

아카시아나무의 줄기에 있어서 形成層의 活動과 放射組織의 發生

韓 京 植 · 蘇 雄 永

(全州又石大學 生物學科, 全北大學校 自然科學大學 生物學科)

Cambial Activity and Development of Rays in the Stem of *Robinia pseudo-acacia* L.

Han, Kyeong Sik and Woong Young Soh

(Department of Biology, Chonju Woo Suk University and Department of Biology,
Chonbuk National University, Chonju)

ABSTRACT

An anatomical study was conducted in order to elucidate the development of primary and secondary ray in *Robinia pseudoacacia* L. The height of primary ray near pith decreases progressively toward periphery, while the width and number per unit area gradually increase, and then the height, width and number remain somewhat constant. Secondary ray originates from the segmentation of fusiform initials or division of the side or end of fusiform initials at the middle of the first growth layer. And after the height and width of secondary ray increases to some extent, it remains constantly.

緒 論

二期維管束組織의 放射組織은 그 發生過程에서 多樣한 變化를 보인다. 이러한 放射組織의 起源과 發生에 關한 研究는 이미 植物解剖學者들에 의해 이루어진 바 있다 (Barghoorn, 1940a, 1940b, 1941a, 1941b; Bannan, 1951; Evert, 1961; Srivastava, 1963; Cheadle and Esau, 1964; Cumbie, 1963, 1967, 1969; Gregory and Romberger, 1975). 그러나 二期生長초기에 放射組織의 起源에 대하여는 比較的 研究事例가 많지 않다. 아카시아나무는 典型的인 多列放射組織으로 되어 있으나 (Esau, 1965; Cutter, 1978; Fahm, 1982), 1年次生長 초기에는 放射組織始原細胞가 단열로서 수십 세포에 이르는 높이를 보이는 것으로 報告된 바 있다 (Soh, 1974). 그러나 二期生長이 進行되는 동안 初期의 單列放射組織에서 높이의 감소 및 多列放射組織으로의 發生過程에 關한 연구는 별로 이루어진 바 없다.

한편, 維關束組織의 비대생장률과 밀접한 關係를 갖는

것으로 알려진 主軸系 要素에 대한 放射組織의 比率은 二期生長이 進行되는 동안 적정수준으로 維持된다. 그 이유는 새로운 放射組織이 紡錘型始原細胞로부터 주기적으로 發生되는데 기인된다 (Philipson *et al.*, 1971). 이러한 二期放射組織의 發生時期과 發生樣式은 放射組織의 구조적 변이와 아울러 二期生長을 이해하는데 있어서도 대단히 중요한 문제이다.

本 研究는 아카시아나무에서 二期生長過程 中에 일어나는 放射組織의 발생과정상의 構造的 變化를 규명하고자 試圖되었다.

材料 및 方法

本 研究에 사용된 材料는 10년생 아카시아나무 (*Robinia pseudoacacia* L.)로서 전북 임실부근의 야산에서 30여개체를 지상부로부터 1.5m 되는 부위를 採集하였다. 이 가운데에서 發育狀態가 비슷한 20개체를 골라 두께가 1cm 되는

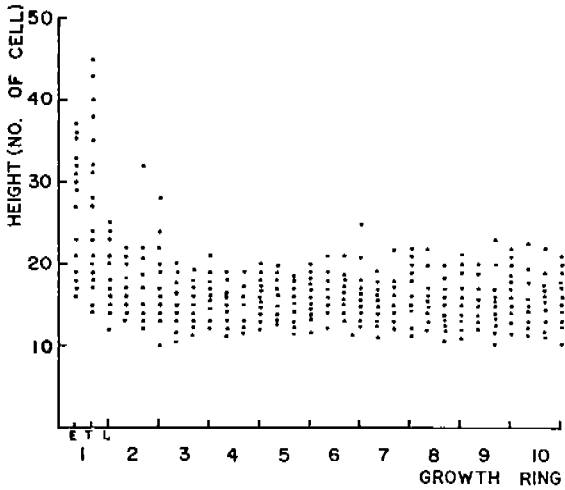


Fig. 1. Changes in the height of ray. E, early wood of the first growth ring; T, transitional region from early wood in the first growth ring; L, late wood of the first growth ring.

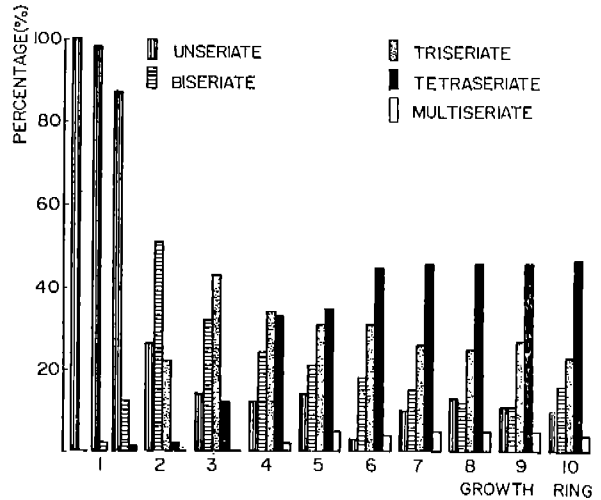


Fig. 2. Histogram showing the changes of ray width from pith to periphery.

圓板狀으로 잘라냈다. 이 材料를 폭이 1cm 정도 되도록 잘라서 고압술에 넣고 15기압으로 2-3시간 동안 軟化시켰다. 軟化된 材料를 슬라이딩마이크로톰을 사용하여 15-20 μm 의 橫斷切片을 만들고 사프라닌으로 染色한 후 에칠알코올 脫水過程을 거쳐 永久標本을 만들었다. 다시 이 材料의 방향을 바꾸어 연륜별로 春材部, 春秋材境界部 및 秋材部로 구별하여 15-20 μm 의 切線切片을 슬라이드그라스상에서 사프라닌으로 染色한 후 에칠알코올을 脫水過程을 거쳐 研究標本을 제작하였다(Berlyn and Miksche, 1976).

한편, 二期放射組織의 發生時期와 發生樣式을 밝히기 위해 1年次生長部를 파라핀메몰과정을 거쳐 10 μm 두께의 橫斷 및 連續切線切斷하여 헤마톡시린, 사프라닌 및 라이트그린으로 染色한 후 에칠알코올 脫水過程을 거쳐 永久標本을 제작하였다(Sass, 1971). 이와 같이 만들어진 標本을 檢鏡하여 切線斷面에서 放射組織의 높이, 폭, 단위면적당 분포수 및 主軸系要素에 대한 放射組織의 面積比를 연륜당 20곳을 임의로 선택 測定하여 平均치를 구했다. 이 때 放射組織의 높이는 垂直으로 배열된 細胞數로서, 그리고 폭은 斜線방향으로 배열된 細胞數로서 나타났다. 또한 각 연륜의 肥大生長率은 연륜폭을 마이크로미터로 測定하여 나타났다.

結 果

아카시아나무의 1年次生長木部の 春材部에서 放射組織은 모두 單列放射組織으로 경우에 따라서는 그 높이가 수십 세포에 이른다. 이와 같은 一期放射組織은 維管束內와 維管束間에서 前形成層의 짧은 細胞의 연속적인 橫斷分裂에 의해 起源된다. 이러한 1年次生長層의 木部로부터 점차 二期

生長이 진행됨에 따라 나타나는 가장 현저한 特徵은 放射組織의 높이와 폭이 급격한 變化를 나타내는 점이다. 먼저 높이의 變化를 보면 1年次生長木部の 春材初期에 放射組織의 높이는 平均 27細胞로 二期生長이 진행됨에 따라 약간 증가되어 春秋材境界部에서는 높이가 30細胞에 이른다. 그러나 1年次生長木部の 秋材部에서 급격히 감소되기 시작하여 2年次年輪과의 境界部에서는 약 35%가 감소되어 17細胞로 된다. 그리고 2年次年輪에서부터 放射組織의 높이는 年輪의 증가에 관계없이 17細胞로 일정하게 維持되어 비교적 二期生長初期에 안정되는 樣相을 나타냈다.

한편, 아카시아나무의 1年次生長木部の 春材部에서 放射組織은 모두 單列放射組織이다. 그런데 二期生長이 진행되어 年輪이 증가됨에 따라 처음 몇 차례의 橫斷分裂에 의해 높이가 약간 증가된 후에 春秋材境界部에서 垂層分裂이 시작되어 二列放射組織이 나타나기 시작한다(Fig. 2). 이와 같은 放射組織은 대체로 높이가 일정하게 維持되는 동안 垂層分裂을 반복하여 3-4年次年輪에 이르르면 4-5細胞幅의 전형적인 多列放射組織으로 발달된다(Fig. 8). 그런데 각 年輪에서 폭이 다른 放射組織의 점유율은 Fig. 2에 나타난 바와 같다. 즉 1年次生長木部の 春材部에서 單列放射組織이 100%, 春秋材境界部에서 99% 그리고 秋材部에서는 87%로 낮아지는 반면 二列放射組織은 1年次生長木部の 秋材部에서 13%, 2年次年輪에서는 50%로 증가된다. 이와 같이 年輪이 증가됨에 따라 多列放射組織의 점유율은 점차 증가되고 單列放射組織의 비율은 낮아지는 傾向이 5年次年輪 이후에는 안정되어 일정하게 유지된다. 그런데 年輪의 증가에 따른 放射組織當 構成細胞數는 1年次生長木部の 春材部에서 27細胞로 春秋材境界部에서 약간 증가되지만 秋材部에서는 약 30%가 감소된 20細胞에 이른다(Fig. 3).

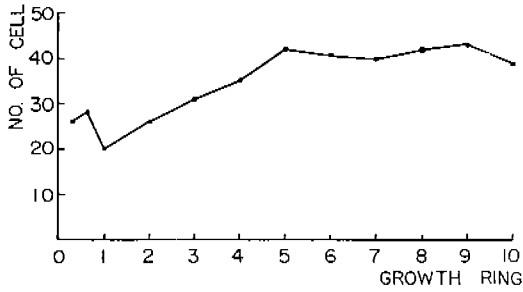


Fig. 3. Number of cell per ray in each growth ring.

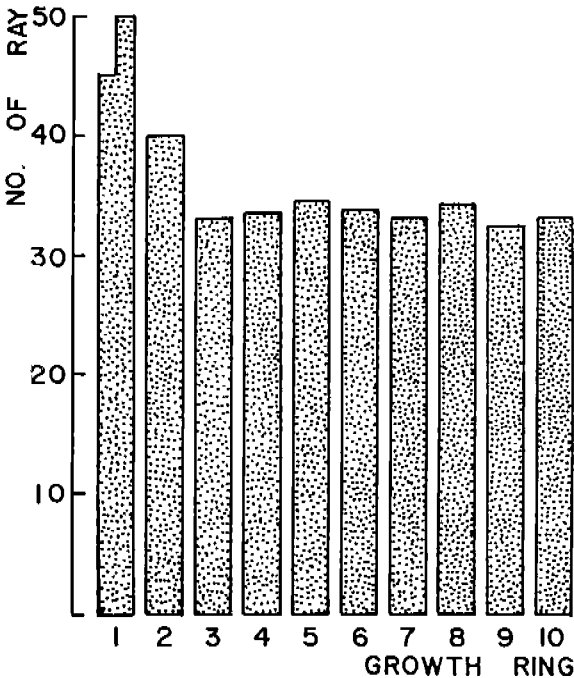


Fig. 4. Histogram showing the number of ray per unit square from pith to periphery in tangential section.

그러나 年輪이 증가됨에 따라 放射組織의 幅이 증가되고, 따라서 放射組織當 細胞數도 점차 증가되어 5年次年輪에서 약 42細胞에 도달되어 그 이후에는 별 변화없이 안정된다. 또한 單位面積當 放射組織의 數에서도 年輪의 증가에 따라 상당한 변화를 나타낸다. 一年次生長木部の 春材部에서 放射組織의 數는 45개, 秋材部에서는 50개로 약간의 증가를 보인다. 이어서 二年次年輪에서는 40개, 三年次年輪에서는 32개로 一年次生長木部に 비해 약 35%가 감소된다. 三年次年輪 이후에는 약간의 증감을 나타내나 대체로 일정하게 維持된다 (Fig. 4). 그리고 主軸系要素에 대한 放射組織의 비율은 一年次生長木部에서 9%, 二年次年輪에서 11%로 年輪의 증가에 따라 점진적으로 증가되어 5年次年

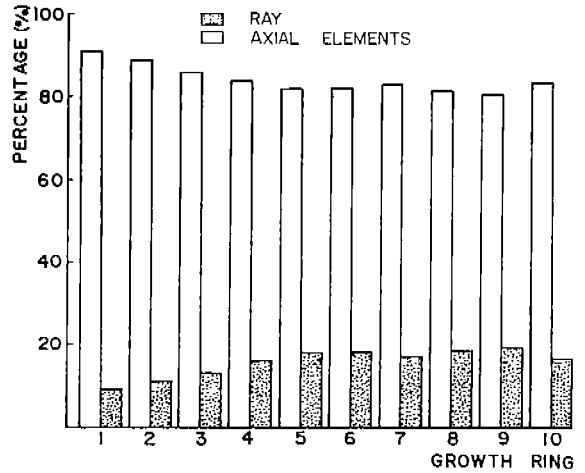


Fig. 5. Histogram showing the relative proportion of ray to axial elements in each growth ring.

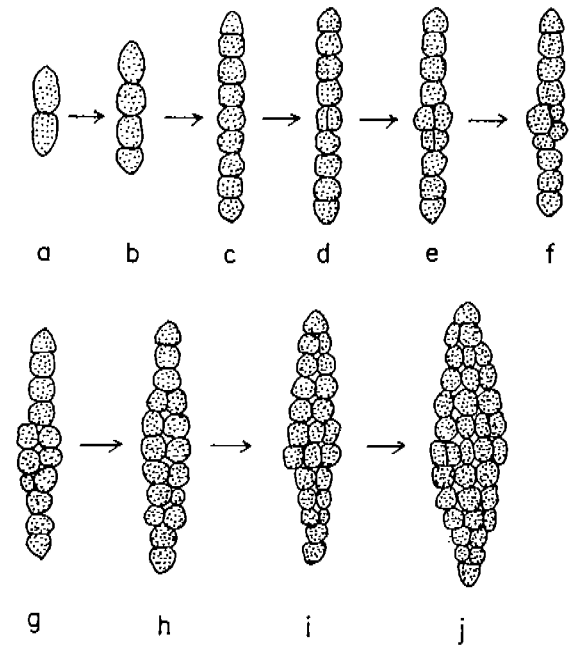


Fig. 6. Diagrammatic representation of development changes from uniseriate to multiseriate in the secondary ray.

輪에서 약 18%에 이르고 그 후에는 일정하게 維持된다 (Fig. 5).

한편, 아카시아나무에서 初期의 二期維管束放射組織이 髓로부터 약 500-600 μ m 정도의 春材部에서 發生이 시작된다 (Fig. 8A). 이와 같은 二期放射組織은 대부분 1-2細胞 높이의 單列放射組織으로서 紡錘型始原細胞의 중앙부의 橫斷分裂에 의해 (Fig. 8H), 또는 紡錘型始原細胞의 말단부

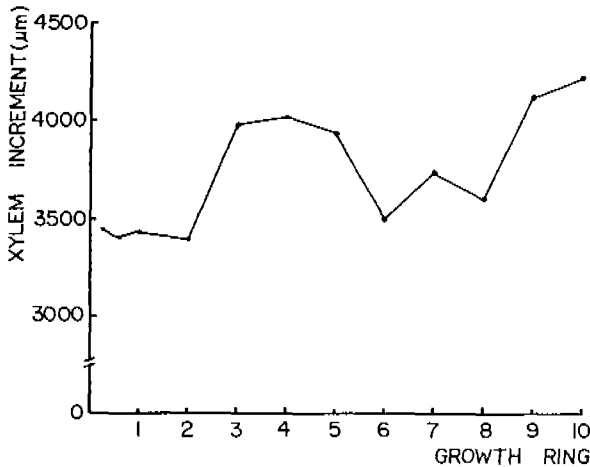


Fig. 7. Variation of the xylem increment from pith to periphery.

(Fig. 8I) 및 축부의 일부가 분리되어 (Fig. 8J) 起源된다. 이와 같이 發生된 二期放射組織은 먼저 몇 차례의 橫斷分裂을 거쳐 일정수준의 높이에 도달된 후 (Fig. 6a-c) 二年次年輪의 春材部에서 최초의 垂層分裂을 시작하여 점차 幅이 증가된다 (Fig. 6d-h). 그래서 3年次年輪의 春材部에서 3列, 4年次年輪에서 4列, 그리고 5年次年輪에서 전형적인 多列放射組織으로 발달된다 (Fig. 6i, j).

각 年輪別 比대성장률은 Fig. 7에서 보는 바와 같이 불규칙적인 변화를 나타내어 放射組織의 높이, 單位面積當 放射組織의 分布數 사이에 어떤 규칙적인 관계도 찾아볼 수 없었다.

考 察

일반적으로 雙子葉植物의 放射組織은 줄기의 比대성장 중에 많은 변화를 겪게 된다. 연속접선절편의 관찰에 의한 本 研究에서 一期放射組織은 單列이며 높이가 아주 높은 것으로 관찰되었다. Barghoorn (1940a)은 이미 二期生長이 완료된 材料의 髓에 인접한 二期木部の 放射斷面의 관찰로부터 前形成層細胞의 연속적인 橫斷分裂에 의해 起源된다고 보고한 바 있다. 그러나 아카시아나무의 一期放射組織의 起源에 대한 研究에서 높은 斷列放射組織은 前形成層의 짧은 細胞의 연속적인 橫斷分裂에 의해 되는 것으로 밝혀졌다 (Soh, 1974). 그러므로 一期放射組織의 起源에 대한 研究은 一期生長 中の 材料로부터 發生解剖學的인 접근이 있어야 할 것이고 二期生長이 완료된 材料로 할 경우 정확한 結果의 판단에 무리가 있음을 알 수 있다. 따라서 Barghoorn (1940a)의 研究結果는 어린 生長 中の 줄기를 材料로 재확인되어야 할 것으로 사료된다. 한편 二期生長이 진행되는 동안 나타나는 가장 뚜렷한 변화는 一期放射組織의 높이가 一年生長木部에서 급격히 감소되는 점이다

(Fig. 1). 아카시아나무에서 放射組織의 높이의 감소가 初期에는 주로 紡錘形始原細胞로의 전환에 의해 일어나며 (Fig. 8F), 또한 인접 紡錘形始原細胞의 貫入生長에 의해 분리됨으로써 높이가 감소된다 (Fig. 8G). 특히 후자에 의한 높이의 감소는 多列放射組織의 내부에서 흔히 나타나는 것으로 Philipson 등 (1971), Soh (1974) 등의 研究에서도 보고된 바 있으며, 후자에 의한 감소는 Barghoorn (1940a, 1940b)에 의해 알려진 바 있다. 그런데 Gregory와 Romberger (1975)는 松栢類에 대한 研究에서 放射組織의 높이가 二期生長 中 계속해서 증가하며 季節的인 變異가 뚜렷한 것으로 밝힌 바 있어서 아카시아나무와는 다른 樣相을 보였다. 또한 아카시아나무의 경우 放射組織의 높이와 比대성장률 사이에 어떤 일정한 관계도 찾아볼 수 없었다 (Fig. 1, 7). 이러한 結果는 White 등 (1986)이 環孔材를 材料로 放射組織의 높이와 比대성장률과의 관계를 調査한 研究結果와도 一致한다. 그러나 Bannan (1965), Carmi 등 (1972) 및 Gregory와 Romberger (1975) 등은 放射組織의 높이와 比대성장률 사이에 一定한 관계가 있음을 報告한 바, 아카시아나무와는 다른 樣相을 나타냈다.

한편 二期生長이 진행되어 年輪이 증가됨에 따른 또 다른 變化는 放射組織의 幅이 현저하게 증가되어 一年次生長木部の 單列放射組織으로부터 3-4年次年輪에 이르면 4-5細胞幅의 전형적인 多列放射組織으로 발달되는 점이다 (Fig. 8A-F). 그런데 아카시아나무에서 放射組織의 幅의 증가는 始原細胞의 數層分裂 및 融合에 의해 일어나며 (Fig. 8I), 계속해서 幅이 증가되지 않고 一定하게 維持되는 것은 紡錘形始原細胞의 貫入生長과 放射組織始原細胞의 紡錘形始原細胞로의 전환 등에 의해 幅의 증감이 반복되기 때문인 것으로 여겨진다. 이와 같은 幅의 증감방식은 Barghoorn (1940a, 1940b), Butterfield (1972) 및 Philipson 등 (1971)에 의해서도 報告된 바 있다. 그런데 年輪의 증가에 따른 放射組織當 構成細胞數는 一年次生長木部에서 약간 감소되는데 이것은 放射組織의 높이의 감소에 基因된 것 같다 (Fig. 3). 그리고 二年次連輪에서부터 점진적으로 構成細胞數가 증가된 후 안정되는데 이것은 放射組織의 幅이 점진적으로 증가하다 일정 年輪에 이르면 一定하게 維持되기 때문인 것으로 보이며 比대성장률과 構成細胞數 어떤 관계도 나타나지 않았다. 그러나 *Abies balamea*와 *Picea glauca* (Gregory and Romberger, 1975), *Acer saccharum* (Gregory, 1977)에서는 比대성장률과 構成細胞數 사이에 밀접한 관계가 있는 것으로 報告되어 아카시아나무와는 다른 樣相을 보였다. 또한 單位面積當 放射組織의 數에서도 年輪이 증가됨에 따라 상당한 감소를 나타내는데 (Fig. 4), 一로 報告된 반면, *Dalbergia sissoo* (Ghouse and Yunus, 1973), *Prosopis spicigera* (Ghouse and Iqbal, 1977), *Acacia nilotica* (Iqbal and Ghouse, 1987) 및 *Delonix regia* (Ghouse and Hashmi, 1980)에서는 증가되는 것으로 밝혀져 植物에 따라 각기 다른 傾向을 보인다.

한편 主軸系要素에 대한 放射組織의 비율은 年輪이 증가

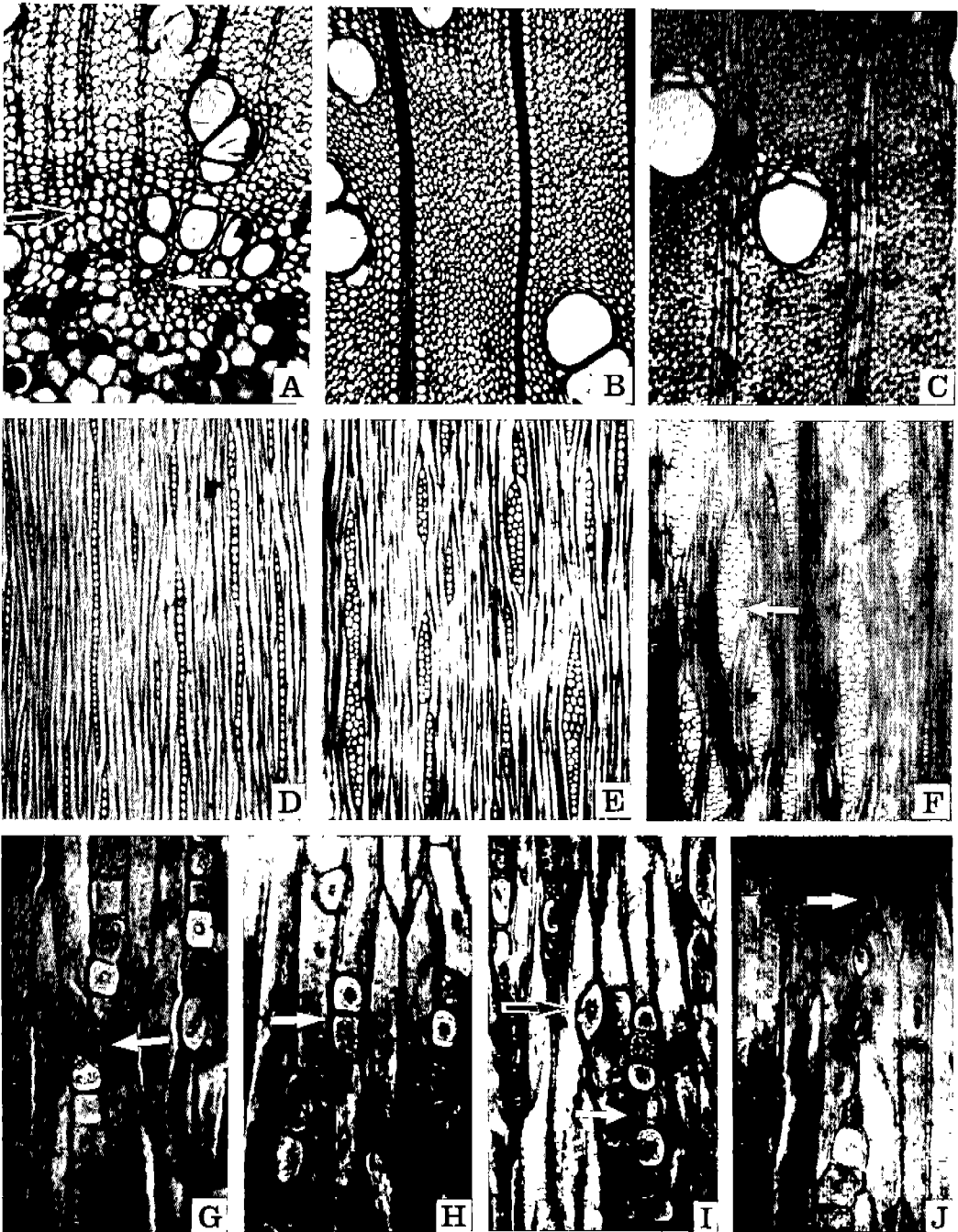


Fig. 8. The secondary xylem in the stem of *Robinia pseudoacacia* L. in transverse (A-C) and tangential section (D-J). A: The origin of the primary ray in the interfascicular (black arrow) and fascicular region (white arrow). $\times 150$. B: Biseriate ray in the third growth layer. $\times 150$. D-F: The ray of different width in the first, the third, and the fifth growth layer. $\times 150$. Arrow indicates the transformation of ray initials into fusiform initials. $\times 500$. G: Splitting of ray initials by intrusive growth of fusiform initials. $\times 500$. H: Formation of secondary ray by central partition of fusiform initials. $\times 500$. I: The origin of secondary ray from lateral division of ray cell (white arrow). $\times 500$. J: The origin of secondary ray from division at the end of fusiform initials. $\times 500$.

됨에 따라 점진적으로 증가된 후 一定水準에서 안정되는데 (Fig. 5), 이것은 二期生長이 진행되는 동안 새로운 放射組織이 紡錘形始原細胞로부터 계속 發生되기 때문이다 (Philipson *et al.*, 1971). 그런데 放射組織의 비율은 植物에 따라 매우 다양하여 10% 미만에서부터 (Butterfield, 1972), 15-40% (Iqbal and Ghouse, 1985) 및 75% (Ghouse and Yunus, 1973) 등이 報告된 바 있다. 이와 같이 二期生長이 진행됨에 따라 *Dalbergia sissoo* (Ghouse and Yunus, 1973), *Acacia nilotica* (Iqbal and Ghouse, 1987)의 경우 점진적으로 放射組織의 비율이 증가된 후 一定水準에서 안정되는 것으로 報告되어 아카시아나무의 경우와 一致된다. 그러나 *Polyalthia longifolia* (Ghouse and Hashmi, 1980), *Bauhinia parvifolia* (Khan *et al.*, 1981)에서는 放射組織의 비율이 계속해서 증가되는가 하면, *Prosopis spicigera* (Ghouse and Iqbal, 1977)와 *Citrus sinensis* (Khan *et al.*, 1981)에서는 二期生長 동안 내내 一定한 것으로 밝혀져 植物에 따라 다양한 傾向을 보인다. 그런데 이러한 比率의 변화는 放射組織의 消失과 發生에 의해 영향을 받게 되는데, 아카시아나무의 二期放射組織은 비교적 초기에 紡錘形始原細胞의 中央 (Fig. 8I) 또는 후부의 일부 (Fig. 8J)가 분리되어 1-2細胞 높이의 單列로서 發生되며, 또한 紡錘形始原細胞 全體가 橫斷分裂에 의해 放射組織始原細胞로 전환되어 發生되기도 한다 (Fig. 8H). 이와 같은 二期放射組織의 發生樣式은 *Dalbergia sissoo* (Ghouse and Yunus, 1973), *Delonix regia* (Ghouse and Hanshmi, 1980)에서도 報告된 바 있다. 그런데 二期放射組織의 발생빈도는 紡錘形始原細胞와 放射組織始原細胞 사이의 물리적인 接觸程度에 의해 (Philipson *et al.*, 1971), 또는 미지의 刺戟物質의 刺激에 의해 調節된다는 主張도 있다 (Carmi *et al.*, 1972).

이상에서 본 바와 같이 아카시아나무의 放射組織은 二期生長이 진행되는 동안 다양한 構造의 變化를 나타냈으며 다른 植物의 研究結果와 相異한 점은 植物에 따라 각기 다른 獨특한 發生 및 變形方式을 갖기 때문인 것으로 추정된다. 그러므로 이러한 觀點에서 다른 分類群에 대한 광범위한 研究가 이루어져야 하며 또한 二期放射組織의 發生頻도와 이에 영향을 미치는 要因에 대한 研究가 이루어져야 할 것으로 思料된다.

摘 要

아카시아나무에서 一期 및 二期放射組織의 發生을 理解하기 위해 解剖學的 研究를 수행하였다. 髓近處에서 一期放射組織의 높이는 점진적으로 감소하는 반면 幅과 단위면적당 數는 점진적으로 증가한다. 다음 높이, 幅 및 數가 어느 정도 일정하게 된다.

二期放射組織은 一年次生長層의 중간에서 紡錘形始原細胞의 分割 또는 紡錘形始原細胞의 側部 및 末端部가 분리되

어 起源된다. 그리고 二期放射組織의 높이와 幅은 어느 정도 증가된 후 일정하게 維持된다.

參 考 文 獻

- Banna, M.W. 1951. The reduction of fusiform cambial cells in *chamaecyparis* and *Thuja*. *Can. J. Bot.* 29: 57-67.
- Bannan, M.W. 1965. Ray contacts and rate of anticlinal division in fusiform cambial cell of some Pinaceae. *Can. J. Bot.* 43: 487-507.
- Barghoorn, E.S., Jr. 1940a. Orgin and development of the uniseriate ray in the Coniferae. *Bull. Torrey Bot. Club.* 67: 303-328.
- Barghoorn, E.S., Jr. 1940b. The ontogenetic development and phylogenetic specialization of rays in the xylem of dicotyledons. I. The primitive ray structure. *Am. J. Bot.* 27: 918-928.
- Barghoorn, E.S., Jr. 1941 a. The ontogenetic development and phylogenetic specialization of rays in the xylem of dicotyledons. II. Modification of the multiseriate and uniseriate rays. *Amer. J. Bot.* 28: 273-282.
- Barghoorn, E.S., Jr. 1941 b. The ontogenetic development and phylogenetic specialization of rays in the xylem of dicotyledons. III. The elimination of rays. *Bul. Torrey Bot. Club.* 68: 317-325.
- Berlyn, G.P. and J.P. Miksche. 1976. Botanical Microtechnique and Biochemistry. The Iowa State Univ. Press Ames Iowa.
- Butterfield, B.G. 1972. Developmental Changes in the cambium of *Aeschynomene hispida*. *Can. J. Bot.* 50: 944-951.
- Carmi, A., T. Sachs and A. Fahn. 1972. The relation of ray spacing to cambial growth. *New Phytol.* 71: 349-353.
- Cheadle, V.I. and K. Esau. 1964. Secondary phloem of *Liriodendron tulipifera*. *Univ. Calif. Publ. Bot.* 36: 143-252.
- Cumbie, B.G. 1963. The vascular cambium and xylem development in *Hibiscus lasiocarpus*. *Amer. J. Bot.* 50: 944-951.
- Cumbie, B.G. 1967. Developmental changes in the vascular cambium of *Leitneria floridana*. *Amer. J. Bot.* 35: 662-682
- Cutter, B.G. 1978. Plant Anatomy: Experiment and Interpretation Part 2. Organs. London, Edward Arnold.
- Esau, K. 1965. Plant Anatomy. 2nd ed. New York, John Wiley & Sons.
- Evert, R.F. 1961. Some aspects of cambial development in *Pyrus communis*. *Amer. J. Bot.* 48: 479-488.
- Fahn, A. 1982. Plant Anatomy. 3rd ed. Pergamon Press.
- Ghouse, A.K.M. and M. Yunus. 1973. The ratio of ray and fusiform initials in some woody species of the Ranalian complex. *Bull. Torrey Bot. Club.* 101: 363-366.
- Ghouse, A.K.M. and M. Iqbal. 1977. Variation trends in the cambial structure of *Prosopis spicigera* L. in relation to

- the growth of the tree axis. *Bull. Torrey. Bot. Club.* 104: 197-210.
- Ghose, A.K.M. and S. Hashmi. 1980. Changes in the vascular cambium of *Polyalthia longifolia* Benth. and Hook. (Annonaceae) in relation to the girth of the tree axis. *Flora.* 170: 135-143.
- Gregory, R.A. and J.A. Romberger. 1975. Cambial activity and height to uniseriate vascular rays in Conifers. *Bot. Gaz.* 136(3): 246-253.
- Gregory, R.A. 1977. Cambial activity and ray cell abundance in *Acer saccharum*. *Can. J. Bot.* 55: 2559-2564.
- Iqbal, M. and A.K.M. Ghose. 1985. Cell everts of radial growth with special reference to cambium of tropical trees. In *Widening Horizons of Plant Sciences* C.P. Malik (Ed.), Cosmo Publ. New Delhi, pp. 217-252.
- Iqbal, M. and A.K.M. Ghose. 1987. Anatomy of the vascular cambium of *Acacia nilotica* (L.) Del. var. *telia* Troup (Mimosaceae) in relation to age and season. *Botanical Journal of the Linnean Society.* 94: 385-397.
- Khan, K.K., Z. Ahmad and M. Iqbal. 1981. Trends of ontogenetic size variation of cambial initials and their derivatives in the stem of *Bauhinia parvifolia* Vahl. *Bulletin dela Society Botanique de France.* 128: 165-175.
- Philipson, W.R., J.M. Ward and B.G. Butterfield. 1971. *The Vascular Cambium.* London, Chapman and Hall.
- Sass, J.E. 1971. *Botanical Microtechnique.* 3rd ed. The Iowa State Univ. Press, Ames Iowa.
- Soh, W.Y. 1974. Early ontogeny of vascular cambium. III. *Robinia pseudo-acacia* and *Syringa oblata*. *Bot. Mag. Tokyo.* 87: 99-112.
- Srivastava, L.M. 1963. Cambium and Vascular derivatives of *Ginkgo biloba*. *J. Arnold Arbor.* 44: 165-192.
- White, D.J.B. and A.W. Robards. 1966. Some effects of radial growth rate upon the rays of certain ring porous hardwoods. *J. Inst. Wood.* 17: 54-52.

(1990, 3, 13 接受)