

數 種의 木本植物에 있어서 正常 및 矮小個體의 二期木部の 比較解剖

林 東 沃·蘇 雄 永

(湖南大學 生物學科, 全北大學校 自然科學大學 生物學科)

Comparative Anatomy of Secondary Xylem in Normal and Dwarf Individuals of Some Wood Plants

Lim, Dong Ok and Woong Young Soh

(Department of Biology, Honam University, Kwangju and Department of Biology, Chonbuk National University, Chonju)

ABSTRACT

This study deals with the effect of dwarf growth on xylem structure, especially on the dimension of xylem elements described for 12 species of naturally occurring dwarf trees. The length and tangential diameter of tracheary elements and fibers in dwarf trees appear to be shorter and narrower than those in normal trees. Radial width and cell number of the same annual rings are narrower and smaller in dwarf trees than those in normal trees. Height of rays in dwarf trees is lower than that in normal trees. Dwarf conifers appear to have higher ratio of latewood to earlywood than that in normal trees. In the hardwood species studied, mesomorphy of vessel elements is lower in dwarfs than that in normal trees. It can be concluded that this dwarf growth occurs as a result of extremely slow growth by environmental stress such as water deficiency.

緒 論

다년생 木本植物에 있어서 二期生長의 산물인 二期木部에 관한 발생해부학적 연구는 목재조직 분화는 물론 목재 형성을 이해하는데 있어서도 중요한 기초가 될 것이다. 樹木의 生長은 더어심기, 灌溉 그리고 施肥 등의 처리와 種 자체의 遺傳的 特性에 영향을 받는 것으로 알려져 있으며(Panshin and de Zeeuw, 1980), 木部の 구조는 同 種이 동일 지역에서 자랐을 지라도 個體마다 二期木部の 구조에 있어서 변이를 보이고 있으므로(Dinwoodie, 1961), 이는 환경에 의해 영향을 받는 것으로 추정할 수 있다. 環境要因 중, 특히 水分, 溫度, 緯度와 經度 그리고 바람이나 陰陽地 등에 의한 목부구조의 변이가 일어나고(Forsait, 1920; Fahn, 1964; Taylor, 1974; Oever *et al.*, 1981; Bissing, 1982; Lawton, 1984), 二期木部 형성시 春秋材 移行 과정은 역시 환경요인에 의해 變化된 것으로 보고된 바

있다(Larson, 1963; Zahner *et al.*, 1964; Whitmore and Zahner, 1966). 그러므로 二期木部の 구조적 변이에 대한 生態的 및 進化的인 면과 관련된 외부환경 요인의 중요성을 고려해야 할 것으로 본다(Baas *et al.*, 1983; Carlquist, 1975).

따라서 본 연구는 외부환경 요인이 서로 다른 서식지에서 자란 同 種에 속하는 正常個體와 矮小生長을 한 個體를 대상으로 二期木部の 해부학적 특성을 비교 조사함으로써 矮小個體와 正常個體의 樹幹의 髓에서 주변연륜부까지의 二期木部の 해부학적 특성을 밝히고자 시도되었다.

材料 및 方法

본 연구에 사용된 재료는 한국산 裸子植物 3종과 被子植物 9종의 줄기이다(Table 1). 正常個體와 矮小個體의 해부학적 구조 차이를 최소화하기 위해, 이들 재료 중 정

Table 1. Characteristics of woods in some trees examined

Species	Diameter of wood (cm)		Number of annual rings		Locality
	NT	DT	NT	DT	
<i>Pinus densiflora</i> S. et Z. 소나무	3.9	3.1	12	13	Mt. Whang
<i>Pinus thunbergii</i> Parl.	a. 11.4	4.2	15	29	Mt. Kumjung
곰솔	b. 10.7	3.4	15	21	Taeaeon-eup
<i>Juniperus rigida</i> S. et Z.	a. 3.3	2.9	22	28	Mt. Jeoksang
노간주나무	b. 3.6	3.4	17	22	Mt. Moak
<i>Alnus hirsuta</i> (SPACH) Rupr	14.7	4.2	16	16	Mt. Manduck
물오리나무					
<i>Quercus variabilis</i> Blume	3.4	2.7	16	16	Mt. Deokyu
굴참나무					
<i>Zelkova serrata</i> Makino	4.4	3.7	18	47	Mt. Deokyu
느티나무					
<i>Lindera obtusiloba</i> Blume	3.0	2.1	21	18	Mt. Deokyu
생강나무					
<i>Prunus serrulata</i> var. <i>spontanea</i> (Max.) Wilson	2.4	2.2	8	18	Mt. Jeoksang
벗나무					
<i>Albizia julibrissin</i> Durazz	4.2	3.5	14	16	Byunsan peninsula
자귀나무					
<i>Lespedeza maximowiczii</i> Blume	1.4	1.4	13	17	Byunsan peninsula
조록싸리					
<i>Fraxinus sieboldiana</i> Blume	2.5	3.8	21	35	Byunsan peninsula
쇠물푸레					
<i>Callicarpa japonica</i> Thunb.	1.5	2.0	8	15	Mt. Jeoksang
작살나무					

NT, Normal trees; DT, Dwarf trees.

Table 2. Mean widths and number of cells in annual ring

Species	Number of annual rings	Width of annual rings (μm)			Cell number in annual rings		
		NT	DT	Ratio*	NT	DT	Ratio*
<i>Pinus densiflora</i>	1-5	882.2	753.7	85.4	68.9	64.0	92.9
	6-	1801.3	1315.7	73.0(75.5)			
<i>Pinus thunbergii</i>	1-5	2710.9	781.4	28.8	92.3	30.0	32.7
	6-	3247.9	461.5	14.2(17.5)			
<i>Juniperus rigida</i>	1-5	459.3	388.0	84.5	50.7	28.5	56.1
	6-	686.4	199.0	29.0(43.2)			
<i>Alnus hirsuta</i>	1-	4593.7	1312.5	28.6	311.0	92.5	29.7
<i>Quercus variabilis</i>	1-	1062.5	843.7	79.4	104.0	75.3	72.4
<i>Zelkova serrata</i>	1-	1222.2	393.6	32.2	111.6	25.8	23.1
<i>Lindera obtusiloba</i>	1-	714.3	583.3	81.7	48.9	41.9	85.7
<i>Prunus serrulata</i> var. <i>spontanea</i>	1-	1500.0	611.1	40.7	103.9	45.7	44.0
<i>Albizia julibrissin</i>	1-	1500.0	1093.7	72.9	125.7	57.4	45.7
<i>Lespedeza maximowiczii</i>	1-	538.5	411.8	76.4	45.2	41.9	92.7
<i>Fraxinus sieboldiana</i>	1-	595.2	542.8	91.3	47.4	39.7	83.7
<i>Callicarpa japonica</i>	1-	937.5	666.7	71.1	47.4	29.9	63.1

NT, Normal trees; DT, Dwarf trees; *, DT/NT \times 100; (), Total ratio of width of all annual rings.

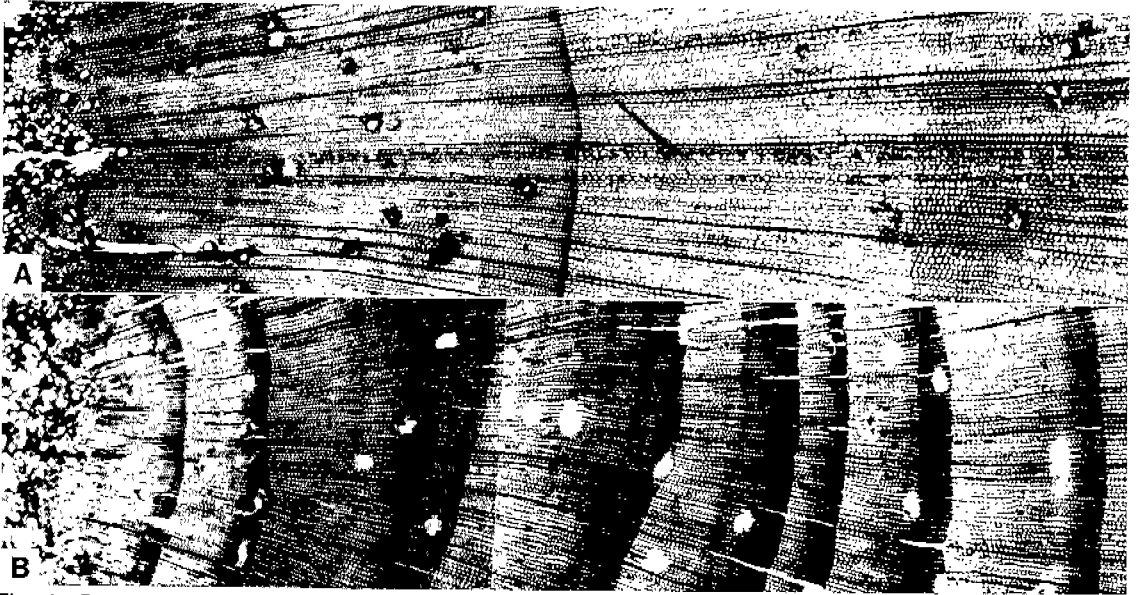


Fig. 1. Cross sections of annual rings in stems of normal and dwarf tree in *Pinus densiflora*. $\times 43$. A, Two-year-old stem of normal tree; B, Eight-year-old stem of dwarf tree.

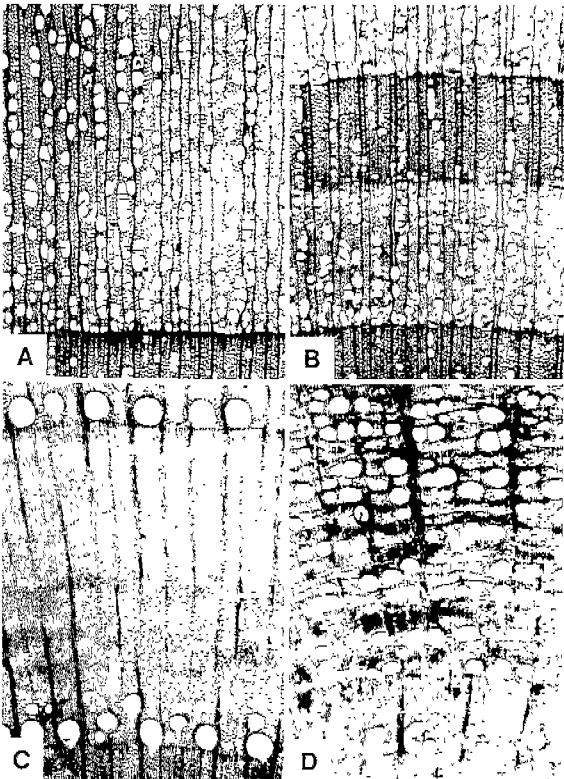


Fig. 2. Cross sections of annual rings in normal (A, C) and dwarf trees (B, D). $\times 443$. A, B, 5th (A) and 5th-6th (B) annual rings of *Alnus hirsuta*. C, D, 3th (C) and 3th-14th (D) annual rings of *Zelkova serrata*.

상적인 土壤條件에서 자란 正常個體의 줄기는 곧게 성장한 수목을 선정하여 胸高部位(지상 약 120 cm)의 樹幹에서, 암석간에서 자란 矮小個體의 줄기도 모두 가지가 아닌 主幹部位에서 채취하였다. 채취된 줄기는 생체 재료를 직접 滲走式 마이크로톰으로 20 μm 두께의 3단면 절편을 만들었다. 특히 橫斷面 절편은 全年輪이 다 나오도록 수에서 주변 연륜부까지 블록을 만든 다음 만들었다. 이 절편을 鹽基性 흑신에 염색 후 알콜에 脫水시켜 永久組織標本을 만들었다(Sass, 1971). 또한 생체 재료를 수 부위에서부터 일정연륜 간격으로 얇게 각아 제퍼리씨법으로 해리시켜 사프란인 염색 후 永久組織標本을 만들었다(Berlyn and Miksche, 1976). 이들 표본으로부터 연륜 수와 연륜내 평균 세포수, 춘추재 비율 및 假導管, 도관, 纖維의 接線直徑과 接線壁肥厚 그리고 방사조직의 높이 등을 측정하였다. 그리고 측정된 직경, 壁肥厚, 높이 및 길이 등은 개체당 50 회씩 측정된 후 평균 처리하였다.

結 果

正常個體의 年輪幅이 矮小個體의 것보다 넓게 나타났는데(Table 2) 그 比率 범위는 곰솔 줄기의 17.5%에서 물푸레나무 줄기의 91.3%까지 였다(Figs. 1-4). 특히 裸子植物 중 소나무, 곰솔, 노간주나무의 줄기에서 각각 正常個體와 矮小個體의 年輪幅을 비교한 結果, 1년에서 5년차 연륜까지 正常個體에 대한 矮小個體의 폭의 비는 28.8% (곰솔)에서 85.4%(소나무) 범위였으나, 6년차 연륜부터 마지막 연륜까지 矮小個體의 年輪幅 비는 14.2%(곰솔)에서

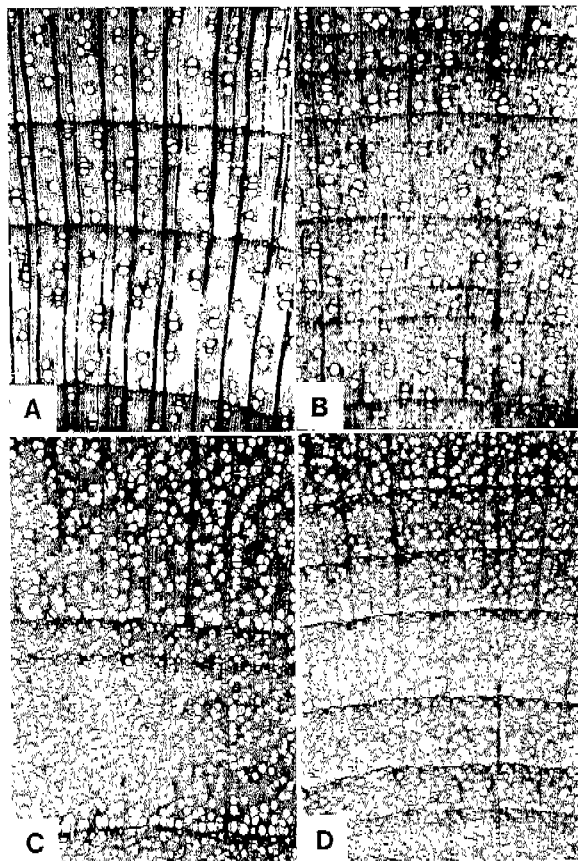


Fig. 3. Cross sections of annual rings in normal (A, C) and dwarf trees (B, D). $\times 43$. A, B, 6th-8th (A) and 6th-11th (B) annual rings of *Lindera obtusiloba*. C, D, 5th-6th (C) and 5th-10th (D) annual rings of *Prunus serrulata* var. *spontanea*.

73.0%(소나무)까지의 범위로 더 낮은 비율을 보인다(Fig. 3). 그리고 각 연륜내에서의 세포數도 矮小個體에 비해 正常個體에서 더 많게 나타났다. 각 연륜별 세포數에 있어서 正常個體에 대한 矮小個體의 비는 23.1%(노티나무)

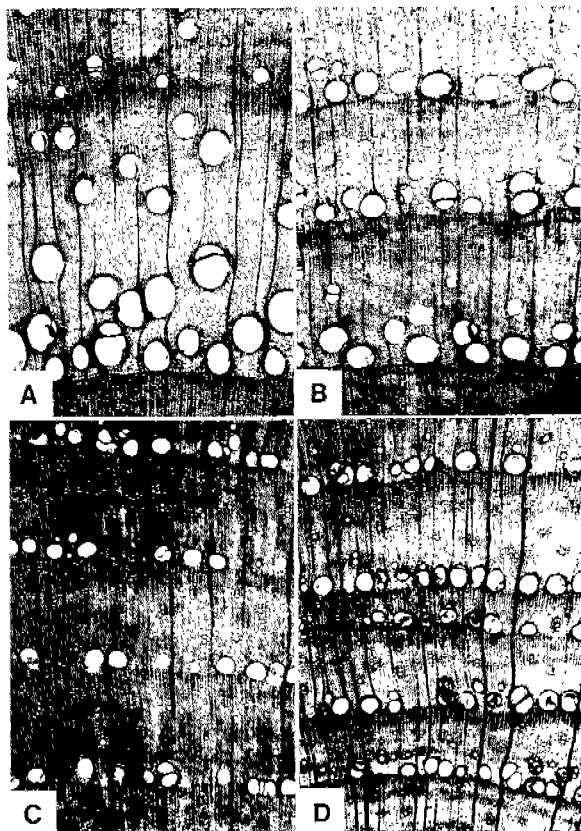


Fig. 4. Cross sections of annual rings in normal (A, C) and dwarf trees (B, D). $\times 43$. A, B, 6th (A) and 6th-8th (B) annual rings of *Albizzia julibrissin*. C, D, 14th-17th (C) and 14th-18th (D) annual rings of *Fraxinus sieboldiana*.

에서 92.9%(소나무)의 범위로 나타났다.

裸子植物 3種에서 연륜내 春材에 대한 秋材의 비는 소나무의 경우 正常個體(0.4)보다 矮小個體(0.9)에서 더 높게 나타났다(Table 3). 또한 곰솔과 노간주나무에서도 正常個體(0.2)보다 矮小個體(0.7)에서 더 높았다. 그리고 被子

Table 3. Anatomical characteristics of woods in some conifers

Species	Trees	Ratio of late- to early-wood	Tracheid		Height of ray (No. of cells)
			Tangential diameter (μm)	Tangential wall thickness (μm)	
<i>Pinus densiflora</i>	Normal	1 : 0.4	30.1 \pm 3.0	3.0 \pm 0.5	11.5 \pm 1.9
	Dwarf	1 : 0.9	24.7 \pm 2.3	4.6 \pm 0.6	10.2 \pm 1.6
<i>Pinus thunbergii</i>	Normal	1 : 0.3	37.0 \pm 4.0	3.9 \pm 0.5	14.8 \pm 2.4
	Dwarf	1 : 0.7	31.0 \pm 4.0	4.6 \pm 0.6	10.5 \pm 2.3
<i>Juniperus rigida</i>	Normal	1 : 0.2	20.6 \pm 2.8	3.4 \pm 0.5	9.5 \pm 1.2
	Dwarf	1 : 0.7	20.3 \pm 2.8	3.9 \pm 0.8	9.2 \pm 1.4

Table 4. Characteristics of vessel elements in some angiosperms

Species	Tangential diameter (μm)		Wall thickness (μm)		Length (μm)		No./mm ²		Mesomorphy*	
	NT	DT	NT	DT	NT	DT	NT	DT	NT	DT
<i>Alnus hirsuta</i>	78.9± 7.9	68.5± 6.6	2.8± 0.6	2.5± 0.4	595.0	532.5	94.3	119.9	498	304
<i>Quercus variabilis</i>	219.0± 14.8	144.9± 12.0	5.1± 1.3	4.9± 1.2	313.0	303.8	26.8	28.6	2558	1539
<i>Zelkova serrata</i>	215.9± 16.3	189.1± 17.4	4.8± 0.9	4.0± 0.9	183.0	161.7	10.9	21.5	3625	1422
<i>Lindera obtusiloba</i>	59.9± 3.5	56.7± 5.5	4.3± 1.0	4.9± 0.7	347.3	287.3	65.4	80.4	318	203
<i>Prunus serrulata</i> var. <i>spontanea</i>	52.1± 44.9	44.4± 22.9	2.5± 0.4	2.3± 0.4	328.3	305.3	271.7	380.7	63	36
<i>Albizia julibrissin</i>	235.1± 23.0	179.1± 18.2	3.8± 0.7	4.3± 0.4	217.2	190.8	13.9	26.6	3674	1285
<i>Lespedeza maximowiczii</i>	121.8± 7.6	71.6± 8.3	3.6± 0.7	3.6± 0.6	144.2	133.3	150.3	204.8	117	47
<i>Fraxinus sieboldiana</i>	145.5± 16.3	128.1± 10.9	2.9± 0.7	3.1± 0.7	258.6	211.5	57.4	68.0	656	398
<i>Callicarpa japonica</i>	49.9± 15.8	41.4± 4.1	3.6± 0.7	4.8± 0.7	420.3	335.3	143.5	142.6	137	97

NT, Normal trees; DT, Dwarf trees.

$$*Mesomorphy = \frac{\text{mean vessel diameter} \times \text{mean vessel element length}}{\text{mean number of vessels per mm}^2 \text{ transection}}$$

Table 5. Anatomical characteristics of woods in some angiosperms

Species	Fiber (μm)				Ray	
	Tangential diameter		Wall thickness		Height (No. of cells)	
	NT	DT	NT	DT	NT	DT
<i>Alnus hirsuta</i>	24.6± 3.3	22.2± 2.3	2.8± 0.2	2.8± 0.4	25.6± 4.5	22.4± 3.9
<i>Quercus variabilis</i>	16.6± 2.9	16.6± 2.8	3.9± 0.9	3.8± 0.9	4336.0± 2439.6	3614.0± 1439.0
<i>Zelkova serrata</i>	15.9± 1.9	11.9± 1.0	4.3± 0.5	4.6± 0.6	35.2± 5.7	28.1± 5.5
<i>Lindera obtusiloba</i>	19.0± 2.5	16.9± 2.6	2.4± 0.5	2.2± 0.4	38.3± 6.3	35.5± 7.0
<i>Prunus serrulata</i> var. <i>spontanea</i>	14.9± 2.3	12.9± 1.7	1.8± 0.3	2.4± 0.5	43.3± 6.6	37.9± 6.1
<i>Albizia julibrissin</i>	20.7± 2.2	19.3± 2.1	1.7± 0.3	2.0± 0.4	26.6± 6.2	25.5± 3.9
<i>Lespedeza maximowiczii</i>	8.8± 1.9	9.8± 2.1	3.3± 0.3	3.5± 0.7	46.9± 12.4	44.5± 10.3
<i>Fraxinus sieboldiana</i>	16.2± 2.0	14.4± 2.5	1.1± 0.2	2.3± 0.4	24.0± 3.6	22.9± 2.3
<i>Callicarpa japonica</i>	13.9± 2.1	14.3± 2.4	4.1± 0.7	2.6± 0.4	48.9± 14.1	42.2± 11.3

NT, Normal trees; DT, Dwarf trees.

植物에 있어서 역륜 경계부는 뚜렷하게 구별되었으나 秋材의 발달이 아주 빈약하기 때문에 春秋材의 구분이 명확하지 않았으므로 春秋材의 비는 고려할 수 없었다(Figs. 2-4).

소나무의 假導管 접선직경에 있어서 正常個體(30.1 μm)는 矮小個體(24.7 μm)보다 더 컸으나, 假導管의 접선벽 비후에 있어서는 正常個體(3.8 μm)가 矮小個體(4.6 μm)에 비해 더 박벽이었다(Table 3). 곰솔과 노간주나무에서도 소나무와 같이 假導管의 접선직경은 正常個體에서 더 크게 나타났고, 접선벽비후도 矮小個體에 비해 正常個體에서 더 박벽으로 나타났다.

導管要素의 접선직경에 있어 正常個體는 46.9 μm(작살나무)에서 235.1 μm(자귀나무)의 범위이고, 矮小個體는 41.4

μm(작살나무)에서 189.1 μm(느티나무) 범위로서, 모든 種에서 正常個體가 矮小個體보다 더 크게 나타났다(Table 4). 한편, 導管要素의 접선벽 비후는 正常個體가 2.5 μm(벗나무)에서 5.1 μm(굴참나무)의 범위였고, 矮小個體는 2.3 μm(벗나무)에서 4.9 μm(굴참나무) 범위였다. 그 중 물오리나무, 굴참나무, 느티나무, 벗나무에서는 正常個體가 矮小個體에 비해 후벽이었고, 조록싸리는 양 個體 모두 3.6 μm로 같게 나타났으나 나머지 種에서는 반대로 矮小個體가 더 후벽이었다. 導管要素의 단위면적당 분포수는 正常個體의 경우 10.9개(느티나무)에서 271.7개(벗나무)의 범위였고, 矮小個體는 21.5개(느티나무)에서 380.7개(벗나무)의 범위로서, 모든 種에서 正常個體에 비해 矮小個體가 더 많은 수적 분포를 보였다. 그리고 導管要素를 중심으로 한

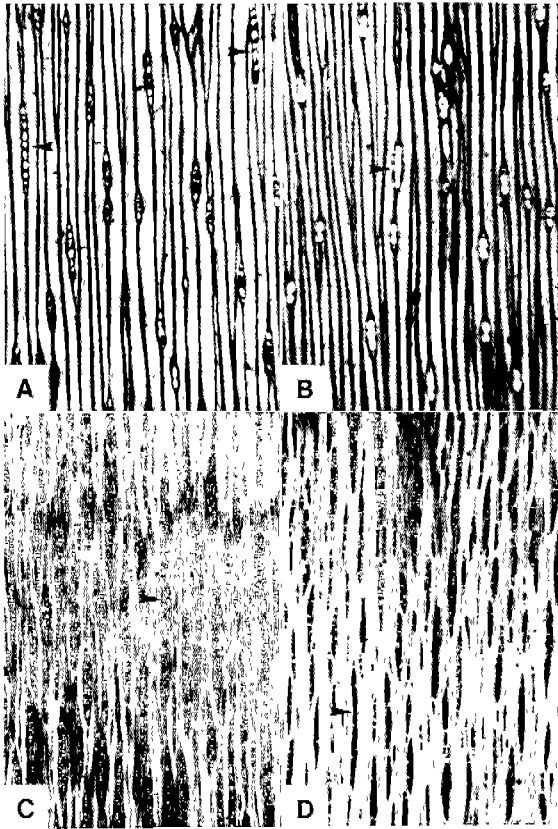


Fig. 5. Tangential sections of stem of normal (A, C) and dwarf trees (B, D) showing height of ray (No. of cells). A, B, *Pinus densiflora*. $\times 81$. C, D, *Prunus serrulata* var. *spontanea*. $\times 43$.

mesomorphy(Carlquist, 1977a, b, c)를 測定해 본 結果 正常個體는 63(벗나무)에서 3674(자귀나무)의 범위였고, 矮小個體는 36(벗나무)에서 1539(굴참나무)의 범위로서, 모든 種에서 正常個體가 矮小個體보다 mesomorphy의 정도가 높았다.

纖維의 接線직경은 正常個體가 8.8 μm (조록싸리)에서 24.6 μm (물오리나무)의 범위였고 矮小個體는 9.8 μm (조록싸리)에서 22.2 μm (물오리나무) 범위였다(Table 5). 조록싸리와 작살나무를 제외한 7種에서는 矮小個體에 비해 正常個體에서 더 크게 나타났다. 한편 纖維의 接線벽 비후는 正常個體에서 1.1 μm (쇠물푸레)에서 4.3 μm (느타나무)의 범위였고, 矮小個體에서는 2.0 μm (자귀나무)에서 4.6 μm (느타나무) 범위였다(Table 5). 물오리나무는 兩 個體 모두 같은 壁肥厚를 보였으나, 굴참나무, 생강나무 및 작살나무는 正常個體에서, 느타나무, 벗나무, 자귀나무, 조록싸리 및 쇠물푸레는 矮小個體에서 더 후벽인 특징을 보였다.

放射組織의 높이(細胞數)에 있어 裸子植物의 경우 正常

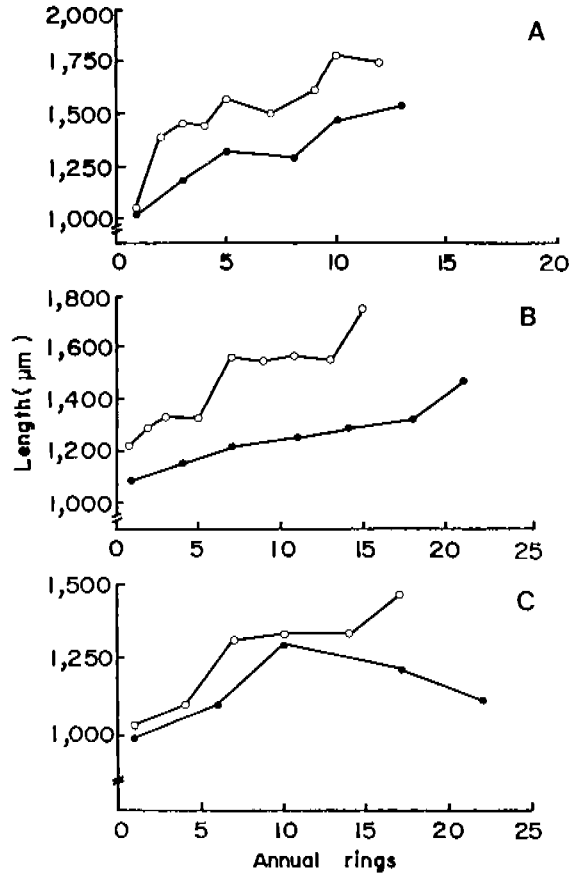


Fig. 6. Variations in the length of tracheids from pith to peripheral region. A, *Pinus densiflora*; B, *Pinus thunbergii*; C, *Juniperus rigida*; O-O, Stem of normal trees; ●-●, Stem of dwarf trees.

個體는 9.5개(노간주나무)에서 14.8개(곰솔)의 범위였고, 矮小個體는 9.2개(노간주나무)에서 10.5개(곰솔)의 범위로서 3種 모두 正常個體가 矮小個體보다 더 높게 나타났다(Fig. 5A, B; Table 3). 雙子葉植物의 경우 正常個體에서는 24.0개(쇠물푸레)에서 4336.0개(굴참나무)의 범위였고, 矮小個體에서는 22.4개(물오리나무)에서 3614.0개(굴참나무)의 범위였다(Fig. 5C, D; Table 5). 그러므로 모든 種에서 正常個體는 矮小個體의 것보다 더 높은 放射組織을 보여 주었다.

나자식물 二期木部の 수부위에서 주변 연륜부위까지의 假導管의 길이 변이를 보면(Figs. 6, 7; Table 6) 正常個體의 假導管 길이는 1033.7 μm (노간주나무)에서 1784.1 μm (소나무)의 범위로서 矮小個體의 998.0 μm (노간주나무)에서 1569.1 μm (소나무)보다 더 길게 나타났다(Fig. 6). 소나무, 곰솔 및 노간주나무 정상개체에서는 연륜이 증가하면서 假導管의 길이가 점점 증가하는 추세였으나, 노간주나무

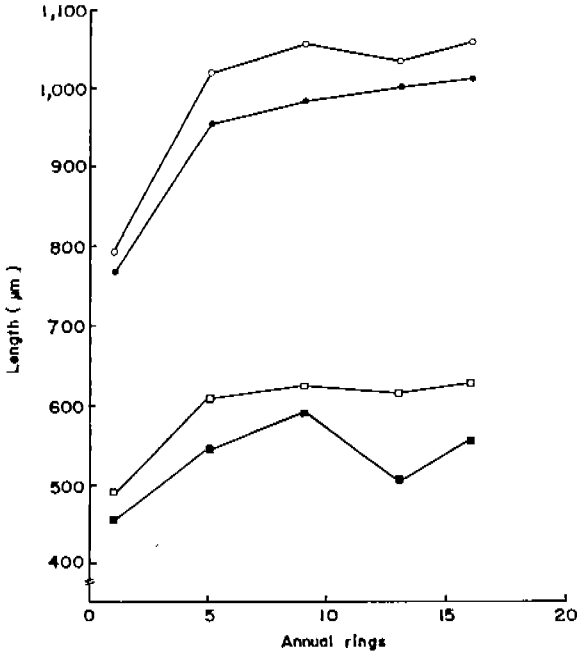


Fig. 7. Variations in the length of vessel elements (□, ■) and fibers (○, ●) from pith to peripheral region in *Alnus hirsuta* wood. ○-○, □-□, Normal trees; ●-●, ■-■, Dwarf trees.

왜소개체에서는 초기 생장시 증가하다가 점차 감소하는 경향을 보였다. 피자식물 7종의 導管要素의 길이 변이는 정상개체(113.0 µm, 조록싸라-628.1 µm, 물오리나무)에서 왜소개체(102.9 µm, 조록싸라-593.0 µm, 물오리나무)의 것보다 더 길게 나타났다(Fig. 7; Table 6). 연륜증가에 따른

도관요소 길이 변이는 물오리나무에서 초기 생장시 증가하다가 일정한 길이를 나타냈고, 느티나무, 쇠물푸레 및 작살나무의 양 개체와 자귀나무의 왜소개체는 연륜이 증가해도 다소 일정했다. 생강나무와 뱀나무의 양 개체 그리고 자귀나무의 정상개체는 연륜 증가에 따라 도관요소의 길이가 다소 증가하였으나, 조록싸라는 반대로 다소 감소하였다. 또한 굴참나무는 정상개체에서 왜소개체의 도관요소보다 평균치가 높았으나, 초기생장과 10년차 연륜부에서는 정상개체에서 더 짧게 나타났다. 纖維의 길이는 왜소개체(592.7 µm, 굴참나무-1104.4 µm, 느티나무)보다 정상개체(695.1 µm, 조록싸라-1389.5 µm, 느티나무)에서 더 길게 나타났다. 이 纖維의 길이 변이는 모든 수증에서 연륜 증가에 따라 길어지는 추세였다.

考 察

왜소개체의 연륜폭이 정상개체에 비해 좁은 것은 여름

旱魃의 정도와 비례한다는 보고와 유사한 경향이었으며 (Bass et al., 1984; Studhalter et al., 1963), 왜소개체와 정상개체의 肥大生長에 있어서 초기생장이 후기생장보다 차이가 적게 나타나는 것은 양 개체 모두 幼植物일 경우 소량의 養分이나, 水分으로도 정상적인 생장이 가능했기 때문인 것으로 사료된다(Bass et al., 1984). 각 연륜내에서 정상개체의 것보다 왜소개체에서 春材에 대한 秋材의 비가 더 높았다. 이와 같은 현상은 특히 수분스트레스를 받고 자란 수증을 대상으로 한 연구 결과와 유사한 경향이었다 (Zahner, 1962, 1968; Creber and Chaloner, 1984). 假導管, 導管 및 纖維의 接線直徑이 정상개체에서 더 크게 나타난 것은 (Tables 3, 4, 5), 빠른 肥大生長으로 인한 둘째 증가가 紡錘形原始細胞의 垂層分裂에 의존할 가능성 (Philipson et al., 1971). 또는 충분한 수분 공급이 세포내 높은 膨壓을 유지시켜서 세포의 신장이나 壁肥厚에 영향을 미칠 가능성으로 예상된다(Whitmore and Zahner, 1967). 세포벽 비후는 1차벽 내측에 벽물질이 추가됨으로써 형성된 이차벽의 물질은 세포의 중앙부에서 먼저 침전되기 시작하여 세포의 끝부위를 향해서 계속 축적된다(Panshin and de Zeeuw, 1980). 이러한 木質化가 일어난 후에 원형질은 소실되고 壁肥厚는 완성된다. 또한 세포의 壁肥厚는 강한 역압에도 견딜 수 있는 기계적인 힘을 제공하는데, 秋材의 假導管은 더욱 좁은 직경과 더 비후된 벽을 가지고 있어서 春材보다 더욱 큰 기계적 힘을 보유한다(Carlquist, 1975, 1980). 따라서 본 연구에 사용된 裸子植物 중에서 왜소개체가 정상개체보다 假導管의 벽이 비후된 것은 왜소개체에서 水分缺乏에 따른 역압을 견디기 위해 秋材의 비가 더욱 증가되었기 때문인 것으로 사료된다. 그런데 피자식물 중에서 그 관계가 불일치한 것은 정상개체 및 왜소개체 모두에서 거의 식별할 수 없을 정도로 秋材가 매우 적게 형성된 결과로 추정된다. Carlquist(1977a, b, c)는 導管要素의 구조와 生態環境, 특히 토양수분과 연관지어 mesomorphy의 정도를 수식화했다. 즉,

$$\text{mesomorphy} = \frac{\text{mean vessel diameter} \times \text{mean vessel element length}}{\text{mean number of vessels per mm}^2 \text{ transection}}$$

따라서 정상개체의 導管要素가 왜소개체의 것보다 더 길고 넓었으며, mm²당 導管數가 적게 나타났기 때문에 그 mesomorphy의 정도는 정상개체에서 더 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 정상개체가 왜소개체보다 더욱 원활한 수분공급에 의한 더욱 좋은 환경조건하에서 생육하였기 때문인 것으로 사료된다(Zimmermann, 1982). 세포수로 측정된 放射組織의 높이는 정상개체에서 왜소개체의 것보다 높게 나타났다(Tables 3, 5). 이와 같은 경향은 더욱 안정된 조건에 처한 뿌리에서 줄기보다 방사조직원시세포

Table 6. Length of fibers and vessel elements in some annual rings from pith to peripheral region

Species	Pith region ← → Peripheral region (μm)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
<i>Quercus variabilis</i>	NTF	795.7±89.6	919.2±113.6	1004.5±95.5	1053.2±107.5	1095.8±115.1	1050.0±132.7		
	DTF	592.7±75.1	667.7±76.8	794.6±73.5	918.8±94.2	974.9±89.1			
	NTV	288.2±53.0	315.9±58.3	306.6±46.8	296.2±87.3	338.5±47.0	320.0±57.3		
	DTV	317.2±55.8	278.5±57.0	298.4±57.2	307.5±52.3	317.2±43.7			
<i>Zelkova serrata</i>	NTF	815.4±70.5	1006.0±111.2	1149.2±143.8	1153.9±130.5	1228.8±139.8	1270.1±116.4	1331.3±125.2	1389.5±129.1
	DTF	814.7±116.3	863.2±80.3	913.1±122.3	983.8±124.7	1003.7±138.6	1104.4±184.4		
	NTV	187.4±35.9	182.8±23.3	178.3±19.4	185.2±24.4	176.3±23.3	185.5±17.9	191.3±21.7	186.4±20.1
	DTV	179.8±30.0	161.8±33.6	141.0±40.0	179.8±22.9	162.9±30.4	149.6±42.6		
<i>Lindera obtusiloba</i>	NTF	757.4±80.2	796.6±52.9	825.2±54.7	855.9±63.7	884.8±65.8	926.6±78.9		
	DTF	662.5±63.6	728.2±58.6	764.7±88.8	793.9±46.7				
	NTV	341.4±75.8	336.4±73.2	338.3±73.1	338.2±56.3	376.1±94.5	371.9±59.4		
	DTV	272.6±51.3	280.8±48.9	279.8±51.8	304.8±50.5				
<i>Prunus serrulata</i> var. <i>spontanea</i>	NTF	704.0±71.7	726.7±59.7	828.0±99.8	842.7±77.2				
	DTF	640.9±71.4	755.5±70.9	870.7±75.4	850.5±73.7				
	NTV	285.5±56.1	344.0±39.3	367.3±43.3	367.3±49.1				
	DTV	276.2±45.6	309.3±49.3	314.7±59.8	319.7±53.8				
<i>Albizia julibrissin</i>	NTF	697.1±57.5	731.9±67.8	799.4±57.6	826.5±59.6	837.9±58.7	875.4±62.4		
	DTF	672.3±58.7	721.9±64.5	756.7±58.8	706.1±59.2	823.1±81.6	807.2±64.4		
	NTV	181.4±49.5	216.0±59.0	216.8±59.7	218.4±56.2	205.5±67.3	258.1±37.3		
	DTV	204.4±65.3	232.4±62.3	169.0±46.7	188.2±48.2	169.7±39.5	192.7±13.9		
<i>Lespedeza maximowiczii</i>	NTF	695.1±61.6	838.1±84.9	872.0±82.3	913.0±87.0	902.5±52.4			
	DTF	713.3±58.6	783.4±69.9	827.5±91.5					
	NTV	188.9±47.6	139.8±21.8	135.9±19.5	123.2±19.6	113.0±19.6			
	DTV	154.8±31.2	136.8±21.9	102.9±18.8					
<i>Fraxinus sieboldiana</i>	NTF	753.8±73.2	792.4±64.8	878.8±63.6	912.3±77.0	1008.9±80.2	975.2±89.4	982.4±83.1	
	DTF	619.3±64.4	692.0±55.0	743.7±61.3	820.2±103.8	833.7±60.7	871.6±88.6	743.1±69.1	746.3±57.7
	NTV	273.3±56.4	270.0±60.0	228.6±42.1	254.7±40.7	279.7±48.5	278.3±40.7	239.7±39.8	
	DTV	276.9±88.1	213.1±44.8	227.5±40.9	209.6±43.2	194.2±38.5	200.2±37.6	190.6±38.1	197.0±35.5
<i>Catalpa japonica</i>	NTF	822.0±64.5	879.3±64.4	902.1±78.6	945.3±89.5				
	DTF	793.7±80.9	801.5±78.6	838.9±77.6	910.0±78.4				
	NTV	414.5±101.7	416.2±71.1	439.2±70.7	408.5±61.7				
	DTV	348.0±69.2	334.8±80.5	345.4±84.6	309.0±58.3				

NTF, Normal trees, fibers; DTF, Dwarf trees, fibers; NTV, Normal trees, vessel elements; DTV, Dwarf trees, vessel elements.

의 소실이 적으므로 더욱 큰 방사조직을 갖는다는 보고와 유사한 경향이며(Fegel, 1938; Esau, 1953), 형성층원시세포의 수층분열 후 더욱 높은 방사조직과 접한 세포가 더 큰 세포로 신장하여 존재할 수 있다는 견해도 일치된다(Bannan, 1956). 通水要素 및 纖維의 길이는 모두 正常個體에서 矮小個體의 것보다 더 길게 나타났다. 이러한 결과는 생육조건이 좋은 환경에서 자란 개체가 通水要素 및 섬유유 길이가 길다는 보고와 일치하는 경향이다(Taylor, 1974; Baas *et al.*, 1983, 1984). 2기목부의 수 부위에서 주변 연륜부위까지의 肥大生長과정에서 假導管이나 纖維의 길이는 점점 증가하는 추세였으나 導管要素의 길이 변이 양상은 일정하지 않았는데, 이는 정상생장을 한 다른 식물의 경우와 일치하였다(Dinwoodie, 1963; Taylor, 1974; Baas *et al.*, 1984; Iqbal and Ghouse, 1982; Mahmoodzafza and Iqbal, 1986).

이상의 결과에서 정상개체에 비해 왜소개체에서 通水要素 및 섬유유 길이가 짧고 좁은 폭을 나타낸 것은 巖上에서 수분결핍과 같은 환경스트레스를 받아 정단생장의 둔화와 형성층원시 세포의 활성도가 극히 낮아서 극도로 느린 생장을 했기 때문으로 사료된다. 그러나 通水要素 및 纖維의 길이 변이에 대한 주원인이 形成層原始細胞 자체에서 기인되는 것인지 또는 通水要素 및 纖維의 분화과정의 차이에서 기인되는 것인지에 대한 연구결과는 아직 보고된 바 없다. 따라서 通水要素 및 纖維의 길이 변이의 원인은 환경조건에 따른 形成層原始細胞의 분화와 연관지어 밝혀야 할 것으로 사료된다.

摘 要

본 연구는 自然狀態에서 자란 12종의 矮小個體에 있어 목부구조의 변이에 대한 왜소생장의 영향을 검토하였다. 通水要素 및 纖維의 길이와 接線直徑이 正常個體보다 矮小個體에서 더 짧고 좁게 나타났다. 放射組織의 높이도 正常個體보다 矮小個體에서 낮았다. 동일 연륜의 放射幅과 연륜내 세포수는 正常個體보다 矮小個體에서 좁고 적었다. 松柏類에서 春材에 대한 秋材의 비는 正常個體보다 矮小個體에서 높게 나타났다. 被子植物의 導管要素의 mesomorphy 정도는 正常個體보다 矮小個體에서 낮았다. 이와 같이 왜소생장은 수분결핍과 같은 環境要因에 의해 극도로 느린 생장을 한 결과로 해석된다.

參 考 文 獻

Baas, P., E. Werker and A. Fahn. 1983. Some ecological trends in vessel characters. *IAWA Bull. n. s. 4*: 141-159.
 Baas, P., L. Chenglee, Z. Xinying, C. Keming and D. Yuefen. 1984. Some effects of dwarf growth on wood structure.

IAWA Bull. n. s. 5: 45-63.
 Bannan, M. W. 1956. Some aspects of the elongation of fusiform cambial cells in *Thuja occidentalis*. *Can. J. Bot.* **34**: 175-196.
 Berlyn, G.P. and J.P. Miksche. 1976. Botanical Microtechnique and Cytochemistry. The Iowa State Univ. Press, Ames, Iowa. pp. 128-129.
 Bissing, D.R. 1982. Variation in qualitative anatomical features of the xylem of selected dicotyledonous woods in relation to water availability. *Bull. Torrey Bot. Club* **109**: 371-384.
 Carlquist, S. 1975. Ecological Strategies of Xylem Evolution. Berkeley, Los Angeles and London. Univ. of California Press. pp. 83-227.
 Carlquist, S. 1977a. Ecological factors in wood evolution: a floristic approach. *Am. J. Bot.* **64**: 887-896.
 Carlquist, S. 1977b. Wood anatomy of Onagraceae: additional species and concepts. *Ann. Missouri Bot. Gard.* **64**: 627-637.
 Carlquist, S. 1977c. Wood anatomy of Penaeaceae (Myrtales): Comparative, phylogenetic and ecological implications. *Bot. J. Linnean Soc.* **75**: 211-227.
 Carlquist, S. 1980. Futher concepts in ecological wood anatomy, with comments on recent work in wood anatomy and evolution. *Aliso* **9**: 499-553.
 Creber, G.T. and W.G. Chaloner. 1984. Influence of environmental factors on the wood structure of living and fossil trees. *Bot. Rev.* **50**: 357-448.
 Dinwoodie, J.M. 1961. Tracheid and fiber length in timber: A review of literature. *Forestry* **34**: 125-144.
 Dinwoodie, J.M. 1963. Variation in tracheid length in *Picea sitchensis* Carr. Forest Products Research. Special Report No. 16. pp. 1-55.
 Doley, D. and L. Leyton. 1970. Effects of growth regulating substances and water potential on the development of wound callus in *Fraxinus*. *New Phytol.* **69**: 87-102.
 Esau, K. 1953. Plant anatomy. John Wiley and Sons, Inc., New York. 735 pp.
 Fahn, A. 1964. Some anatomical adaptations of desert plants. *Phytomorphology* **14**: 93-102.
 Fegel, A.C. 1938. A comparison of the mechanical and physical properties and the structural features of root-, stem- and branchwood. Ph. D. thesis, New York State Col. For., Syracuse Univ. 66 pp.
 Forsaith, C.C. 1920. Anatomical reduction in some alpine plants. *Ecology* **1**: 124-137.
 Iqbal, M. and A.K.M. Ghouse. 1982. Environmental influence on growth activities of *Prosopis spicigera*. In, Improvement of Forest Biomass, P.K. Khosla (ed.). ISTS, Solan. pp. 387-393.
 Larson, P.R. 1963. The indirect effect of drought on tracheid diameter in red pine. *Forest. Sci.* **9**: 52-62.
 Lawton, R.O. 1984. Ecological constraints on wood density

- in a tropical montane rain forest. *Am. J. Bot.* **71**: 261-267.
- Mahmooduzzafar and M. Iqbal. 1986. Variation in size and amount of wood elements across and within the growth rings in *Terminalia tomentosa*. *Flora* **178**: 191-196.
- Oever, L. van den, P. Baas and M. Zandee. 1981. Comparative wood anatomy of *Symplococus* and latitude and altitude of province. *IAWA Bull. n. s.* **2**: 3-24.
- Panshin, A.J. and C. de Zeeuw. 1980. Textbook of Wood Technology. McGraw-Hill Book Co. pp. 55-666.
- Philipson, W.R., J.M. Ward and B.G. Butterfield. 1971. The vascular cambium-its development and activity-. Chapman and Hall LTD. pp. 1-75.
- Sass, J.E. 1971. Botanical Microtechnique. The Iowa State Univ. Press, Ames, Iowa. pp. 91-98.
- Studhalter, R.A., W.S. Glock and S.R. Agerter. 1963. Tree growth-some historical chapters in the study of diameter growth. *Bot. Rev.* **29**: 245-365.
- Taylor, F.W. 1974. Differences in the wood of *Eucalyptus grandis* grown in different parts of South Africa. *South African Forestry J.* **91**: 14-18.
- Whitmore, F.W. and R. Zahner. 1966. Development of the xylem ring in stems of young red pine trees. *Forest Sci.* **12**: 198-210.
- Whitmore, F.W. and R. Zahner. 1967. Evidence for a direct effect of water stress in the metabolism of cell wall in *Pinus*. *Forest Sci.* **13**: 397.
- Zahner, R. 1962. Terminal growth and wood formation by juvenile loblolly pine under two soil moisture regimes. *Forest Sci.* **8**: 345-352.
- Zahner, R. 1968. Water deficits and growth of trees. In, Water Deficits and Plant Growth, T.T. Kozlowski (ed.). Academic Press, New York. pp. 191-254.
- Zahner, R., J.E. Lotan and W.D. Baughman, 1964. Earywood-latewood features of red pine grown under simulated drought and irrigation. *Forest Sci.* **10**: 361.
- Zimmermann, M.H. 1982. Functional xylem anatomy of angiosperm trees. In, New Perspectives in Wood Anatomy, P. Baas (ed.). Nijhoff/Junk, The Hague-Boston. pp. 59-70.

(1990. 9. 29 接受)