots of rice plants, cultured in water or paddy, were observed by an electron microscope. The intact crown roots were fixed as follows, 1) glutaraldehyde and post osmic acid, 2) ice-cold acrolein-glutaraldehyde and post osmic acid after freezing in aqueous nitrogen, 3) freeze-substitution and post osmic acid. The ultra-thin sections were stained with uranium and lead.

The sieve elements of protophloem, having P-plastids, differentiate 300 μm (Figs. 2 and 3) and mature 700–800 μm (Figs. 8 and 9) apart from the growing point. Small vacuoles of the immature sieve elements of protophloem do not participate in the degeneration of cytoplasm (Figs. 5, 6 and 7). On the other hand, the vacuoles of the sieve elements of metaphloem are expanded in the rapidly elongating zone—1 mm–1 cm apart from the growing point (Figs. 17 and 18), and the destruction of the tonoplast participates in the degeneration of cytoplasm.

The fibrillar P-protein and the strand of cytoplasm could not be found in both the immature and the mature sieve elements of proto- and metaphloem.

The sieve elements of metaphloem mature about 5 cm apart from the root tip, and just soon after, lateral roots appear. Therefore, on the view point of morphogenesis, the root tissues of 5 cm from the root tip are supported by the sieve elements of protophloem, and the sieve elements of metaphloem support the tissue formation of the basal part of the main root and the elongation of the lateral roots.

The sieve elements of proto- and metaphloem have plasmodesmata in the walls facing to pericycle cells and fundamental parenchyma cells as well as to companion cells. These plasmodesmata are thought to be a characteristic of the sieve elements functioning in both sink and long distance transport.

The root tissues from 0.5 mm to 2 cm from the growing point are rich in mitochondria, Golgi apparatus and rough endoplasmic reticulum. These cell activities have to be studied in relation to not only morphogenesis, but ion absorption and biochemical synthesis.