

人蔘(*Panax ginseng* C.A Meyer) 根毛細胞의 微細構造 및 細胞化學的 研究

鄭 炳 甲 · 金 宇 甲

Ultrastructural and Cytochemical Studies on Root Hair Cells of Ginseng(*Panax ginseng* C.A. Meyer)

Jeong, B. K. and W. K. Kim

(Received November 13, 1985)

Abstract

Ultrastructural and cytochemical studies of the root hair cell and the trichoblast were undertaken with light and electron microscopes to clarify the type of root hair, fine structure and the activities of acid phosphatase and ATPase.

The root hair was differentiated from the middle portion of the cell, and perpendicularly to the long axis of the cell. Consequently, the type of root hair comes under the panicoid type.

In the trichoblast, nucleus and cytoplasm are located in the vicinity of cortex. On the contrary, after the root hair is formed, they migrate to the apical region of the root hair, and the basal region of the root hair is filled with numerous vacuoles.

Cell walls of actively growing root hairs are subdivided into two layers on the basis of the arrangement of cellulose microfibrils. New cell wall of the root hair is presumptively formed from Golgi complex-derived vesicles.

Activity of acid phosphatase appeared on tonoplast, plasma membrane, and nuclear envelope, whereas ATPase activity appeared on the plasma membrane, heterochromatin, and mitochondrial cristae.

서 론

根毛는 뿌리의 표피세포 중에서 특수하게 분화된 세포로서 뿌리의 흡수면적을 넓히고 식물체를 토양에 고착시켜서 지지하는 역할도 일부 담당하고 있으며 주로 단세포이나 *Kalanchoe fedtscheki*

같은 종은 공기중에서 자라게하면 다세포로 변하는 경우도 있다(Popham과 Henry, 1955; Avers, 1963).

Dittmer(1949)는 37종을 대상으로 근모의 폭, 길이, 형태 등을 연구하여 根毛가 분류군의 형질로 이용될 수 있음을 밝혔고, Sinnott(1939)는 초본

68속 82종의 근모발생을 연구한 바, 표피세포의 불균등분열에 의해서 생긴 두 세포중 크기가 작고 세포질이 치밀한 세포에서 根毛가 생성되는 A형과 균등분열 결과 생긴 두 세포중 어느 한 세포 혹은 두 세포 모두에서 근모가 생성되는 B형으로 구분하였다. 또 Sinnott와 Bloch(1939)는 A형의 근모는 세포의 기부쪽에서 뿌리의 주축에 대해 45° 각도를 이루고 아래쪽으로 생성되는데 비해서 B형의 근모는 세포의 중앙 가까운 부위에서 90° 각도로 생성된다고 보고하였다. 한편 Row와 Reeder(1957)는 A형을 festucoid, B형을 panicoid라 하였고 Reeder와 Martzahn(1953)은 이러한 두가지 형은 배의 형태, 염색체의 크기와 수, 잎의 형태 등에도 각각 차이가 있다고 보고하였다.

根毛가 생성되는 세포를 trichoblast 라고 하는데(Leavitt, 1904; Cormack, 1949), 이 세포는 주변의 표피세포보다 8배나 많은 DNA를 가지며(Cutter와 Feldman, 1970a, b), hydrogenase, phosphatase, cytochrome oxidase, peroxidase 등의 활성이 높고(Dosier와 Riopel, 1977), ER, microtubule, coated vesicle, Golgi complex 등이 잘 발달되어 있음이 보고되었다(Kawamatu, 1963; Roche, 1966).

根毛는 성장함에 따라 핵과 세포질이 根毛의 끝부분으로 밀려나가고(Dawes와 Bowler, 1959) 활발히 성장하는 근모의 세포벽은 두 층으로 구별되는데 각각 cellulose microfibril의 배열양상이 다르다(Bonnett와 Newcomb, 1965, 1966; Newcomb와 Bonnett, 1965; Dawes와 Bowler, 1959). Trichoblast 및 根毛의 미세구조에 관한 연구는 *Azolla imbricata*(Kawamatu, 1963), *Hydrocharis morsus-ranae*(Cutter와 Hung, 1972), *Raphanus sativus*(Bonnett와 Newcomb, 1965; Newcomb와 Bonnett, 1965), *Zea mays*(Kim과 Kim, 1982), *Equisetum hyemale*(Harris, 1979) 등에서 이루어진 바 있다.

본 연구는 인삼의 根毛형성은 어느 형에 해당되는가를 밝히고 根毛細胞의 미세구조를 규명하며 세포화학적 방법으로 그 특징을 밝히고자, 광학 및 전자현미경을 이용하여 관찰하였다.

재료 및 방법

강화도산 인삼(*Panax ginseng* C.A. Meyer)의 홍숙종자를 채종하여 과피를 제거한 후 지상부 설치법에 의하여 개갑시켰다. 종피가 열개된 종자를 멸균한 증류수로 수 차례 씻은 다음 여러 장의 여과지를 깐 petri dish에 넣은 후 재료가 마르지 않도록 물을 부어주면서 4°C에서 발근시켜서 근모대를 포함하는 근단부위를 절단하여 공시재료로 사용하였다.

광학현미경적 관찰을 위해서는 10% neutral formalin에 고정하고 통상의 방법을 사용하여 탈수 및 포매한 후 hematoxylin-eosin 으로 염색하였다.

전자현미경적 관찰을 위해서는 재료를 5% paraformaldehyde-glutaraldehyde(phosphate buffer, pH 6.8) 및 2% OsO₄에 4°C에서 각각 2시간씩 전후 고정한 다음 alcohol농도 상승순으로 탈수하여 propylene-oxide로 완전 치환하고 Epon-Araldite 혼합액에 포매하였다. 포매된 시료를 Sorvall MT-II형 및 LKB-V형 ultramicrotome을 사용하여 1μm 두께로 semi-section하여 methylene blue 및 basic fuchsin으로 염색한 후 광학현미경으로 관찰하였고 은색절편을 제작하여 uranyl acetate 및 lead citrate 로 이중염색한 후 JEM 100CX-II (80kV) 전자현미경으로 관찰하였다.

한편 세포화학적 방법으로는 acid phosphatase는 Barka와 Anderson(1962)법으로, ATPase는 Marchesi와 Palade(1967)법으로 각각 incubation medium에 처리하였으며 0.14 M veronal acetate buffer, 0.1N HCl, 2% OsO₄ 및 sucrose 가 포함된 Caulfield solution으로 후고정하였고 통상적인 방법으로 다음 단계의 실험을 실시하였으며 thin section후 lead citrate 로 단일염색하여 관찰하였다.

결 과

인삼 뿌리의 표피는 단층으로 되어 있으며 그 크기는 약 10 μm×10 μm 내외로 약 20 μm×17 μm 크기의 피층세포에 비해서 작았으며 tricho-

blast는 주변의 표피세포보다 hematoxylin-eosin (Fig. 1)과 methylene blue-basic fuchsin(Fig. 2)에 강하게 염색되었다. 근모가 생성됨에 따라 세포질은 근모의 끝부분으로 이동하였고 핵도 이동되는 중에 있었으며 피층과 접해 있는 면에는 vacuole이 잘 발달해 있었다(Figs. 3, 4). 이러한 근모는 세포의 중앙부위 가까이에서 뿌리의 주축에 대해 90° 각도를 이루고 있었으며 인접한 두 세포 모두에서 근모가 생성되는 경우도 있었다(Fig. 4).

Trichoblast에는 핵이 피층과 접해 있는 면에서 관찰되었고 핵 주변부에서 mitochondria가 특징적으로 밀집하여 위치하였으며 proplastid와 Golgi complex 및 thylakoid stacking이 되지 않은 amyloplast 등도 관찰되었다. Vacuole 내에는 fibrous material을 가지는 것도 찾아볼 수 있었다(Figs. 5, 6).

根毛가 생성되면 핵과 대부분의 세포질이 근모의 끝부분으로 이동되어 위치하였고 Golgi complex(Fig. 7)가 다수 근모의 끝부분에서 관찰된다. 세포질 전반에 걸쳐 RER이 잘 발달되어 있었으며 수 많은 mitochondria도 관찰된다(Fig. 7). 근모의 기부쪽은 다수의 vacuole로 가득 차 있었으며 서로 융합하고 있는 것도 관찰되었다. 이러한 vacuole에는 fibrous material이 가득 차 있는 것과 그렇지 않은 것의 두 종류로 구별될 수 있었는데 대부분이 fibrous material이 가득 차 있었으며 ribosome을 제외한 세포소기관은 전혀 찾아볼 수 없었고(Fig. 8) 구형의 lipid droplet도 관찰되었다. 根毛細胞에서는 격자형의 protein crystal도 관찰되었으며 세포벽과 평행하게 RER이 관찰되었고(Figs. 7, 9) 핵에는 전반적으로 이질염색질이 적은 편이었으며 proplastid도 관찰되었다(Fig. 10).

활발하게 성장하고 있는 根毛細胞의 세포벽은 두 층으로 쉽게 구별되는데(Fig. 11) 바깥쪽은 cellulose microfibril의 배열이 불규칙하고 조밀하였으나 안쪽은 영성하였으며 세포벽 바로 안쪽에는 microtubule(Fig. 11)이 다수 관찰되고 있다. Chromoplast도 관찰되며(Fig. 12) ER은 cisternae가 확장되어 있었고 ER에서 유래된 약 0.2 $\mu\text{m} \times 0.2 \mu\text{m}$ 크기의 구형인 vesicle이 다수 관찰

되는데(Fig. 13) 이 vesicle내에는 fibrous material이 존재해 있었다. Golgi complex에서 유래한 약 0.1 $\mu\text{m} \times 0.2 \mu\text{m}$ 크기의 타원형인 Golgi vesicle도 관찰되는데(Fig. 14) 이러한 vesicle은 plasma membrane과 융합하고 있었다(Fig. 15).

Acid phosphatase는 plasma membrane(Fig. 16), 핵막(Fig. 16) 및 tonoplast(Fig. 17) 등에서 강한 활성을 나타냈으며 ATPase는 heterochromatin, lipid droplet의 가장자리(Fig. 18), plasma membrane 및 mitochondrial cristae(Fig. 19) 등에서 활성을 나타냈다.

고 찰

식물체에서 불균등 분열에 의해 생성되는 세포로는 공변세포(Pickett-Heaps, 1969), 화분모세포(Maruyama 등, 1965), cork-silica cell(Kaufman 등, 1970) 및 trichoblast의 festucoid형(Row와 Reeder, 1957; Avers, 1963; Cutter와 Fieldman, 1970a) 등이 보고되었는데 인삼의 trichoblast는 주변의 표피세포에 비해 크기가 약간 작았으나 불균등 분열로 형성된 세포라고 할 수는 없으며, Cutter(1978)는 일반적으로 trichoblast가 표피세포에 비해 효소활성이 높고 세포질의 전자밀도가 높으며 크기가 작고 RNA의 양이 훨씬 많다는 보고를 한 바, 이와 연관지어서 Kim과 Jeong(1984)은 인삼의 근모는 전자밀도가 높은 세포에서 형성된다고 발표하였다.

근모가 분화되기 시작하면 세포질과 핵은 근모 끝부분으로 이동하였고 근모는 세포의 중앙 가까운 부위에서 뿌리의 주축과 직각을 이루고 생성되고 있으며, 서로 접해있는 두 세포 모두에서 근모가 생성되는 것으로 보아 Sinnott(1939) 및 Sinnott와 Bloch(1939) 등이 구분한 B형에, Row와 Reeder(1957)가 명명한 panicoid형에 해당된다고 생각된다.

Dawes와 Bowler(1959), Kawamatu(1963) 등은 trichoblast에서는 피층과 접한 부분에 핵과 세포질이 위치하나 근모가 생성되면 끝부분으로 이동한다고 보고하였고, Dawes와 Bowler(1959), Cutter(1978)는 근모의 생장은 끝부분에서만 일어

난다고 발표한 바 있다. 한편 활발하게 성장하고 있는 세포의 세포벽 형성에는 Golgi complex가 주로 관여하고 있는데(Siever, 1963) 본 실험에서도 trichoblast에서는 피층과 접한 부분에 핵과 세포질이 위치하였으나 근모가 생성된 후에는 핵뿐만 아니라 대부분의 세포소기관까지도 끝부분으로 이동해 있었고 이곳에서 Golgi complex가 다수 관찰되는 점으로 미루어 근모의 활발한 성장에는 Golgi complex가 직접적으로 관여하는 것 같고, 핵과 세포소기관이 근모의 끝부분으로 이동하는 것은 효율적인 생장이 일어나게 하기 위함이라 생각된다. 반면에 근모세포의 기부에서는 수 많은 vacuole이 관찰되고 그 대부분이 fibrous material을 가지는 것으로서 이는 ER에서 유래한 ER vesicle(Fig. 13)이 서로 융합하여 형성되는 것 같다. 기부에 형성된 많은 vacuole은 근모에서 흡수한 물이 통과하기 좋은 상태를 만들어 주기 위해서라고 생각되며 fibrillar material을 가지지 않은 vacuole은 무기염류의 저장소일 가능성이 높다는 보고(Harris, 1979)도 있다.

활발하게 성장하고 있는 근모의 세포벽에 관하여는 Belford와 Preston(1961)이 바깥층은 pectin과 hemicellulose가 주성분이며 cellulose microfibril의 배열이 불규칙한 α 층으로, 안쪽 층은 cellulose가 주성분이며 cellulose microfibril의 배열이 규칙적인 β 층으로 구분하였고, Harris(1979)는 염색성이 높은 바깥 층과 낮은 안쪽의 두 층으로 구분하였으며 세포질에서 다수 관찰되는 vesicle은 Golgi vesicle이며 이 vesicle 내의 물질은 세포벽의 전구물질일 것이라고 하였다. 또한 Cutter(1978)는 세포벽이 Golgi complex와 ER에서 유래한 vesicle 내의 물질에서 형성된다고 하였다. 본 실험에서도 세포벽은 두 층으로 구분되는데 Golgi complex에서 유래한 Golgi vesicle이 plasma membrane과 융합되는 것은 관찰할 수 있었으나 ER vesicle이 융합되는 것은 전혀 관찰할 수 없는 점으로 미루어 인삼의 경우에는 Golgi complex가 주로 세포벽 형성에 관여하는 것 같고 이러한 과정에는 Dawes와 Bowler(1959)가 주장한 것과 같이 microtubule이 관계한다고 생각된다.

Acid phosphatase 및 ATPase의 활성화에 관하여 Kim(1973)은 이들 각각의 반응산물이 침전으로 나타난다고 인정되는 전자밀도가 높은 부위를 활성부위로 간주하였으며, acid phosphatase는 tonoplast, 핵막, plasma membrane, 세포벽 등에서 활성을 보였고 ATPase는 핵공, 염색질, mitochondrial cristae 등에서 활성이 나타났다고 보고한 반면, Kim과 Kim(1982)은 옥수수 근모세포에서는 세포 전반에 걸쳐 acid phosphatase 활성이 없다고 보고하였다. 또한 Dossier와 Riopel(1977)은 *Elodea canadensis*에서는 trichoblast가 다른 표피세포에 비해 phosphatase 활성이 높다고 보고하였다.

인삼의 근모세포에서는 acid phosphatase는 tonoplast, plasma membrane, 핵막 등의 순서로 활성이 점점 약하게 나타났으며, ATPase는 plasma membrane, heterochromatin, mitochondria 및 lipid droplet의 외면에서 활성이 나타나 Kim(1973) 및 Kim과 Kim(1982) 등의 결과와는 상이하였고, 이러한 phosphatase 활성이 나타나는 부위에는 기질과 반응할 수 있는 효소가 각각 활성의 정도에 따라 일정량 존재하고 있음을 보여주는 결과라고 생각된다.

결론

인삼(*Panax ginseng* C.A. Meyer) 根毛의 type과 trichoblast 및 根毛細胞의 미세구조 및 acid phosphatase와 ATPase의 활성부위를 밝히고자 광학 및 전자현미경을 사용하여 조사하였다.

根毛의 type은 세포의 중앙 가까운 부위에서 뿌리의 주축과 직각을 이루고 根毛가 생성되는 panicoid형에 해당된다.

Trichoblast에서는 핵과 세포질이 피층과 접한 부위에 위치하였으나 根毛가 생성되면 根毛의 끝부분으로 이동되고 根毛의 기부쪽에는 수 많은 vacuole로 가득 차 있었다. 활발히 성장하고 있는 根毛의 세포벽은 cellulose microfibril의 배열양상으로 보아 두 층으로 구별되며 새로운 세포벽 형성에는 Golgi complex에서 유래한 vesicle이 주로 관여한다.

Acid phosphatase 활성은 tonoplast, plasma membrane, 핵막 등에서, ATPase 활성은 plasma membrane, heterochromatin, mitochondrial cristae 및 lipid droplet 의 가장자리 등에서 나타났다.

References

- Avers, C.J. 1957. An analysis of differences in growth rate of trichoblasts and hairless cells in the root epidermis of *Phleum pratense*. Am. J. Bot. 44, 686~690.
- Avers, C.J. 1963. Fine structure of *Phleum* root meristem cells. II. Mitotic assymetry and cellular differentiation. Am. J. Bot. 50, 140~148.
- Barka, T. and P.J. Anderson. 1962. J. Histochem. 10, 741.
- Belford, D.S. and R.D. Preston. 1961. The structure and growth of root hairs. J. Exp. Bot. 12, 157~168.
- Bonnett, H.T. Jr. and E.H. Newcomb. 1965. Polysomes and cisternal accumulations in root cells of radish. J. Cell Biol. 27, 423~432.
- Bonnett, H.T. Jr. and E.H. Newcomb. 1966. Coated vesicles and other cytoplasmic components of growing root hairs of radish. Protoplasma 62, 59~75.
- Cormack, R.G.H. 1949. The development of root hairs in angiosperms. Bot. Rev. 15, 583~612.
- Cutter, E.G. 1978. Plant anatomy. Part I. Cells and Tissues. Edward Arnold(Publishers) Ltd. pp. 5~44.
- Cutter, E.G. and C.Y. Hung. 1972. Symmetric and asymmetric mitosis and cytokinesis in the root tip of *Hydrocharis morsus-ranae* L. J. Cell Sci. II. 723~737.
- Cutter, E.G. and L.J. Fieldman. 1970a. Trichoblasts in *Hydrocharis*. I. Origin, differentiation, dimensions and growth. Am. J. Bot. 57, 190~201.
- Cutter, E.G. and L.J. Fieldman. 1970b. Trichoblasts in *Hydrocharis*. II. Nucleic acids, proteins and consideration of cell growth in relation to endopolyploidy. Am. J. Bot. 57, 202~211.
- Dawes, C.J. and E. Bowler. 1959. Light and electron microscope studies of the cell wall structure of the root hairs of *Raphanus sativus*. Am. J. Bot. 46, 561~565.
- Dittmer, H.J. 1949. Root hair variations in plant species. Am. J. Bot. 36, 152~155.
- Dosier, L.W. and J.L. Riopel. 1977. Defferential enzyme activity during trichoblast differentiation in *Elodea canadensis*. Am. J. Bot. 64, 1049~1056.
- Harris, W.M. 1979. Ultrastructural observations on the trichoblasts of *Equistum*. Am. J. Bot. 66, 673~684.
- Kaufman, P.B., L.B. Petering and J.H. Smith. 1970. Ultrastructural development of cork-silica cell pairs of *Avena* internodal epidermis. Bot. Gaz. 131, 173~185.
- Kawamatu, S. 1963. Electron microscope observations on the root hair cell of *Azola imbricata* Nakai. Cytologia 28, 12~20.
- Kim, W.K. 1973. Ultrastructure and cytochemical studies on the main root of *Panax ginseng* C.A. Meyer. Sci. and Tech., Korea Univ. 14, 71~109.
- Kim, W.K. and B.K. Jeong. 1984. A study of the differentiation and ultrastructure of the ginseng (*Panax ginseng* C.A. Meyer) root tip. Sci. and Tech., Korea Univ. 25, 249~259.
- Kim, W.K. and E.S. Kim. 1982. Electron microscope study on the root hair cell of corn, *Zea mays* L. J. Soonchunhyang Coll. 5, 191~198.
- Leavitt, R.G. 1904. Trichomes of the root in vascular cryptograms and angiosperms. Proc. Boston Soc. Nat. Hist. 31, 273~313.

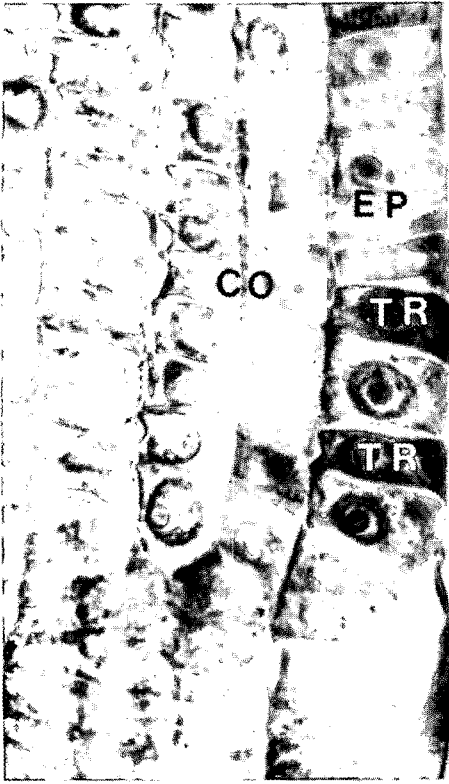
- Marchesi, V.T. and G.E. Palade. 1967. J. Cell Biol. 35, 385.
- Maruyama, K., H. Gay and B.P. Kaufmann. 1965. The nature of the cell wall between generative and vegetative nuclei in the pollen grain of *Tradescantia paludosa*. Am. J. Bot. 38, 566~577.
- Newcomb, E.H. and H.T. Bonnett. Jr. 1965. Cytoplasmic microtubule and wall microfibril orientation in root hairs of radish. J. Cell Biol. 27, 575~589.
- Pickett-Heaps, J.D. 1969. Preprophase microtubules and stomatal differentiation: Some effects of centrifugation on symmetrical and asymmetrical cell division. J. Ultrastruct. Res. 27, 24~44.
- Popham, R.A. and G.J. Henry. 1955. Multicellular root hairs on adventitious roots of *Kalanchoe fedtschenki*. Ohio J. Sci. 55, 301~307.
- Reeder, J.R. and K. von Maltzahn. 1953. Taxonomic significance of root hair development in the *Gramineae*. Proc. Natl. Acad. Sci.(U.S.A.) 39, 593~598.
- Roche, M.A. 1966. Ultrastructure of root epidermal cells of *Lycopodium lucidulum*. Master thesis, Univ. of Virginia.
- Row, H.C. and J.R. Reeder. 1957. Root hair development as evidence of relationships among genera of *Gramineae*. Am. J. Bot. 44, 596~601.
- Sievers, A. 1963. Beteiligung des Golgi-apparatus bei der Bildung der Zellwand von Wuzelharen. Protoplasma 56, 188~192.
- Sinnott, E.W. 1979. Growth and differentiation in living plant meristems. Proc. Natl. Acad. Sci. (U.S.A.) 25, 55~58.
- Sinnott, E.W. and R. Bloch. 1939. Cell polarity and the differentiation of root hairs. Proc. Natl. Acad. Sci. (U.S.A.) 25, 248~252.

Figure Legends

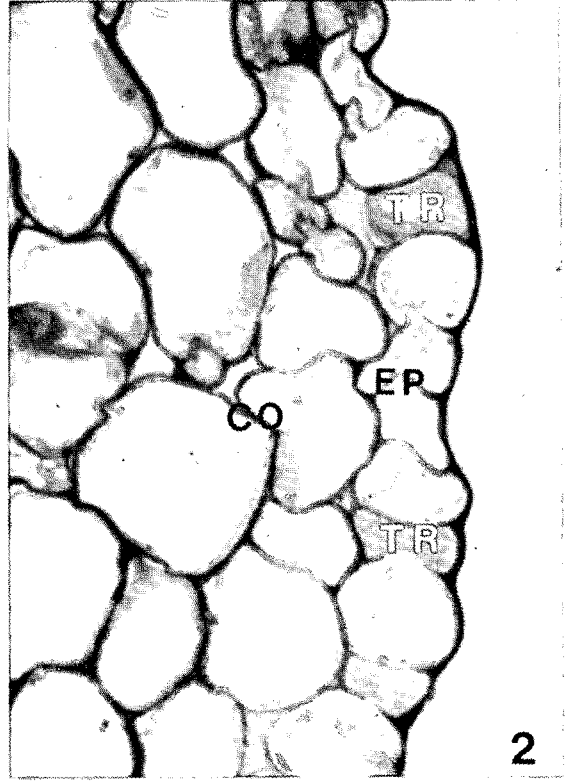
- Fig. 1.** The root epidermis is composed of one layer of cells. Trichoblasts(TR) are stained densely with hematoxylin and eosin in comparison with the adjacent epidermal cell(EP). CO : cortex $\times 1,200$.
- Fig. 2.** Trichoblasts(TR) smaller than epidermal cell(EP) are also stained densely with methylene blue and basic fuchsin. The cortical parenchymal cells(CO) about $17 \times 20 \mu\text{m}$ in size are highly vacuolated compared with the epidermal cells about $10 \times 10 \mu\text{m}$ in size. $\times 1,000$.
- Fig. 3.** Cross section of the root hair zone shows the actively growing root hairs. Note the high vacuolation of the base of the root hair. $\times 850$.
- Fig. 4.** The root hairs are differentiated from the middle portion of the epidermal cells, and observed perpendicularly to the long axis of the root. $\times 700$.
- Fig. 5.** Electron micrograph of the trichoblast shows the leaning distribution of mitochondria (M), nucleus(N) and cytoplasm to the base of the cell. Pp : proplastid. V : vacuole. $\times 13,000$.
- Fig. 6.** Golgi complex(G), vacuoles(V) and starch grains(S) in amyloplast are observed in the trichoblast. N : nucleus. M : Mitochondria. $\times 22,000$.
- Fig. 7.** Nucleus(N), lipid droplet(L) and a lot of Golgi complex (arrows) are well observed in the tip area of the root hair. CW : cell wall. $\times 6,800$.
- Fig. 8.** Two kinds of vacuoles(V) appeared in the basal area of the root hair. Some of the

vacuoles contained no amorphous substances, whereas most of them contained fibrous materials. L : lipid droplet. $\times 17,000$.

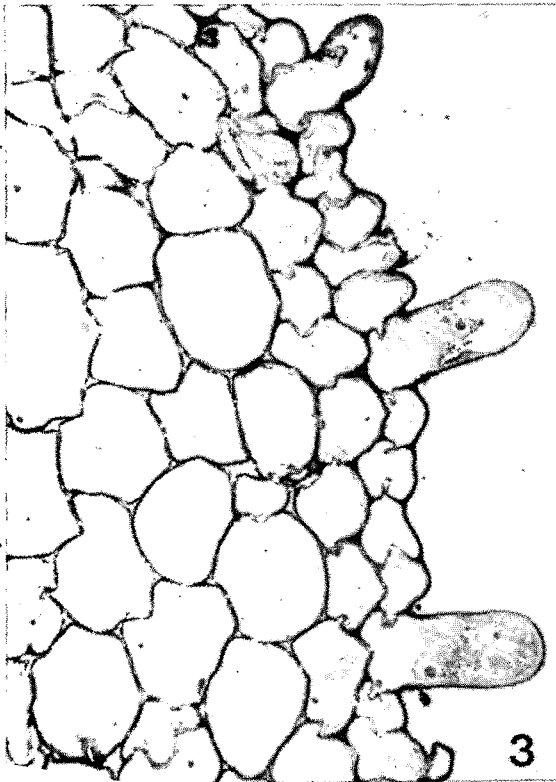
- Fig. 9.** Protein crystal(PC) and rER can be observed in the cytoplasm of root hair cell. Note the parallel arrangement of rER to the cell wall(CW). $\times 68,000$.
- Fig. 10.** Prominant nucleolus(NU) in the nucleus(N), proplastid(Pp) and a lot of vacuoles appeared in the middle region of the root hair. $\times 4,800$.
- Fig. 11.** Enlargement of the inset in Fig. 10 shows the loosely arranged cellulose microfibrils in the inner layer, and compactly arranged outer layer of the cell wall. Note the micro-tubule (arrows) beneath the cell wall. $\times 26,000$.
- Fig. 12.** Chromoplast(Cp) can also be observed in the root hair. $\times 20,000$.
- Fig. 13.** Endoplasmic reticulum(ER) and a lot of ER derived-vesicles of $0.2 \mu\text{m}$ in size appeared in the peripheral cytoplasm. V : vacuole. $\times 22,000$.
- Fig. 14.** Hypertrophic Golgi complex(G) and a lot of Golgi vesicles (arrows) are well observed. $\times 34,000$.
- Fig. 15.** The Golgi vesicles are fused with plasma membrane(Pm) in the tip area of the root hair. $\times 30,000$.
- Fig. 16.** Acid phosphatase activities appear on the plasma membrane (large arrow), and on the nuclear envelope (small arrows). NU : nucleolus. L : lipid droplet. $\times 6,000$.
- Fig. 17.** Strong activities of the acid phosphatase on the tonoplast (arrow) and weak activities on the plasma membrane appeared. M : mitochondria. CW : cell wall. $\times 22,000$.
- Fig. 18.** Heterochromatin in the nucleus(N) and the marginal area of the lipid droplet(L) had ATPase activities. $\times 9,000$.
- Fig. 19.** ATPase activity appeared on the plasma membrane and on the mitochondrial cristae. CW : cell wall. $\times 13,000$.



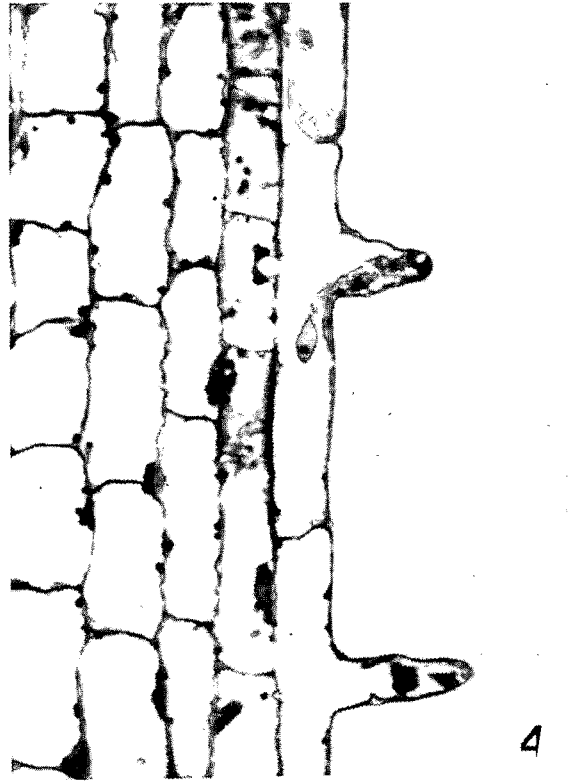
1



2



3



4

