

은행나무의 成熟胚 및 幼植物에 있어서 維管束組織의 分化

洪 性 式 · 蘇 雄 永*

(全南大學校 師範大學 生物教育學科 · *全北大學校 自然科學大學 生物學科)

Vascular Differentiation in the Mature Embryo and the Seedling of *Ginkgo biloba* L.

Hong, Sung Sik and Woong Young Soh*

(Department of Biology Education, Chonnam National University, Kwangju and

*Department of Biology, Jeonbug National University, Jeonju)

ABSTRACT

Mature embryo and developing seedlings of *Ginkgo biloba* L. were embedded in a paraplast and serially sectioned at 10 μ m to examine vascular differentiation and vascular transition. Procambium and protophloem formed a continuous system along the epicotyl-hypocotyl root axis and cotyledons in mature embryo, whereas protoxylem was differentiated discontinuously in the cotyledons and rarely in the upper hypocotyl. The traces of the first and second leaf primordia appeared almost at the same time oppositely to each other at the epicotyl and alternately with the cotyledon traces in the upper hypocotyl. The trace differentiated bidirectionally toward the epicotyl and root tips. The young root initially formed a diarch xylem. Then, as the traces of the first and second leaves were superimposed, the diarch xylem of the root was changed to triarch and tetrarch xylem, respectively. On the formation of primary vascular system of *Ginkgo biloba*, it is suggested that the primary phloem forms a continuous system throughout the seedling, whereas the primary xylem of the epicotyl is formed independently from that of the root-hypocotyl cotyledon system.

緒 論

비교적 이른 時期의 種子內胚에서 前形成層의 分化에 대한 觀察은 많은 植物에서 이루어졌다. 胚에서 前形成層은 점진적으로 分化되며, 이로부터 維管束組織의 分化는 胚 또는 種子發芽의 開始와 더불어 이루어지는데, 胚에 있어서 維管束組織의 分化는 거의 알려진 바 없다 (Esau, 1965a). 雙子葉植物의 胚에서는 前形成層의 分化를 뚜렷히 觀察하기 어려운 경우도 있고 (Meyer, 1958; Nast, 1941), 胚의 皮層 안쪽에 前形成層이 分明히 分化되어 있는 植物도 있으나 (Mahlberg, 1960), 維管束組織이 分化되어 있는 경우는 별로 없다. 그리고 일부 裸子植物의 成熟한 胚에서는 前形成層의 分化만이 觀察되고 維管束組織의 分化는 幼植物에서 이루어진다는 報告가 있다 (Carpenter, 1941; Spurr, 1950). 한편, *Phlox*胚의 子葉

(Miller and Wetmore, 1945)과 *Coffea*胚의 胚軸 (Moens, 1963)에서 原生木部가 觀察된 例가 있으나, Esau (1965a)는 이들의 成熟與否에 대해서 문제점을 제기하고 있다. 그리고 사시나무類 (Sundberg, 1983) 및 개잎갈나무類 (Buchholz and Old, 1933)의 子葉에서 原生木部가 觀察된 例가 있다 (Sundberg, 1983).

成熟胚로부터 發芽가 開始되면서 維管束組織의 分化가 活發히 이루어지게 되며, 이로부터 뿌리-胚軸-子葉의 維管束系가 確立되고, 이에 上胚軸의 維管束이 連結되어 진다. 그러나 이러한 維管束系에 대한 解析은 다양하다. 즉, 뿌리-胚軸-上胚軸을 單一系로 보는가 하면 (van Tieghem, 1891; Eames and MacDaniels, 1947), 一期節部가 幼植物體에 連續系를 이루고 있지만 上胚軸의 一期木部는 뿌리-胚軸-子葉系에 追加連結된 것이라는 解析 (Compton, 1912; Winter, 1932; Crook, 1933; McMurray and Fisk, 1936; Allen, 1947; Schoirer and Hillson, 1973)과 뿌리-胚軸系로부터 子葉維管束系는 別途이고, 上胚軸系는 또 다른 維管束系라는 見解도 있다 (Marsden and Bailey, 1955; Bisalputra, 1961). 이와같이 幼植物에서 維管束轉移部를 中心으로한 維管束系에 대한 解析은 一貫性を 찾아 보기 어렵다.

따라서 本 研究에서는 은행나무에서 成熟胚에 있어서의 維管束組織의 分化與否와 幼植物의 生長과 維管束組織의 分化 및 維管束轉移와 뿌리-胚軸-上胚軸系의 維管束系에 대한 解析을 內容으로 觀察한 結果를 報告하고자 한다.

材料 및 方法

實驗材料는 은행나무 (*Ginkgo biloba* L.) 種子의 成熟한 胚와 growth cabinet (YGL-250L) 內의 모래에 播種한 開匣種子의 胚, 그리고 開匣種子를 다시 發芽시킨 후開匣日로부터 20간격으로 3회 採取한 幼植物들을 利用하였다. Growth cabinet內의 條件은 16時間 照明 (9,000 lux; $25 \pm 1^\circ\text{C}$)과 8時間 遮光 ($17 \pm 1^\circ\text{C}$)으로 구분하고, 습도는 60~70%로 유지시켰으며, 水分은 3일에 1회씩 공급하였다.

段階別로 採取된 材料는 部位別로 測定되었으며, 4% glutaraldehyde液에 넣어 4°C 에서 36時間 固定시킨 후 (Gamborg *et al.*, 1947), n-butyl alcohol로 脫水시켰다 (Lang, 1937). Paraplast에 매몰된 材料들을 10 μm 두께로 橫斷 및 縱斷의 連續切片으로 만들어 saffranin과 aniline blue로 染色하여 觀察하였다.

觀 察

成熟한 胚. 成熟한 胚에서 子葉은 子葉節 (Fig. 1, CN)로부터 약 14 mm나 되는데, 이는 上胚軸-胚軸-幼根을 잇는 主軸의 약 3.5배에 달한다 (Table 1). 上胚軸에는 이미 4개의 葉原基가 形成되어 있고, 前形成層과 原生節部는 主軸, 子葉 및 제1·2葉原基에 이르기까지 이미 分化되어 있으나, 原生木部는 子葉의 一部와 胚軸上部에 部分的으로 分化되어 있다 (Fig. 1).

子葉에서 前形成層은 子葉節로부터 약 11.7 mm되는 部位까지는 하나의 前形成層束으로 되어 있으나, 이 部位에서 하나의 前形成層束은 두개로 나누어져서 先端까지 連續되는데, 특히, 子葉節로부터 약 12.5 mm 이상되는 部位에서는 前形成層束만이 分化되어 있다 (Figs.

Table 1. Length(in mm) of epicotyl, hypocotyl, root and cotyledon during the growth of *Ginkgo biloba* seedling

Growth	Epicotyl	Hypocotyl	Root	Cotyledon
mature embryo	0.84±0.09	1.82±0.11	1.41±0.21	13.90±0.70
seed coat rupture	0.93±0.05	1.90±0.23	2.63±0.20	14.60±0.50
2 days after rupture	1.01±0.37	2.25±0.30	7.81±0.33	17.90±0.80
4 days "	3.09±0.89	2.13±0.22	12.94±3.91	19.20±0.60
6 days "	7.38±1.12	2.05±0.18	27.11±4.15	20.80±0.70

1 and 4). 原生篩部는 子葉節로부터 약 12.5 mm 되는 部位까지 前形成層束의 背軸方向을 따라서 分化되어 있으며 (Figs. 1 and 5), 이로부터 求頂의으로 分化가 계속되고 있다. 原生木部는 子葉節로부터 약 2.5~7 mm 사이의 部位에 向軸方向으로 分化되어 있다. 횡단면에서 볼때, 子葉節로부터 약 3~3.5 mm 되는 部位에 약 12~14개의 細胞內腔이 비어 있는 나선상가도관으로 된 原生木部가 가장 많이 分化되어 있고, 이 部位의 前形成層細胞들은 並層分裂이 일어나고 있다 (Fig. 6). 그러나 子葉의 基部 (Fig. 7)와 上部 (Fig. 5)에는 原生木部가 아직 分化되지 않고 있다.

主軸系와 子葉의 前形成層束 및 原生篩部는 胚軸을 통하여 서로 連續되고 있다 (Fig. 1). 主軸에서 原生木部는 子葉의 原生木部와는 別途로 胚軸上部의 子葉方向에서 드물게 分化되어 있는 것이 觀察되나 (Fig. 8), 未分化狀態의 個體가 일반적이다. 그리고 主軸에서 前形成層細胞의 並層分裂 역시 胚軸上部에서 시작되고 있다 (Fig. 8).

한편, 成熟胚 전반에 걸쳐 큰 異形細胞들이 많이 觀察된다. 이러한 細胞들은 維管束內—특히, 原生篩部—에 많이 形成되어 있고, 子葉의 葉肉 및 子葉節과 胚軸의 皮層에서도 觀察된다 (Figs. 6 and 8).

開匣種子의 胚. 開匣處理中の 胚는 점진적인 伸張을 계속하여 그 뿌리가 거의 2배로 伸張되지만, 子葉은 같은 處理期間에 미미한 伸張을 보였을 뿐이다 (Table 1). 子葉의 原生木部는 先端 및 基部를 向하여 兩極性 分化傾向을 나타낸다. 그리고 胚軸上部의 子葉方向에 形成된 原生木部 역시 求頂의으로는 子葉으로 分化되어 子葉에서 求基의으로 分化되는 原生木部와 子葉의 基部附近에서 連結되고, 求基의으로는 뿌리方向으로 分化되어 子葉跡을 이루게 된다 (Figs. 2 and 9).

횡단면에서 볼 때, 胚軸上部의 子葉跡을 이룬 原生木部는 그 수가 다른 部位보다 많이 나타나며, 두 子葉跡을 잇는 軸의 直角되는 兩方向에 第1·2葉原基跡의 原生木部가 分化되기 시작한다 (Fig. 10). 이들 第1·2葉原基跡의 原生木部 역시 求基의인 胚軸方向으로 약 0.6~

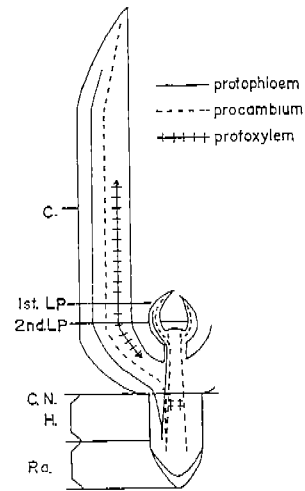


Fig. 1. Interpretation of vascularization in mature embryo of *Ginkgo biloba* L.

C: cotyledon, CN: cotyledonary node, H: hypocotyl, Ra: radicle
LP: leaf primodium.

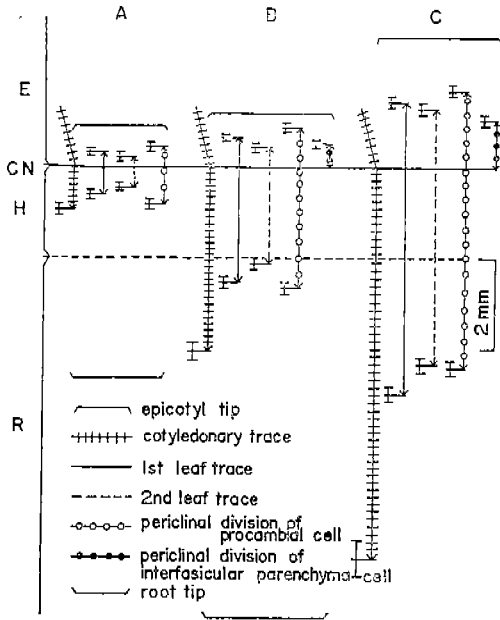


Fig. 2. Interpretation of vascular differentiation in the germinating embryo or at the time of seed coat rupture (A), and in the developing seedlings 2 (B) and 4 (C) days old. Abbreviations are the same as in Fig. 1.

葉跡의 原生木部는 分化된 경우도 있고, 未分化된 경우도 있다. 그리고 第1·2葉跡은 子葉節로부터 求基的으로 약 2.3~2.1 mm, 求頂的으로는 약 0.8~0.5 mm까지 發達된다 (Fig. 2B). 胚軸上部에서 前形成層細胞의 並層分裂은 求基的으로 약 2.5 mm까지, 求頂的으로는 束內前形成層과 束間部位로 구분되면서 각각 약 1 mm와 약 0.6 mm까지 進行된다 (Fig. 2B).

開匣 4日 후의 幼植物에서 뿌리와 上胚軸의 伸長은 뚜렷하지만, 子葉의 伸長은 점진적이며, 胚軸은 開匣 2日 후와 비슷한 약 2 mm로 유지된다 (Table 1). 子葉跡의 原生木部는 求基的으로 더욱 分化되어 胚軸上部로부터 약 9 mm까지 發達되고, 胚軸下部和 뿌리基部에서는 原生木部の 안쪽으로 胚軸上部와 子葉節에서는 原生木部の 바깥쪽으로 後生木部가 分化된다. 특히, 胚軸과 뿌리基部에서는 계단상 및 공문상가도관이 觀察된다. 그리고 胚軸上部에서는 原生木部가 分化된 6개의 葉跡이 뚜렷하게 구별되고, 이들 葉跡의 原生木部 역시 求基的 求頂的인 分化를 계속하며, 前形成層細胞의 並層分裂도 兩極性方向으로 더욱 進行된다 (Fig. 2C).

幼植物의 維管束轉移. 開匣 6日 후의 幼植物에서 上胚軸은 약 7 mm로 자라고, 胚軸은 약 2 mm로 짧게 유지된다 (Table 1). 뿌리의 根端에 가까운 部位에서 子葉跡에 連續된 原生木部는 二原型木部를 形成하고, 2개의 原生節部가 독립되어 존재한다 (Figs. 3 and 11). 根端에서 基部方向으로 갈수록 子葉跡의 原生木部 안쪽에 後生木部가 形成되고, 여기에 第1葉跡의 一期木部가 追加되면서 三原型木部가 形成되고, 第1葉跡의 木部가 追加된 바깥쪽의 一期節部는 두 部分으로 나누어진다 (Figs. 3 and 12). 여기에서 조금 더 뿌리基部에 가까운

0.5 mm까지, 求頂的인 上胚軸方向으로 약 0.3~0.2 mm까지, 發達되어 있다. 또한 前形成層細胞의 並層分裂도 求基的으로 약 0.8 mm, 求頂的으로 약 0.4 mm까지 進行됨으로서 主軸의 초기 維管束의 體制가 이룩된다 (Fig. 2A). 그리고 上胚軸의 基部에는 前形成層과 原生節部로만 구성된 6개의 未熟狀態의 維管束이 구별된다.

幼植物에서 維管束組織의 分化. 開匣 2日 후의 幼植物에서 上胚軸, 胚軸 및 子葉의 伸長은 점진적으로 일어나고 있으나, 뿌리는 開匣種子에 비해 약 3배나 伸長된다 (Table 1). 子葉跡의 原生木部는 子葉節로부터 求基的으로 약 5 mm까지 發達됨으로서 뿌리-胚軸-子葉의 連續된 維管束系가 完成되고, 뿌리에서는 子葉跡의 原生木部가 二原型木部の 體制를 갖추게 된다 (Fig. 2B). 이와는 別途도 開匣種子의 胚에서 胚軸上部에 形成된 第1·2葉跡의 原生木部に 뒤이어 前形成層의 안쪽으로 第3·4·5葉跡의 原生木部가 分化되지만, 第6

部位에서는 第2葉跡의 木部가 追加되어 四原型木部가 形成되고 一期節部는 네部分으로 나누어 진다 (Figs. 3 and 13). 뿌리基部에서 子葉跡의 後生木部는 遠心的인 두 방향으로 移轉되기 시작하여 胚軸에서 세部分으로 나누어지는데, 이때 後生木部는 外原型에서 內原型으로 전환되고, 一期節部는 子葉跡의 一期木部の 바깥쪽으로 점차 移動된다 (Figs. 3 and 14). 子葉節에서 세部分으로 된 子葉跡의 一期木部는 內原型木部로 전환되어 있고, 一期節部는 一期木部の 바깥쪽에 並立되어 子葉으로 들어가게 된다 (Figs. 3 and 15). 그리고 子葉節에는 6개의 葉跡이 子葉跡과는 別途로 독립된 並立維管束을 구성하고 (Figs. 3 and 15), 이들은 求頂的으로 上胚軸의 葉跡과 連續된다 (Figs. 3 and 16). 그리고 이들중 第1·2葉跡의 木部는 求基的으로 胚軸—뿌리까지 連續되나 (Figs. 3 and 13), 第3, 4, 5, 6葉跡의 木部는 胚軸下部 또는 뿌리基部에서 子葉跡의 木部에 連結되는 경우가 많다 (Fig. 14).

그러므로 은행나무의 幼植物에서 維管束系는 뿌리—胚軸—子葉의 維管束系에 上胚軸의 維管束系가 追加되어 一期維管束系를 形成하는 것으로 보인다.

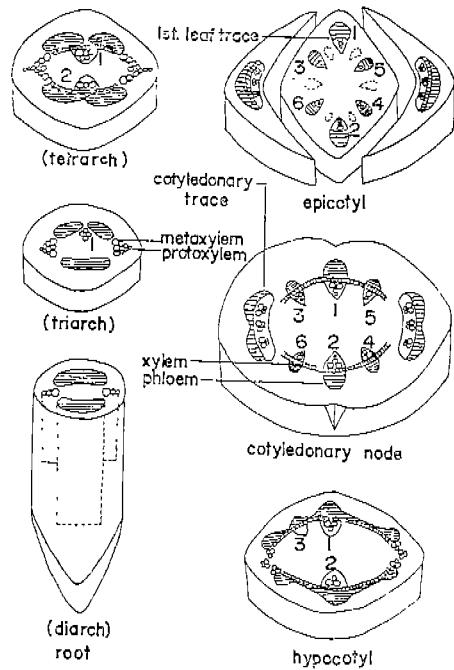


Fig. 3. Diagrams illustrating the vascular transition in root, hypocotyl, epicotyl, and cotyledons of 6-day-old seedling.

考 察

種子内の 成熟한 胚에 維管束組織이 分化되어 있다는 報告는 별로 찾아 볼 수 없다. 2~3種의 植物에서 成熟胚의 維管束組織이 觀察된 바 있으나 그 內容에 未備點이 지적되고 있으므로 (Esau, 1965a), 좀 더 상세한 觀察이 필요하다. 本 研究에서 은행나무의 成熟胚를 觀察한 結果, 子葉과 胚軸上部에 原生節部の 分化에 이어 두렷한 原生木部가 확인되었다 (Figs. 6 and 8). 사시나무類 (Sundberg, 1983)와 *Coffea* (Moens, 1963)에서는 原生節部가 먼저 分化되고, 原生木部가 나중에 分化된다는 報告가 있다. 한편, *Phlox* (Miller and Wetmore, 1945)에서는 먼저 原生木部가 分化된 후 原生節部가 分化되는 것으로 報告된 바 있다. 그러나 사시나무類에서는 未熟한 原生木部가 觀察되었을 뿐이고, 또 *Phlox*와 *Coffea*에서 成熟한 原生木部가 觀察된 것으로 記載되었을지라도 Esau (1965a)는 見解를 달리하고 있다. 즉, *Phlox*와 *Coffea*에서 觀察된 成熟한 原生木部에 대해서 2차벽이 肥厚됐을지라도 아직 原形體들이 잔존하기 때문에 原生木部の 成熟與否는 不確實하다는 主張을 하고 있다. 은행나무의 成熟胚에서 分化된 原生木部는 나선상의 2차벽이 肥厚되어 있고, 細胞內腔이 비어 있으므로 成熟한 原生木部の 가도관으로 판단된다.

初期原生木部가 分化되는 部位는 개잎갈나무類 (Buchholz and Old, 1933), *Phlox* (Miller and Wetmore, 1945) 및 *Yucca* (Arnott, 1962)에서는 子葉에서, *Pinus* (Spurr, 1950)와 *Coffea* (Moens, 1963)는 胚軸에서, 그리고 사시나무類 (Sundberg, 1983)와 *Pseudotsuga* (Allen, 1947)는 子葉節에서 觀察된 바 있다. 은행나무에서는 成熟胚時期에 子葉의 中央部와 基部사이에서 그리고 드물게 胚軸上部에서 原生木部가 觀察되었다 (Figs. 6 and 8).

原生木部の 分化方向은 子葉 또는 子葉節에서 求頂的 그리고 求基的인 兩極性이라고 記載되어 있다 (Miller and Wetmore, 1945; Arnott, 1962; Sundberg, 1983). 한편, *Coffea* (Moens, 1963)에서는 原生木部가 子葉과 胚軸에서 독립적으로 成熟하는데, 이들의 連結은 子葉의 原生木部가 求基的으로 分化됨으로서 이루어지는 것으로 記述되어 있다. 그리고 *Chenopodiaceae* (Bisalputra, 1961)와 *Clerodendron* (Marsden and Bailey, 1955)에서도 이와 유사한 과정이 記載된 바 있다. 그러나 胚軸에서의 成熟한 原生木部の 求頂的인 分化에 대해서는 아직껏 언급된 바가 없다. 은행나무에서도 原生木部는 子葉과 胚軸上部에서 不連續的으로 分化되지만, 이들의 連結은 子葉의 原生木部가 求基的으로, 胚軸上部의 原生木部는 求頂的으로 成熟되어 子葉基部에서 이루어진다.

胚軸—뿌리의 維管束系는 轉移部를 거쳐서 子葉跡으로 分枝하게 된다. 뿌리의 外原型木部가 胚軸에서 內原型木部로 전환되고, 아울러 뿌리에서 독립된 節部가 木部와 並立됨으로서 維管束轉移가 이루어진다. 이러한 維管束轉移는, 사탕무우 (Esau, 1965b)에서는 胚軸上部와 子葉基部에서 이루어지는 것으로, 그리고 *Chenopodiaceae* (Bisalputra, 1961)에서는 胚軸上部에서 시작되어 子葉에서 完成되는 것으로 報告되어 있다. 은행나무의 경우는 뿌리基部에서 시작되어 胚軸에서 더욱 進行되고 子葉節에서 完成되는 것으로 觀察되었다.

成熟胚로부터 發芽가 開始되면서 뿌리—胚軸—子葉의 維管束系가 確立되고, 이에 上胚軸系의 維管束이 連結됨으로서 一期維管束系가 完成된다. 은행나무의 경우를 보면, 開匣時의 胚에서 뿌리—胚軸—子葉의 維管束系가 確立되고, 胚軸上部의 두 子葉跡의 直角되는 方向에 第1·2葉跡으로 될 原生木部가 分化된다. 이들 第1·2葉跡의 原生木部는 求基的으로는 胚軸—뿌리로, 求頂的으로는 上胚軸으로 連續된다. 이와는 달리 뿌리에서 上胚軸方向으로 보면, 어린 뿌리에는 子葉跡에 連續된 2개의 木部만이 존재하므로 二原型木部가 形成되나, 基部쪽으로 가면 第1葉跡의 木部가 追加됨으로서 三原型木部가 形成되고, 여기에 第2葉跡의 木部가 다시 追加되면 四原型木部가 形成된다. 따라서 뿌리—胚軸—子葉의 維管束系에 上胚軸의 一期木部가 追加連續된 것으로 판단된다. 一期維管束系에 대한 이러한 解析은 여러가지 植物에서 觀察된 結果와 一致되고 있다 (Compton, 1912; Winter, 1932; Crook, 1933; McMurray and Fisk, 1936; Allen, 1947; Scheirer and Hillson, 1973).

摘 要

은행나무 (*Ginkgo biloba* L.)의 成熟胚 및 初期幼植物에서 維管束組織의 分化와 維管束轉移를 究明하기 위하여, 採取된 材料들을 Paraplast에 埋沒하여 10 μ m의 두께로 連續切片을 만들어 觀察하였다.

成熟胚에서 前形成層과 原生節部는 主軸과 子葉에서 連續系를 이루고 있으나, 原生木部는 子葉과 드물게 胚軸上部에 部分的으로 分化되어 있다. 第1·2葉原基跡의 一期木部는 胚軸上部에서 子葉跡과 교대로 나타나게 되고, 이들은 上胚軸과 뿌리의 兩極方向으로 分化된다. 어린 뿌리는 子葉跡과 連結된 二

原型木部를 形成하고, 이에 第1·2葉跡의 一期木部가 追加되던, 뿌리는 三原型과 四原型木部로 轉換된다. 은행나무의 一期維管束系는, 一期篩部가 幼植物을 통하여 連續系를 形成하고 있을지라도, 上胚軸의 一期木部는 뿌리—胚軸—子葉系에 追加되는 것으로 생각된다.

REFERENCES

- Allen, G. S. 1947. Embryogeny and development of the apical meristems of *Pseudotsuga*. II. Late Embryogeny. *Amer. J. Bot.* 34 : 73~80.
- Arnott, H. J. 1962. The seed, germination, and seedling of *Yucca*. *Univ. Calif., Publ., Bot.* 35 : 1~164.
- Bisalputra, T. 1961. Anatomical and morphological studies in the *Chenopodiaceae*. *Aust. J. Bot.* 9 : 1~18.
- Buchholz, J. T. and E.M. Old. 1933. The anatomy of the embryo of *Cedrus* in the dormant stage. *Amer. J. Bot.* 20 : 35-44.
- Carpenter, A. M. 1941. Seedling anatomy of certain *Pinaceae*. *Univ. Pittsburgh Bull.* 37 : 1~8.
- Compton, R. H. 1912. An investigation of the 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. Introduction to plant anatomy. 2nd ed. McGraw-Hill, New York.
- Esau, K. 1965a. Vascular Differentiation in Plants. Holt, Rinehart and Winston. pp. 127~133.
- . 1965b. Plant Anatomy. 2nd ed. John Wiley & Sons, New York. pp. 524~525.
- Gamborg, O. L., F. Constabel. and J. P. Shyluk. 1974. Organogenesis in callus from shoot apices of *Pisum sativum*. *Physiol. Plant.* 30 : 125~128.
- Lang, A. G. 1937. The use of n-butyl alcohol in the paraffin method. *Stain Technol.* 12 : 113~117.
- Mahlberg, P. G. 1960. Embryogeny and histogenesis in *Nerium oleander* L. I. Organization of primary meristematic tissues. *Phytomorphology* 10 : 118~131.
- Marsden, M. P. F. and I. W. Bailey. 1955. A fourth 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.
- Meyer, C. F. 1958. Cell patterns in early embryogeny of the McIntosh apple. *Amer. J. Bot.* 45 : 341~349.
- Miller, H. A. and R. H. Wetmore. 1945. Studies in the developmental anatomy of *Phlox drummondii* Hook. I. The embryo. *Amer. J. Bot.* 32 : 588~599.
- Moens, P. 1963. La vascularization de l'embryon et la plantule de *Coffea canephora* Pierre. *Cellule.* 64 : 71~126.
- Nast, C. G. 1941. The embryogeny and seedling morphology of *Juglans regia* L. *Lilloa.* 6 : 163~205.
- Scheirer, D. C. and C. J. Hillson. 1973. The vascular transition region of *Helianthus annuus*. I. Bilateral and unilateral patterns of differentiation. *Amer. J. Bot.* 60 : 242~246.

- Spurr, A. R. 1950. Organization of the procambium and development of the secretory cells in the embryo of *Pinus strobus* L. *Amer. J. Bot.* 37 : 185~197.
- Sundberg, M. D. 1983. Vascular development in the transition region of *Populus deltoides* Bartr. ex Marsh. seedlings. *Amer. J. Bot.* 70 : 735~743.
- van Tieghem, P. 1891. *Traite de botanique*. 2nd ed., Librairie F. Savy, Paris.
- Winter, C. W. 1932. Vascular system of young plants of *Medicago sativa*. *Bot. Gaz.* 94 : 152~167.

EXPLANATION OF PLATES

Figs. 4~8. Transverse sections of mature embryo.—Fig. 4~7. Sections of cotyledon at the levels of 14 mm, 11.5 mm, 3 mm, and 2.5 mm above the cotyledonary node. Fig. 4 shows only two procambial strands. Figs. 5 and 7 show procambium and protophloem. Fig. 6 shows procambium, protophloem, and protoxylem. Figs. 4 and 5. $\times 108$. Figs. 6 and 7. $\times 160$. Fig. 8. Section of upper hypocotyl shows protoxylem differentiating in the direction of cotyledon, and periclinal division of parenchyma cells. $\times 160$. Figs. 9~10. Longitudinal and transverse sections of germinating embryo. $\times 160$. Fig. 9 shows spiral-form tracheids of cotyledon and hypocotyl continuing in the base of cotyledon. Fig. 10 shows traces of the first and second leaf primordia alternating with cotyledonary traces in the upper hypocotyl.

Figs. 11~16. Transverse sections along the axis of 6-day-old seedlings. Figs. 11~13. Sections of young to old root show di-, tri-, and tetrarch xylem. $\times 108$. Fig. 14. Section of hypocotyl shows the transition from exarch to endarch xylem. $\times 84$. Fig. 15. Section of cotyledonary node shows endarch xylem and leaf traces. $\times 84$. Fig. 16. Section of epicotyl shows leaf traces. $\times 108$. Abbreviations: C, cotyledon; CT, cotyledonary trace; E, epicotyl; H, hypocotyl; I, idioblast; PC, procambium, PD, periclinal division of procambial cell; PP, protophloem; PT, trace of leaf primordium; PX, protoxylem; ST, spiral-form tracheid. Arabian numbers indicate leaf traces.

PLATE 1

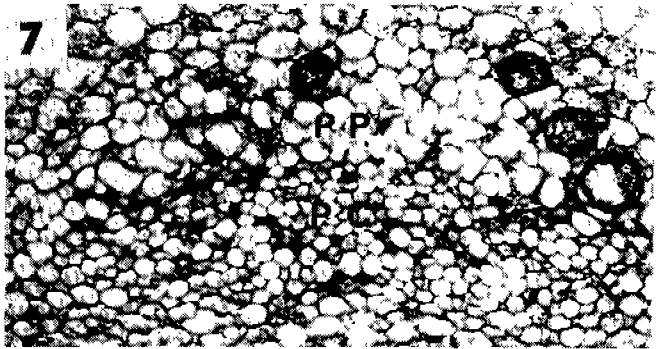
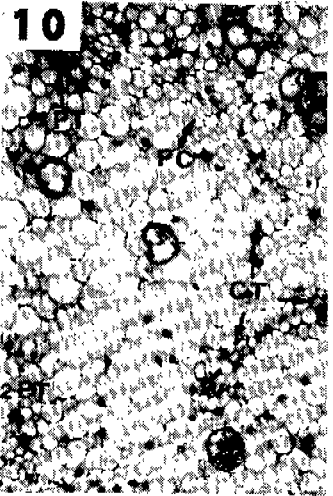
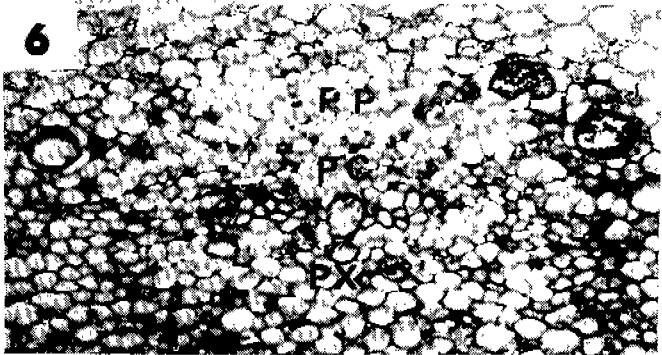
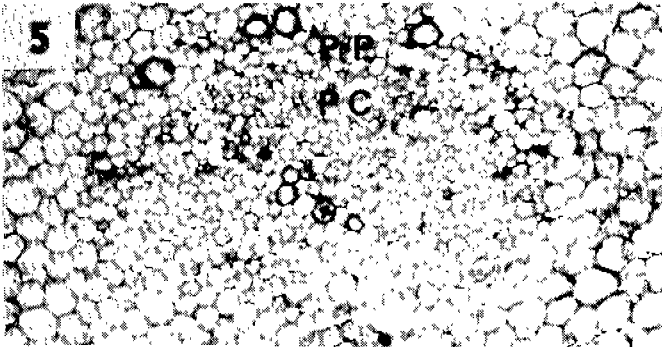
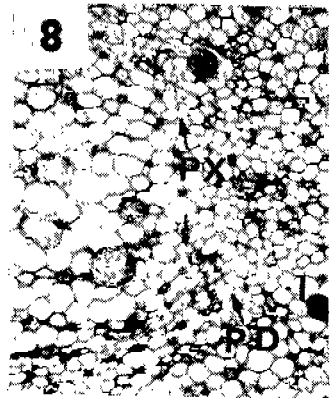
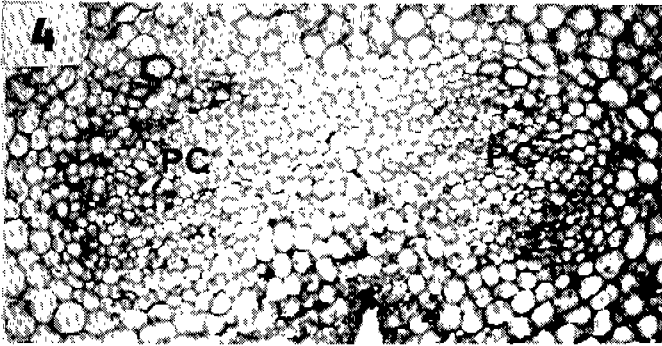


PLATE 2

