

大豆 (*Glycine max*) 幼植物에서 下胚軸의 伸長과 維管束轉移

姜 京 德·蘇 雄 永

(全北大學校 自然科學大學 生物學科)

Vascular Transition and Hypocotyl Elongation in Soybean (*Glycine max*) Seedlings

Kang, Kyung Duck and Woong Young Soh

(Department of Biology, Chonbuk National University, Chonju)

ABSTRACT

The relationship between elongation of hypocotyl and its vascular transition was studied with seedling of *Glycine max*. The hypocotyl elongation proceeded acropetally from the base of hypocotyl toward the cotyledonary node. The vascular transition did not occur in the basal region of the hypocotyl, which did not nearly elongate, with exarch radial vascular bundles. However, the vascular transition was almost completed at the middle part of the hypocotyl, more or less elongated, with endarch collateral vascular bundles. Such bundles also appeared in the uppermost region of the hypocotyl, in which the elongation was the most striking. These results suggested that the vascular transition was related to the hypocotyl elongation and that the transition of primary vascular system in *Glycine max* seedling was established by rather rapid process. Our observations of the serial sections from root to hypocotyl revealed that the vascular system through the root-hypocotyl-cotyledon was a unit, to which one of the epicotyl that did not participate in transition was superimposed.

緒 論

종자식물에 있어서 幼植物의 성장 중에 維管束轉移를 중심으로 維管束系의 연결에 대한 해석은 다양하여 일관성을 찾아보기 어려우나 3 가지로 요약할 수 있다. 즉 뿌리-下胚軸-子葉-上胚軸의 維管束系를 單一系로 보는 해석(Lenoir, 1920; Bell, 1934; Eames and MacDaniels, 1947; Sundberg, 1983), 뿌리-下胚軸-子葉系의 1期維管束系에 上胚軸의 維管束系가 추가되어 하나의 維管束系를 이루게 된다는 해석(Compton, 1912; Winter, 1932; Crooks, 1933; McMurray and Fisk, 1936; Allen, 1947; James, 1950; Weaver, 1960; Esau, 1965; Scheirer and Hillson, 1973; 洪과 蘇, 1983; 洪 等, 1985), 그리고 뿌리-下胚軸, 子葉 및 上胚軸의 維管束系를 각각 별도의 것으로 보는 해석도 있다(Marsden and Bailey, 1955; Bisalputra, 1961).

한편 성장 중인 幼植物의 뿌리와 莖葉部 사이에서 일어나는 維管束轉移는 연속적이고 漸進적으로 일어난다고 알려져 있다(Hayward, 1951; Esau, 1977). 그러나 해바라기

(Siler, 1931; Scheirer and Hillson, 1973)와 수박(洪과 楊, 1984)의 경우와 같이 維管束轉移가 비교적 急進적으로 일어난다는 보고도 있다. 이와 같이 幼植物에서 維管束의 轉移過程에 대한 지금까지의 연구는 外原型의 放射維管束 배열을 하는 뿌리에서부터 內原型의 竝立維管束 배열을 하는 莖葉部까지의 구조적 변화를 주로 다루어 왔고, 維管束의 轉移過程을 下胚軸의 伸長과 관련지어 규명한 연구는 이루어진 바 없다.

따라서 본 연구는 大豆 幼植物에 있어서 維管束의 轉移過程을 부위별로 下胚軸의 伸長과 연관시켜서 규명하고자 시도되었다.

材料 및 方法

大豆 [*Glycine max* (L.) Merrill] 종자를 약 20°C가 유지되는 暗處의 흐르는 물에서 種皮가 터질 때까지 약 24시간 沈積 發芽시킨 후 幼根의 길이가 2 mm 정도의 種子만을 골라 깨끗한 모래(1-1.5 mm³)에 이식하였다. 이식된 재료를

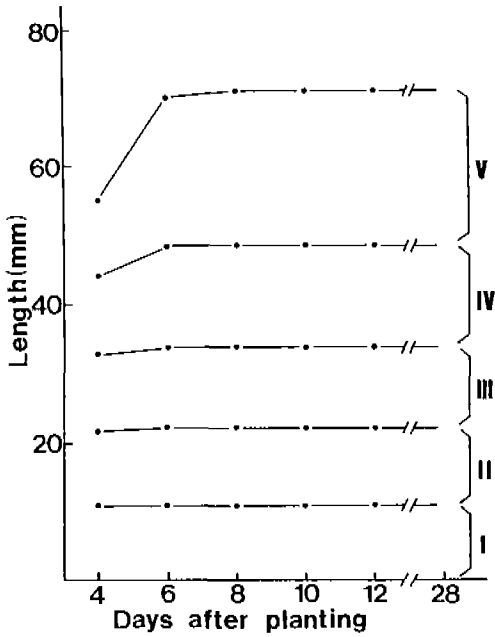


Fig. 1. Pattern of growth of hypocotyl segments marked with India ink at 11 mm intervals. The young hypocotyl, 55 mm in length, was graduated into five equal segments from base (I) to uppermost region (V).

배양실내에서 온도(23-25°C), 습도(60-70%), 광도(4,000 Lux) 및 광주기(16시간)를 일정하게 조절한 조건하에서 재배하였다.

下胚軸의 伸長狀態를 측정하기 위하여 50개의 幼植物을 택하여 下胚軸이 直立되는 4일 자란 幼植物의 下胚軸의 지상부 길이가 55 mm일 때, 기부에서 부터 11 mm 간격으로 먹물로 標識하여 5개 부위로 나누어 伸長이 멈출 때까지 매일 측정하였다.

해부학적인 면에서 維管束轉移와 維管束系의 分化를 조사하고자, 剖種 후 4일과 6일 된 幼植物을 부위별로 FAA액에 고정한 후 butyl-alcohol series의 탈수과정을 거쳐 paraffin에 매몰시켰다. 재료를 회전식 마이크로톰으로 10 μm 두께의 절편을 만들어 hematoxylin, safranin 및 fast green으로 삼원염색하여 검경하였다(Sass, 1971). 또한 관찰 결과를 모식도(Fig. 2)로 제작하는 과정에서 정확을 기하고자 영구표본의 사진을 Handy Scanner(DFI Model HS-3000 PLUS)를 이용하여 소형컴퓨터에 입력시킨 image data(Fig. 3)를 약 45° 기울여 출력하였다. 이와 같이 관찰한 維管束轉移過程을 下胚軸의 伸長生長과 관련지어 검토하였다.

한편, 維管束轉移에 따른 原生木部의 각도는 뿌리에서 四原型木部의 原生木部의 分化 位置를 기준으로 영구표본

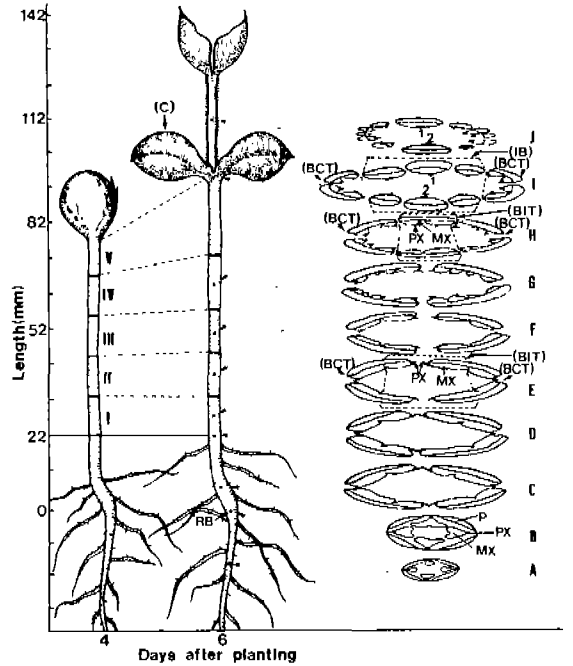


Fig. 2. Diagrams illustrating the vascular transition in root, hypocotyl, cotyledons and epicotyl of seedling at 6 days after planting. A, B, root level; C, D, lower hypocotyl; E-I, upper hypocotyl; J, epicotyl; (C), cotyledon; RB, root base; P, phloem; PX, protoxylem; MX, metaxylem; (BCT), bundles of cotyledonary trace; (BIT), bundles of intercotyledonary trace; (IB), intercotyledonary bundles. Arabic figures indicate leaf trace.

의 사진 위에서 각도기를 이용하여 부위별로 측정하였다.

結 果

下胚軸의 伸長. 大豆 幼植物에 있어서 下胚軸의 부위 I과 II에서는 신장이 일어나지 않았고, 부위 III에서 5일경에 길이가 약간 증가하는 경향을 보인다(Fig. 1). 부위 IV에서 5일경에 다소 활발한 길이의 증가를 보이며 子葉 바로 아래 下胚軸의 선단부인 부위 V에서는 5일과 6일경에 급격하게 伸長한 것을 볼 수 있다. 下胚軸 전체에서 伸長을 멈추는 시기는 대략 剖種 후 7일경으로 나타났다. 결국 下胚軸의 기부에서는 剖種 후 4일이 지나면 거의 伸長이 완료되고, 下胚軸의 선단부에서 주로 伸長이 일어난다.

維管束의 轉移過程. 幼植物에서 維管束의 轉移過程을 下胚軸의 伸長과 관련시켜 밝히고자, 剖種 후 4일과 6일된 幼植物의 하배축을 부위별로 횡단하여 관찰하였다. 아울러 뿌리의 基部를 기준으로 하여 아래 위로 유식물의 부위별 길이를 측정하였다(Fig. 2). 伸長이 일어나기 前에, 剖種 후

4일된 幼植物에서 下胚軸의 基部和 子葉 바로 아래 下胚軸의 先端部의 維管束轉移를 비교한 결과는 다음과 같다. 伸長이 일어나지 않는 下胚軸部位(Fig. 2, I 부위)의 維管束은 外原型的의 放射配列을 하고 있었다(Fig. 4). 伸長이 활발하게 일어나는 子葉 바로 아래 下胚軸의 先端部(Fig. 2, V 부위)의 維管束은 완전한 內原型的의 竝立維管束을 구성하고 있는 것으로 나타났다(Fig. 5).

과중 후 6일된 幼植物에서 뿌리의 維管束은 4개의 外原型 木部가 放射配列되어 있다. 이 목부는 외측으로 原生木部 그리고 내측으로는 後生木部가 求心的으로 발달하여 분화된다. 篩部는 4개로 분리되어 방사방향으로 木部와 교대로 배열하고 있다(Figs. 2-A and 6). 뿌리의 基部에서 각각의 後生木部는 切線面 方向으로 갈라지기 시작한다(Figs. 2-B and 7).

뿌리基部로부터 9 mm 위쪽 하배측의 維管束은 뿌리의 維管束과 유사한 放射配列을 하고 있다(Figs. 2-C and 8). 木部는 原生木部를 제외하고 後生木部가 求心方向에서 切線面 方向으로 확장되면서 90° 정도로 갈라져 두 부분으로 나누어진다. 동시에 篩部도 양 옆으로 확장된다. 절선면 방향으로 확장되어 양날개처럼 두 부분으로 나누어져 있는 後生木部들은 거의 서로 연결되어 나타난다. 原生木部는 분리되지 않은 상태로 주축의 바깥쪽에 위치하고 있다.

뿌리基部로부터 22 mm 위쪽 하배측의 維管束은 뿌리 基部로부터 9 mm 위에 있는 하배측의 維管束과 거의 동일하다. 즉 原生木部는 여전히 주축의 바깥쪽에 있으나, 後生木部가 110° 정도 절선면 방향으로 확장된다(Figs. 2-D and 9).

伸長이 일어나지 않는 下胚軸의 基部인 부위 I과 II에서 위에 있는 두 子葉으로 維管束이 갈라지기 시작하며, 따라서 이 위치(I, II)에서 子葉跡이 나타난다. 동시에 原生木部의 분화장소가 주축의 바깥쪽으로 부터 안쪽으로 이동하기 시작한다. 부위 I의 경우 原生木部가 주축의 안쪽으로 60° 정도 이동하고 있고(Figs. 2-E and 10), 부위 II에서는 子葉跡間은 물론 子葉으로 이어지는 原生木部가 완전히 분리되어 주축의 외측으로부터 90° 정도 주축의 내측으로 이동한다(Figs. 2-F and 12). 그래서 原生木部와 後生木部가 切線面 方向으로 평행하게 배열된다. 篩部는 4개의 불룩한 篩部束을 이루며, 篩部束 안쪽의 後生木部는 求心的으로 두 부분으로 분리되어 각각 1개의 篩部束에 2개의 木部단위를 구성한다(Figs. 2-F and 11).

伸長이 다소 일어나는 下胚軸의 중앙부(부위 III)의 維管束에서는 下胚軸의 基部와는 달리 복잡한 전이가 일어난다. 즉 子葉跡의 維管束과 子葉跡間의 중앙부 維管束의 原生木部들이 주축의 내측으로 150-170° 정도 이동하고 維管束의 分離가 일어나면서 外原型 放射維管束으로부터 內原型 竝立維管束으로 전환되기 시작한다(Figs. 2-G and 13). 2개의 子葉跡은 각각 3개씩의 木部단위로 분리

되어 각각 하나의 篩部束에 4개씩의 木部단위를 형성한다(Fig. 2-G). 그러므로 이 부위에서 維管束轉移가 거의 완성되는 것으로 나타났다.

伸長이 다소 활발하게 일어나는 下胚軸의 상부(부위 IV)에서 子葉跡間의 중앙부 유관속의 原生木部들은 주축의 내측으로 거의 180° 회전되어 나타난다. 따라서 거의 완전한 형태의 內原型 竝立維管束이 형성된다(Figs. 2-H and 14). 篩部는 維管束間 柔組織에 의해 6개의 束으로 분리되어 子葉跡間에서 1개의 篩部束에 2개의 木部단위를 형성하고, 子葉跡에서는 1개의 篩部束에 3개의 木部단위가 형성된다(Fig. 2-H). 한편 부위 III에서 둘로 분리되어 있던 子葉跡間의 중앙부 유관속이 거의 융합되어 커다란 유관속으로 된다.

伸長이 가장 활발한 子葉 바로 아래 下胚軸의 선단부(부위 V)에서는 뚜렷한 內原型 竝立維管束이 관찰된다(Figs. 2-I and 15). 즉 子葉跡間의 2개의 維管束이 하나로 완전 융합되어 다른 측부유관속에 비해 커다란 중앙부의 유관속을 형성하고, 維管束이 1개의 篩部束과 1개의 木部단위로 구성된다(Fig. 2-I). 子葉跡의 維管束들은 1개의 篩部束에 2개의 木部단위로 구성되어 전체적으로는 완전히 독립된 10개의 內原型 竝立維管束이 형성된다. 나중에 子葉跡의 4개의 維管束들은 융합되어 2개의 커다란 維管束을 형성하면서 각각 子葉으로 연속된다. 그리고 子葉跡과는 별도로 독립된 나머지 6개의 維管束 가운데 子葉間部分의 중앙에 있는 2개의 維管束에 第1葉의 主脈이 上胚軸의 아래 부분을 거쳐 求基的으로 연속된다(Figs. 2-I, J and 15, 16).

上胚軸에서는 下胚軸의 선단부(부위 V)에 존재하는 子葉間部分의 2개의 中央부 유관속과 求基的으로 연결되는 2개의 큰 維管束이 있고, 그 양 옆에 10개의 작은 內原型 竝立維管束이 배열되어 있다(Figs. 2-J and 16).

考 察

大豆 幼植物에 있어서 下胚軸의 伸長은 기부에서 거의 일어나지 않았고, 下胚軸의 中央부에서 다소 일어나다가 子葉 바로 아래 下胚軸의 선단부에서 가장 활발하게 일어났다. 이와 같은 伸長狀態는 節間의 기부에서 伸長이 먼저 완료되고 나중에 정단부 伸長이 완료되는 *Lycopersicon* (Thompson and Heimsch, 1964), *Helianthus*와 *Syringa* (Wetmore and Garrison, 1966), *Phaseolus* (Enright and Cumbie, 1973), *Helianthus* (Garrison, 1973) 및 *Hoheria* (Butterfield, 1976) 등과 유사한 것으로 보인다.

이와 같은 下胚軸의 伸長과 維管束의 轉移過程과의 關係를 보면, 신장이 일어나지 않는 下胚軸基部에서는 維管束轉移가 거의 일어나지 않아 뿌리와 유사한 外原型的의 放射維管束 配列을 하고 있으나, 신장이 다소 일어나는 下胚軸의 中央部에서 維管束轉移가 거의 완성되어 內原型的의

竝立維管束 形態를 취하게 된다. 그러므로 下胚軸의 신장이 일어나지 않는 가장 아래 부분(I, II)과 신장이 활발히 일어나기 시작하는 윗부분(V)에서 維管束轉移가 다소 急進的으로 진행되어 內原型 竝立維管束으로 전환되는 것으로 판단된다. 이러한 維管束轉移는 뿌리基部에서 시작되어 下胚軸下部에서 急進的으로 완성되는 해바라기(Siler, 1931; Scheirer and Hillson, 1973)와 수박(洪과 楊, 1984)의 경우와 다소 유사한 양상을 보인다. 그러나 다른 대부분의 연구에서는 뿌리와 莖葉部 사이에서 일어나는 維管束轉移가 漸進的인 過程으로 보고되어 있어, 본 연구의 결과와는 상반되고 있다. 즉 *Beta* (Esau, 1965)와 *Chenopodiaceae* (Bisalputra, 1961)에서는 維管束轉移가 下胚軸上部와 子葉사이에서 점진적으로 이루어지고, 은행나무(洪과 蘇, 1983)와 산복사나무(洪等, 1985)의 경우는 뿌리基部에서 시작되지만, 子葉節에서 점진적으로 완성된다. 또한 신장생장 중에 있는 파종 후 4일된 大豆 幼植物에서 유관속의 배열상태를 조사한 결과는 다음과 같았다. 장차 신장이 일어나지 않을 下胚軸 부위에서도 外原型 放射維管束을 구성하고 있었고, 신장이 활발히 일어날 下胚軸 부위에서는 內原型 竝立維管束을 구성하고 있었다. 이와 같은 특징은 이미 신장생장이 완료된 재료에서만 維管束轉移를 조사해 왔던 다른 대부분의 연구에서는 볼 수 없었던 것으로 사료된다.

한편, 子葉 바로 아래 下胚軸의 선단부에 있어서 子葉跡과 子葉間部分의 1期維管束系는 뿌리에서 求頂的으로 분화되어 뿌리-下胚軸-子葉 單一의 維管束系가 확립된다. 여기에 上胚軸의 維管束 가운데 제 1, 2葉跡의 維管束이 求基的으로 下胚軸의 선단부에 까지 연속되므로서 上胚軸의 維管束系가 완성된다. 그러므로 上胚軸의 木部들은 분화 초기부터 內原型木部이므로 轉移過程에는 관여하지 않는다. 결국 大豆 幼植物에서 維管束의 분화순서로 미루어 볼 때, 뿌리-下胚軸-子葉의 維管束系에 上胚軸의 維管束系가 추가 연결되므로서 1期維管束系가 완성되는 것으로 해석된다(Fig. 2I, J, 4, 5). 維管束系에 대한 이와 같은 해석은 *Leguminosae*(Compton, 1912), *Medicago sativa*(Winter, 1932), *Melilotus alba*(McMurray and Fisk, 1936), *Pseudotsuga*(Allen, 1947), *Beta vulgaris*(Esau, 1965), *Helianthus annuus*(Scheirer and Hillson, 1973), 은행나무(洪과 蘇, 1983) 및 산복사나무(洪等, 1985) 등의 경우와 유사하다.

摘 要

본 연구는 大豆 幼植物에 있어서 下胚軸의 伸長과 維管束轉移와의 關係를 규명하고자 시도하였다. 下胚軸의 伸長은 基部에서 부터 子葉節로 향해 求頂的으로 진행된다. 1基維管束系는 뿌리-下胚軸-子葉으로 이어지는 單一의 維管束系에 上胚軸의 維管束系가 추가 연결되므로서 완성된

다. 하배축의 신장과 維管束轉移와의 關係는 伸長이 일어나지 않는 下胚軸基部에서 維管束轉移가 거의 일어나지 않아 外原型 放射維管束을 구성하다가, 伸長이 다소 일어나는 下胚軸中央部에서 維管束轉移가 거의 완성되어 內原型 竝立維管束으로 전환된다. 그러므로 大豆 幼植物에 있어서 1基維管束의 轉移는 다소 急進的인 過程으로 해석된다.

參 考 文 獻

- Allen, G.S. 1947. Embryogeny and development of the apical meristem of *Pseudotsuga*. II. Late embryogeny. *Am. J. Bot.* **34**: 73-80.
- Bell, W.H. 1934. Ontogeny of the primary axis of *Soja max*. *Bot. Gaz.* **95**: 622-635.
- Bisalputra, T. 1961. Anatomical and morphological studies in the *Chenopodiaceae*. *Aust. J. Bot.* **9**: 1-18.
- Butterfield, B.G. 1976. The ontogeny of the vascular cambium in *Hoheria angustifolia* Raoul. *New Phytol.* **77**: 409-420.
- Compton, R.H. 1912. An investigation of seedling structure in the *Leguminosae*. *J. Linn. Soc. London (Bot.)* **41**: 1-132.
- Crooks, D.M. 1933. Histological and regenerative studies on the flax seedling. *Bot. Gaz.* **95**: 209-239.
- Eames, A.J. and L.H. MacDaniels. 1947. An introduction to plant anatomy. 2nd ed. McGraw-Hill, New York. pp. 175-203.
- Enright, A.M. and B.G. Cumbie. 1973. Stem anatomy and internodal development in *Phaseolus vulgaris*. *Am. J. Bot.* **60**: 915-922.
- Esau, K. 1965. Plant anatomy. 2nd ed. John Wiley & Sons. New York. pp 523-531.
- Esau, K. 1977. Anatomy of seed plants. 2nd ed. John Wiley & Sons, New York. pp. 495-498.
- Garrison, R. 1973. The growth and development of internodes in *Helianthus*. *Bot. Gaz.* **134**(4): 246-255.
- Hayward, H.E. 1951. The structure of economic plants. 3rd ed. Macmillan, New York. pp. 411-450.
- 洪性式, 蘇雄永. 1983. 은행나무의 成熟胚 및 幼植物에 있어서 維管束組織의 分化. 植物學會誌, **26**(4): 207-216.
- 洪性式, 楊秉洙. 1984. 수박의 成熟胚와 幼植物에 있어서 一期維管束의 轉移. 全南大 科學教育研究誌, **9**: 91-99.
- 洪性式, 李載斗, 蘇雄永. 1985. 산복사나무의 成熟胚와 幼植物에 있어서 維管束系의 分化. 植物學會誌 **28**(4): 285-296.
- James, L.E. 1950. Studies in the vascular and developmental anatomy of the subgenus *Hesperastragalus*. *Am. J. Bot.* **37**: 373-378.
- Lenoir, M. 1920. Évolution du tissu vasculaire chez quelques plantules des Dicotylédones. *Ann. des Sci. Nat., Bot. Ser.* **10**(2): 1-123.
- Marsden, M.P.F. and I.W. Bailey. 1955. A forth type of nodal

- anatomy in dicotyledons illustrated by *Clerodendron trichotomum* Thunb. *J. Arnold Arbor. Harv. Univ.* **36**: 1-50.
- McMurray, E.B. and E.L. Fisk. 1936. Vascular anatomy of the seedling of *Melilotus alba*. *Bot. Gaz.* **98**: 121-134.
- Sass, J.E. 1971. Botanical microtechnique. 3rd ed. The Iowa State Univ. Press. Ames. Iowa. pp. 55-57.
- Scheirer, D.C. and C.J. Hillson. 1973. The vascular transition region of *Helianthus annuus*. I. Bilateral and unilateral patterns of differentiation. *Am. J. Bot.* **60**: 242-246.
- Siler, M.B. 1931. The transition from root to stem in *Helianthus annuus*. *J. Elisha Mitchell Sci. Soc.* **50**: 268-274.
- Sundberg, M.D. 1983. Vascular development in the transition region of *Populus deltoides* Bartr. ex Marsh. seedlings. *Am. J. Bot.* **70**: 735-743.
- Thompson, N.P. and C. Heimsch. 1964. Stem anatomy and aspects of development in tomato. *Am. J. Bot.* **51**: 7-19.
- Weaver, H.L. 1960. Vascularization of the root-hypocotyl-cotyledon axis of *Glycine max* (L.) Merrill. *Phytomorphology* **10**: 82-86.
- Wetmore, R.H. and R. Garrison. 1966. The morphological ontogeny of the leafy shoot. In, Trends in Plant Morphogenesis, E.G. Cutter (ed.). Longmans, Green, and Co., Ltd., London. pp. 187-199.
- Winter, C.W. 1932. Vascular system of young plants of *Medicago sativa*. *Bot. Gaz.* **94**: 152-167.

(1991. 10. 2 接受)

Explanation of Figures

- Fig. 3. Data of the black and white image shown in the personal computer by use of Handy Scanner.
- Figs. 4 and 5. Transverse sections in *Glycine max* hypocotyl at 4 days after planting. Bars: 65 μ m. PX: protoxylem.
- Fig. 4. This photograph shows one of the exarch radial bundles at the basal region of the hypocotyl. Fig. 5. Hypocotyl region just below the cotyledons showing endarch collateral bundles.
- Figs. 6 and 7. Transverse sections of the middle and basal regions in *Glycine max* root show tetrarch xylem. Bars: 65 μ m. P, phloem; PC, procambium; PX, protoxylem; MX, metaxylem. Fig. 6. Middle region of root showing clearly exarch radial bundles. Fig. 7. Metaxylems show a change in direction of differentiation from centripetal to tangential.
- Figs. 8 and 9. Transverse sections of the basal regions in *Glycine max* hypocotyl. Bars: 65 μ m. P, phloem; PX, protoxylem. Protoxylems located outside of the axis are connected. Vascular bundles are almost the same structure as those of root.
- Figs. 10~15. Transverse sections of the five regions in *Glycine max* hypocotyl. Bars: 65 μ m (Figs. 10, 12-15), 118 μ m (Fig. 11). P, phloem; PC, procambium; PX, protoxylem. Figs. 10-12. At the basal region of hypocotyl, protoxylem is displaced more inward than in Figs. 8, 9. Fig. 11. This photograph shows single phloem strand (PS) which is associated with two xylem strands (XS). Fig. 12. A magnified view of Fig. 11. Fig. 13. Middle region of hypocotyl showing that the position of protoxylem is displaced inward of the axis. Fig. 14. Upper region of the hypocotyl has almost completely endarch collateral bundles. Fig. 15. Hypocotyl region just below the cotyledons showing clearly endarch collateral bundles.
- Fig. 16. Transverse section of the middle region in *Glycine max* epicotyl. Bar: 65 μ m. PX, protoxylem. Arabic figure indicates leaf trace.

