

인삼 (*Panax ginseng* C.A. Meyer)의 도관요소

鄭炳甲·朴鍾德·劉成哲·金宇甲

(고려대학교 이과대학 생물학과)

Vessel Elements of *Panax ginseng* C.A. Meyer

Jeong, Byung-Kap, Jong-Duk Park, Seong-Cheol Yu
and Woo-Kap Kim

(Department of Biology, Korea University, Seoul)

ABSTRACT

Vessel elements in lateral root, tap root, transition region, stem and mid vein of 1-year old, 3-year old and 5-year old ginseng (*Panax ginseng* C.A. Meyer) are studied with light microscope to clarify the distribution and differentiation of several kinds of vessel elements. Vessel elements are classified into five types such as ring vessel, spiral vessel, scalariform vessel, reticulate vessel and pitted vessel according to the secondary thickenings of cell wall. All of the five types are not observed in each organ, but diverse kinds of vessels are present in stem and mid vein compared with the underground organs such as tap root and lateral root. The length of vessel elements is longest ($680\ \mu\text{m}$) in stem and shortest ($143\ \mu\text{m}$) in tap root. The diameter of vessel elements is $19.0\ \mu\text{m}$ in tap root and the angle of perforation plate comes under 22° - 60° .

The degree of differentiation of vessel elements according to the length, diameter and angle of perforation plate of vessel elements is highest in tap root regardless of the age of ginseng. Three types of perforation plate such as scalariform, intermediate type of simple and scalariform, and simple perforation plate are observed. The vascular tracheids are characteristically observed in mid vein of 1-year old ginseng, and in transition region of 3 and 5-year old ginseng.

緒 論

관속식물의 통도요소는 목부조직 중에서 고도로 특수화된 세포집단으로서 용해된 무기염류와 수분의 통도기능을 수행하며 개개의 도관절 사이에 천공이 있어서 이곳으로 수분이 통도되는 것을 도관이라 하고 천공이 없어서 측벽에 있는 막공을 통하여 통도기능이 이루어지고 있는 것을 가도관이라 한다 (Esau, 1977).

도관은 2차벽의 비후로 측벽에 일정한 무늬를 나타내게 되는데 이에 따라서 환문도관, 나선문도관, 계문도관, 망문도관, 공문도관 등으로 구분되며 (Esau, 1977; Jeong, 1983), 이 무늬의 형태가 분명하지 않아서 중간형도 많이 관찰된다고 알려진 바 있다 (Esau, 1977). 2차벽의

형성은 ER과 Golgi complex에서 유래된 vesicle이 원형질막과 융합하여 vesicle내의 물질을 세포벽에 집적시킴으로써 일어난다는 보고가 있으나 (Pickett-Heaps, 1968), 세포벽 형성에는 microtubule도 관여하며 그 정확한 기작에 관해서는 더 확인해야 할 필요가 있다(Esau, 1977).

도관요소에 관한 연구는 *Gnetum*에서 도관의 종류 (Carlquist, 1975; Takhtajan, 1980), *Juglans*에서 망문상 비후 (Miller, 1976), *Pinus*의 가도관 (Woodzicki and Brown, 1973), *Roridula gorgonias*와 *Roridula dentata*의 도관절 길이와 천공관의 형태비교 (Carlquist, 1976), 상처입은 도관의 분화 (Turgeon, 1975), *Ricinus*도관의 분화 (Scott et al., 1960), *Eucryphia* 5종에 대한 도관의 비교해부학적 관찰 (Dickinson, 1978), *Pinus*의 광주기 조절에 따른 가도관 지름 변화 (Larsen, 1962), *Glycine max* (Byrne et al., 1977)와 *Lycopersicon esculentum*의 주근과 측근 사이의 유관속 연결 (Byrne and Emmitt, 1982), *Caryetomentosae*의 도관 지름 변화 (Hill, 1983), 피자식물 1350종을 대상으로 도관요소에 관한 개체발생학적 연구 (Bierhorst and Zamora, 1965) 등이 있다.

또한 도관에 관한 전자현미경적 연구는 Grierson (1976)이 화석종인 *Leclercqia complexa*를 재료로 수행하였으며 Muhammad와 Sattler (1982)는 피자식물 수종을 재료로 막공 및 천공의 형태를 자세히 구분하였다.

한편 도관의 형태를 형질로 이용한 분류학적 연구는 Liliaceae (Cheadle and Kosakai, 1971), Malvaceae (Inamdar et al., 1983), Cyperaceae (Cheadle and Kosakai, 1972)등에서 이루어 졌는데 Cheadle과 Kosakai (1971, 1972, 1975)는 도관의 분화정도에 따라 종간의 유연관계를 알 수 있다고 보고하였다.

가도관에 관해서는 Metcalfe (1971)가 단자엽식물의 도관절 사이에서 관찰된다고 보고했으며 Esau (1965)는 가도관이 나자식물의 주요 통도요소이나 *Aristolochia*, *Ephedra* 등에서도 관찰된다고 보고한 바 있다. 또한 Carlquist (1961)는 천공이 없는 도관을 관속가도관(vascular tracheid)이라하고 국화과 (Compositae)와 선인장과 (Cactaceae)에서 관찰됨을 밝혔다.

이상과 같이 도관요소에 관해서는 식물체의 어느 한 기관을 대상으로 분류학적 연구 및 비교해부학적 연구는 많이 수행되었으나 각 기관별 도관요소의 형태 및 각 종류별 분포양상에 관하여는 연구된 바 없다.

인삼은 그 분류학적 위치가 산형화목 (Umbellales)에 속하는 두릅나무과(Araliaceae)에 해당되는 바, Metcalfe와 Chalk (1975)는 두릅나무과에 속하는 식물에는 환문도관과 나선문도관만이 관찰되며 단일천공이 대부분이고 계문상 천공이 간혹 관찰된다고 보고하였다. 또한 인삼의 특정기관에 대한 미세 구조에 관한 연구는 많이 이루어 졌으나 (Kim et al., 1972; Kim, 1973; Kim et al., 1979; Kim and Kim, 1980; Jeong et al., 1983; Kim et al., 1984; Kim and Kim, 1984; Jeong and Kim, 1985; Kim and Jeong, 1984; Kim et al., 1986), 도관요소에 관해서는 연구된 바 없으므로 본 연구에서는 도관의 종류, 도관절의 길이, 지름, 천공관의 각도, 도관절의 부피등을 측정하여 도관의 분화정도를 밝히고 각 기관별 도관절의 분포와 형태 등을 밝히고자 실험을 실시하였다.

材料 및 方法

충남 금산 근교에서 재배되고있는 1년생, 3년생, 5년생 인삼 (*Panax ginseng* C.A. Meyer)의

측근, 주근, 뿌리와 줄기의 이행부위, 줄기 및 주맥등을 적당한 크기로 잘라서 10% neutral buffered formalin에 1시간 고정시킨 다음 10% chromic acid 와 10% nitric acid 를 1:1의 비율로 섞은 Jeffery's solution 을 사용하여 60°C에서 30분간 해리시켰다.

증류수에 수차례 씻은다음 1% safranin 에 5분간 염색하여 일부는 20% glycerine에 저장해 두고 squash하여 관찰하였고 일부는 ultrasoncr를 이용하여 완전히 해리시킨 다음 여러차례 원심분리하여 도관만을 얻었고 glycerine에 저장한 후 관찰하였다.

도관의 형태구분은 Esau (1977) 및 Jcong (1983)의 방법에 따랐으며 천공관의 각도는 측근, 주근, 뿌리와 줄기의 이행부위에서만 측정하였고 도관절의 길이는 계문도관, 망문도관만을 대상으로 각각 50개 이상을 측정하여 평균값을 구하였고 도관절의 길이와 지름을 근거로하여 부피를 계산하였다.

結 果

1. 1년생

측근, 주근 및 뿌리와 줄기의 이행부위에서는 나선문도관 (Figs. 1, 5 and 9), 계문도관 (Figs. 4, 6, 7 and 10) 및 망문도관 (Figs. 3, 8, 11 and 12)이 관찰되고 있으며 그 구별이 확실하지 않아서 중간형태도 관찰되고있다. 또한 줄기와 주맥에서는 환문도관 (Figs. 13 and 17), 나선문도관 (Figs. 14 and 17), 계문도관 (Figs. 15 and 18), 망문도관 (Figs. 16 and 19)이 관찰되었고 환문도관과 나선문도관이 동일한 도관절에서 관찰되기도 하였다 (Fig. 17. 화살표). 나선문도관은 동일한 도관끼리 (Figs. 9 and 14) 혹은 계문도관 (Fig. 18)과 접하여 관찰되었다. 또한 주맥에서는 가도관 (Fig. 20)이 존재하였으며 천공관은 단일천공 (Figs. 3, 6, 7, 11 and 16), 계문상 천공 (Figs. 12 and 15) 및 그 중간형 (Figs. 8 and 10)도 관찰되고있다.

도관절의 길이는 줄기에서 642 μm 로 가장 길었고 주근에서는 줄기의 $\frac{1}{4}$ 정도인 152 μm 였으며 도관절의 지름은 9~14 μm 였으나 주근에서 가장 크게 나타났다 (Table I).

2. 3년생

측근, 주근, 뿌리와 줄기의 이행부위에서는 계문도관 (Figs. 22, 23 and 25), 망문도관 (Figs. 21, 24 and 26)만이 관찰되며 줄기와 뿌리의 이행부위에서는 가도관 (Fig. 27)도 관찰되고있다. 또한 줄기에서는 나선문도관 (Fig. 28), 계문도관 (Fig. 29), 망문도관 (Fig. 30), 망문도관과 공문도관의 중간형 (Fig. 31), 공문도관 (Fig. 32)등이 관찰되고 있으며 주맥에서는 환문도관 (Fig. 33), 나선문도관 (Fig. 34), 계문도관 (Fig. 35), 망문도관 (Fig. 36)등이 관찰되고 있다. 줄기의 망문도관 (Fig. 30)은 막공의 수가 계문도관에 비해 현저히 줄어들었고 일열로 배열되어 있으며 이러한 변화는 공문도관 (Fig. 32)에서는 소수의 막공만 관찰될 정도로 심하게 일어나고 있으며 막공의 배열이 불규칙하였다.

도관의 길이는 1년생에서와 마찬가지로 줄기에서 가장 길어져서 652 μm 이었고 주근에서는 약 143 μm 로 훨씬 짧아졌다. 반면에 지름은 큰 차이가 없었으나 길이와 반대로 주근에서 가장 커서 18.50 μm 이었다 (Table I).

천공관의 각도는 줄기에서 가장 작았고 주근에서 60°로 가장 컸으며 도관절의 부피는 1년생을 기준으로 할때 측근에서 2.43배로 가장 큰 증가를 보였다 (Table I).

Table 1. Types and other characteristics of vessel elements in several organs of ginseng

age	organ	Characteristics	*1 Type of Vessel	*2 Type of Perfor. Plate	Mean of Diameter (μm)	*3 Mean of Length (μm)	Angle of Perfor. Plate	Volume of Vessel Member (μm^3)	*4 C.R.I.V.
1 yr old	Lateral Root		S, Sc, Re	Si, Sc	10.33	312	23°	26315	1.00
	Tap Root		S, Sc, Re	Si, In	14.20	152	44°	24059	1.00
	Transition Region		S, Sc, Re	Si, In	10.33	172	30°	14407	1.00
	Stem		R, S, Sc, Re	Si, Sc	9.50	642	22°	45483	1.00
	Mid Vein		R, S, Sc, Re, T	Sc	9.75	612	-	45669	1.00
3 yrs old	Lateral Root		Sc, Re	Si	16.30	305	34°	63612	2.43
	Tap Root		Sc, Re	Si	18.50	143	60°	38419	1.59
	Transition Region		Sc, Re, T	Si, In	14.50	180	45°	29703	2.06
	Stem		S, Sc, Re, P	Si	10.00	652	24°	51182	1.12
	Mid Vein		R, S, Sc, Re	Sc	9.75	633	-	46177	1.01
5 yrs old	Lateral Root		Sc, Re	Si, Sc	11.50	313	33°	32494	1.24
	Tap root		Sc, Re	Si, Sc	19.00	161	46°	45624	1.89
	Transition Region		Sc, Re, T	Si, In	13.50	187	35°	26753	1.85
	Stem		R, S, Sc, Re, P	Si, Sc	15.20	680	23°	123329	2.71
	Mid Vein		R, S, Sc, Re	Sc	13.00	633	-	83976	1.83

*1. R-Ring, S-Spiral, Sc-Scalariform, Re-Reticulate, P-Pitted, T-Tracheid

*2. Si-Simple, In-Intermediate type of Simple and Scalariform, Sc-Scalariform

*3. Measurement of length is applied to only scalariform and reticulate vessels

*4. Comparative Ratio of Volume Increase comparing to 1 year old.

3. 5년생

측근, 주근, 뿌리와 줄기의 이행부위에서는 계문도관(Figs. 37, 41, 44 and 45), 망문도관(Figs. 38, 39, 40, 42, 43 and 46)이 관찰되며 뿌리와 줄기의 이행부위에서만 가도관(Fig. 47)이 더 관찰되었다. 줄기와 주맥에서는 환문도관(Figs. 48 and 53), 나선문도관(Figs. 49 and 54), 계문도관(Figs. 50 and 55), 망문도관(Figs. 51 and 56)이 관찰되며 공문도관(Fig. 52)은 줄기에서만 관찰되었다. 천공은 대부분 단일천공이었으나 주맥에서는 bar가 있는 형태(Figs. 55 and 56)가 관찰되었으며 막공의 수는 3년생에서보다 적게 관찰되었다. 도관절의 길이는 1년생과 3년생에서와 마찬가지로 줄기에서 가장 길었고 주근에서 가장 짧았으며 지름은 주근에서 $19\mu\text{m}$ 로 가장 컸고 측근에서 $11.5\mu\text{m}$ 로 가장 작았다.

천공판의 각도는 3년생과 마찬가지로 주근에서 45° 로 가장 컸으며 줄기에서 23° 로 가장 작았으나 대체로 3년생에 비해 작은편이었고 도관절의 부피는 1년생을 기준으로 할때 줄기에서 2.71배로 가장 큰 증가를 보였으나 3년생에 비해 측근과 뿌리-줄기의 이행부위에서는 오히려 감소하였다.

考 察

도관요소의 2차벽은 환문, 나선문, 계문, 망문, 공문의 순서로 비후되나 그 한계가 분명하지 않은 중간형태 많이 존재하며 동일한 기관의 목부에서 모든 형태가 관찰되는것은 아니다(Esau, 1965, 1977). 이러한 견해는 Muhammad와 Sattler(1982)에 의해서도 재확인된 바 이들은 측벽의 막공형태에 따라서 도관을 구분하였으며 Inamdar등(1983)도 Malvaceae를 재료로 하여 도관의 종류를 10가지 형으로 구분한 바 있다.

한편 Bierhorst와 Zamora(1965)는 피자식물 1350종을 대상으로 방대한 조사를 한 결과 도관의 끝이 가늘어져서 뾰족한 형태를 한 것은 쌍자엽식물과 단자엽식물에서 모두 관찰되는 일반적인 형태라고 하였으나 본 연구에서는 1년생 인삼의 경우 이같은 형태는 관찰되지 않았고 Fig. 12와 같이 이와 유사한 형태의 도관이 관찰되었다. 그러나 5년생에서는 이들이 보고한것과 동일한 형태의 도관(Figs. 51 and 56)이 관찰되었으며 이러한 끝부위에까지 막공이 관찰된 점이 특이하였다.

인삼의 줄기에서 관찰되는 망문도관은 측벽의 막공수가 계문도관에 비해 현저히 줄어들었고 일열로 배열되어 있으며 이러한 변화는 공문도관(Fig. 32)에서는 소수의 막공만 관찰될 정도로 줄어들어 있었으며 막공이 일정한 배열을 하지않고 불규칙하게 분포되어 있었다.

이러한 결과는 도관의 비후과정을 밝힌 Esau(1965, 1977), Muhammad와 Sattler(1982)의 견해와 일치하며 Bierhorst와 Zamora(1965)가 도관의 비후에 따른 측벽부위의 변화는 그 마지막 단계가 공문도관이고 막공의 배열양상은 여러가지가 있으며 그 변화는 일정하지 않다는 보고와 동일하였다. 그러나 Metcalfe와 Chalk(1957)는 두릅나무과에 속하는 식물에는 환문도관, 나선문도관만이 관찰되며 단일천공이 대부분이라고 보고 하였으나 이 과에 해당되는 인삼에서는 다양한 종류의 도관이 관찰되었고 천공판의 형태도 단일천공, 계문상천공, 이 두가지의 중간형 등이 관찰되고 있으므로 이들의 결과는 재검토가 필요하다고 생각된다. 또한 인삼의 각 기관별 도관의 형태적 분포는 년생에 관계없이 지상부가 지하부 보다 더 다양하며 특히 5년생 줄기에 있어서는 다섯가지 형태의 도관 모두가 관찰된 점이 특이하였다(Table I).

천공이 형성되는 기작에 관하여는 Roelofsen (1959)이 세포성 물질이나 비 세포성 물질이 모두 분해 됨으로써 형성된다고 보고한 반면 Frey-Wyssling (1959)은 비 세포성 물질만 분해된다고 주장했는데 Esau (1965)는 이 두가지 이론이 모두 확실하지 않아서 그 정확한 기작에 대해서는 더 연구해 볼 필요가 있다고 하였다. 도관의 비후는 lignin이 1차벽에 첨가되므로써 일어나는데 (Scott *et al.*, 1960)도관이 비후됨에 따라 계문상 천공판의 bar가 분해되어 단일천공판으로 분해된다 (Bierhorst and Zamora, 1965; Muhammad and Sattler, 1982).

단자엽 식물에서는 도관절의 길이나 폭의 변화가 심하므로 도관의 분화정도는 천공판을 보아서 알 수 있는데 (Cheadle and Kosakai, 1972) 천공판의 각도는 비후가 일어나면서 직각에 가깝게 되고 복합천공판이 단일천공판으로 변하게 된다 (Cheadle and Kosakai, 1975). 동일한 도관의 한쪽 끝에서 천공이 두개 이상 되는 것도 관찰되는데 (Inamdar *et al.*, 1983), 두 개가 있는 경우에도 반드시 동일한 형태의 천공은 아니며 (Cheadle and Kosakai, 1971, 1972) Kim (1973)은 인삼 주근의 도관은 모두 단일 천공판이 직각로 위치한다고 발표한 바 있으나 본 실험에서 확인한 결과 계문상 천공판과 단일천공판 및 이 두가지의 중간형 (Figs. 8 and 26)이 관찰되고 있는데 도관이 비후되면서 계문상 천공판이 단일천공판으로 변한 것으로 생각되며 천공판의 각도는 약 23° ~ 60° (Table I)의 분포를 하는 것이 확인 되었다.

도관절의 길이에 대해서는 Webber (1936), Bass (1976), Zimmerman (1978) 등은 건조한 지역에 사는 식물일수록 그 길이가 짧아지는 경향이 있다고 하였으며 Carlquist (1976)는 *Roridula*에서는 뿌리에 있는 도관절의 길이가 줄기의 것 보다 약 $10\ \mu\text{m}$ 정도 길다고 하였고 그 이유는 뿌리도관 내부의 물기동의 응집력이 줄기에서 보다 낮기 때문이라고 보고하였다. Greenidge (1952)는 도관절의 길이가 식물체 전체의 길이와 같은 경우도 있다고 하였고 Metcalfe 와 Chalk (1957)는 *Araliaceae*의 도관절의 길이가 $400\sim 1300\ \mu\text{m}$ 이며 지름은 $30\sim 120\ \mu\text{m}$ 이라고 보고하였다.

인삼에서는 각 기관별 도관절 길이의 평균값은 $143\sim 680\ \mu\text{m}$ 로서 년생에 관계없이 줄기에서 가장 길었으며 주근에서 가장 짧았고 지름은 $9.50\sim 19.00\ \mu\text{m}$ 로서 주근에서 가장 컸고 주맥에서 가장 작았다. 이러한 결과는 Metcalfe 와 Chalk (1957)의 보고와는 다소 차이가 있는 것으로서 이들의 결과를 재검토 해야 할 필요가 있다고 생각되며 Carlquist (1976)가 *Roridula*에서 보고한 결과와는 정반대 였는데 이는 종간의 차이점인지는 확실하지 않으나 Cheadle과 Kosakai (1972)의 주장과 같이 도관절의 길이는 변이가 심하므로 *Roridula*에서의 도관절 길이 차이는 물기동의 응집력 때문이 아니라 변이로 생각되어진다.

인삼의 각 기관에서 관찰되는 도관절의 지름은 주근에서 가장 컸고 길이는 폭과 반대로 주근에서 가장 작았으며 천공판의 각도 역시 주근에서 가장 큰 것으로 확인되었던 바 이는 도관이 분화됨에 따라 길이가 짧아지고 지름이 커지며 천공판의 각도가 커진다는 Cheadle과 Kosakai (1971, 1972, 1975)의 보고와 종합해 볼때 인삼에서는 도관절의 분화가 주근에서 가장 많이 일어난 것이라 생각된다.

또한 관속 가도관이 1년생에서는 주맥에서, 3년생과 5년생에서는 뿌리와 줄기의 이행부위에서 관찰되었는데 이처럼 년생별로 각각 다른 기관에서 관찰되고 있으므로 그 정확한 분화과정은 더 연구해 보아야 하리라 생각된다.

摘 要

인삼의 각 기관별 도관요소의 종류 및 년생별 분화정도를 밝히고자 각각 1년생, 3년생, 5년생 인삼의 도관요소를 분리하여 광학현미경을 이용하여 관찰하였다.

인삼에서 관찰되는 도관은 환문도관, 나선문도관, 계문도관, 망문도관, 공문도관 등 이었는데 지상부가 지하부보다 더 다양하게 분포하였으며 도관절의 길이는 143~680 μm 로서 줄기에서 가장 길었고 주근에서 가장 짧았다. 지름은 9.50~19.00 μm 로서 주근에서 가장 컸으며 천공관의 각도는 약 22° - 60°의 분포를 하였다.

도관절의 길이, 지름, 천공관의 각도 등에 의한 도관절의 분화정도는 년생에 관계없이 주근에서 가장 높았으며 천공관은 계문상 천공관, 단일천공관, 이 두가지의 중간형이 관찰되었고 가도관이 1년생의 주맥, 3, 5년생의 뿌리-줄기의 이행부위에서 각각 특징적으로 관찰되었다.

參 考 文 獻

- Bass, P. 1976. Some functional and adaptive aspects of vessel member morphology. *Leiden Bot. Ser.* **3**: 157-181.
- Bierhorst, W.D. and P.M. Zamora, 1965. Primary xylem elements and elements associations of angiosperms. *Amer. J. Bot.* **52**(7): 657-710.
- Byrne, J.M., T.C. Pesacreta and J.A. Fox. 1977. Development and structure of the vascular connection between the primary and secondary root of *Glycine max* (L.) Merr. *Amer. J. Bot.* **64**(8): 946-959.
- Byrne, J.M. and D.P. Emmitt. 1982. Development and structure of the vascular connection between the primary and lateral root of *Lycopersicon esculentum*. *Amer. J. Bot.* **69**(2): 287-297.
- Carlquist, S. 1961. Comparative plant anatomy. Holt, Rinehart and Winston. New York. pp. 81-125.
- Carlquist, S. 1975. Ecological strategies of xylem evolution. University of California Press. Berkeley and London. pp. 121-148.
- Carlquist, S. 1976. Wood anatomy of Roridulaceae: Ecological and phylogenetic implications. *Amer. J. Bot.* **63**(7): 1003-1008.
- Cheadle, V.I. and H. Kosakai. 1971. Vessels in Liliaceae. *Phytomorphology* **21**: 320-333.
- Cheadle, V.I. and H. Kosakai. 1972. Vessels in the Cyperaceae. *Bot. Gaz.* **133**(3): 214-223.
- Cheadle, V.I. and H. Kosakai. 1975. Vessels in Juncales: Centrolepidaceae and Restionaceae. *Amer. J. Bot.* **62**(10): 1017-1026.
- Dickinson, C.W. 1978. Comparative anatomy of Eucryphiaceae. *Amer. J. Bot.* **65**(7): 722-735.
- Esau, K. 1965. Plant anatomy. 2nd edition. John Wiley and Sons, Inc. pp. 226-269.
- Esau, K. 1977. Anatomy of seed plants. 2nd edition. John Wiley and Sons, Inc. pp. 101-124.
- Frey-Wyssling, A. 1959. Die pflanzliche Zellwand. Springer-Verlag. Berlin. pp. 57-139.
- Greenidge, K.N.H. 1952. An approach to the study of vessel length in hardwood species. *Amer. J. Bot.* **39**: 570-574.
- Grierson, K.J. 1976. *Leclercqia complexa* (Lycopsidea, middle devonian); its anatomy and the interpretation of pyrite petrifications. *Amer. J. Bot.* **63**(9): 1184-1202.
- Hill, J.F. 1983. Relationship among vessel diameter, vessel frequency and spacing of parenchyma bands in wood of *Carya tomentosa* nutt, mockernut hickory. *Amer. J. Bot.* **70**(6): 934-939.

- Inamdar, J.R., R.B. Bhat and T.V. Ramana. 1983. Internodal vessel elements of some Malvaceae. *Kor. J. Bot.* **26**(1): 7-16.
- Jeong, B.K., S.C. Yu, E.S. Kim and W.K. Kim. 1983. An ultra-structural study of the root cap of *Panax ginseng* C.A. Meyer. *Kor. J. Electron Microscopy* **13**(2): 42-52.
- Jeong, B.K. and W.K. Kim. 1985. Ultrastructural and cytochemical studies on root hair cells of ginseng. *Kor. J. Electron Microscopy* **15**(2): 69-79.
- Jeong, J. 1983. Plant anatomy. Samasa. Seoul. pp. 82-88.
- Kim, E.S. and W.K. Kim. 1984. A study on chromoplast transformation in ginseng fruit wall. *Kor. J. Electron Microscopy* **14**(1): 61-68.
- Kim, W.K. 1973. Ultrastructure and cytochemical studies on the main root of *Panax ginseng* C.A. Meyer. *The Sci. and Tech. Korea Univ.* **14**: 71-109.
- Kim, W.K., B.H. Lee and C.Y. Oh. 1972. Electron microscopic studies on microbody of *Panax ginseng*. *Kor. J. Electron Microscopy* **2**(1): 33-37.
- Kim, W.K. and B.K. Jeong. 1984. A study of the differentiation and ultrastructure of the ginseng (*Panax ginseng*) root tip. *The Sci. Tech. Korea Univ.* **25**: 245-259.
- Kim, W.K. and E.S. Kim. 1980. Structure and function of the secretory ducts in *Panax ginseng* C.A. Meyer. *Kor. J. Electron Microscopy* **10**: 77-86.
- Kim, W.K., H.D. Park, E.S. Kim and S.S. Han. 1979. Ultrastructural changes during germination of ginseng seeds (*Panax ginseng*). *Kor. J. Electron Microscopy* **9**(1): 57-69.
- Kim, W.K., S.C. Yu and B.K. Jeong. 1984. Ultrastructural and cytochemical studies on secretory duct cells of *Panax ginseng*. *Kor. J. Electron Microscopy* **14**(1): 33-46.
- Larsen, R.P. 1962. The indirect effect of photoperiod on tracheid diameter in *Pinus resinosa*. *Amer. J. Bot.* **49**(2): 132-137.
- Metcalfe, C.R. 1971. Anatomy of monocotyledons. Oxford Univ. Press. pp. 817-832.
- Metcalfe, C.R. and L. Chalk. 1957. Anatomy of dicotyledons. Oxford Univ. Press. pp. 725-740.
- Miller, B.R. 1976. Reticulate thickenings in some species of *Juglans*. *Amer. J. Bot.* **63**(6): 898-901.
- Muhammad, A.F. and R. Sattler. 1982. Vessel structure and the origin of angiosperms. *Amer. J. Bot.* **69**(6): 1004-1021.
- Pickett-Heaps, J.D. 1968. Xylem wall deposition. Radioautographic investigations using lignin precursors. *Protoplasma* **65**: 181-205.
- Roelofsen, P.A. 1959. The plant cell wall. In *Handbuch der Pflanzenanatomie*. pp. 210-228.
- Scott, M.F., V. Sjaholm and E. Bowler. 1960. Light and electron microscope studies of the primary xylem of *Bicinus communis*. *Amer. J. Bot.* **43**(3): 162-173.
- Takhtajan, A.L. 1980. Outline of the classification of flowering plants (Magnoliophyta). *Bot. Rev.* **46**: 225-359.
- Turgeon, R. 1975. Differentiation of wound vessel members without DNA synthesis, mitosis or cell division. *Nature* **257**: 806-808.
- Webber, I.E. 1936. The woods of sclerophyllous and desert shrubs and desert plants of California. *Amer. J. Bot.* **23**: 181-188.
- Woodzicki, J.T. and C.L. Brown. 1973. Organization and breakdown of the protoplast during maturation of pine tracheids. *Amer. J. Bot.* **60**(7): 631-640.

Zimmermann, M.H. 1978. Structural requirements for optimal conduction in tree stem. Cambridge Univ. Press, Cambridge. pp. 517-532.

(1988. 4. 2. 接受)

Explanation of Figures

Fig. 1-20. Photomicrographs of vessel elements in 1 year old ginseng.

Fig. 1-4. Vessels in lateral root.

Fig. 1. Spiral vessel. $\times 1200$

Fig. 2. Scalariform vessel. $\times 1200$

Fig. 3. Reticulate vessel. $\times 600$

Fig. 4. Scalariform vessel. $\times 450$

Fig. 5-8. Vessels in tap root.

Fig. 5. Spiral vessel. $\times 1200$

Fig. 6. Scalariform vessel. $\times 600$

Fig. 7. Magnified photograph of figure 6. $\times 1200$

Fig. 8. Reticulate vessel. Note the intermediate form of scalariform perforation and simple perforation. $\times 600$

Fig. 9-12. Vessels in transition region.

Fig. 9. Spiral vessel. $\times 1200$

Fig. 10. Scalariform vessel. $\times 1200$

Fig. 11. Reticulate vessel. $\times 600$

Fig. 12. Reticulate vessel. $\times 600$

Fig. 13-16. Vessels in stem.

Fig. 13. Ring vessel. $\times 1200$

Fig. 14. Spiral vessel. $\times 1200$

Fig. 15. Scalariform vessel. $\times 1200$

Fig. 16. Reticulate vessel. $\times 1200$

Fig. 17-20. Vessels and vascular tracheid in mid vein.

Fig. 17. Ring and spiral vessel. Note the arrangement of ring vessel and spiral vessel in same vessel element (arrow). $\times 600$

Fig. 18. Spiral vessel and scalariform vessel. $\times 1200$

Fig. 19. Reticulate vessel. $\times 1200$

Fig. 20. Vascular tracheid. $\times 1200$

Fig. 21-36. Photomicrographs of vessel elements in 3 years old ginseng.

Fig. 21-22. Vessels in lateral root.

Fig. 21. Reticulate vessel. $\times 1200$

Fig. 22. Scalariform vessel. $\times 600$

Fig. 23-24. Vessels in tap root.

Fig. 23. Scalariform vessel. $\times 1200$

Fig. 24. Reticulate vessel. $\times 1200$

Fig. 25-27. Vessels and tracheids in transition region.

Fig. 25. Scalariform vessel. $\times 1200$

Fig. 26. Reticulate vessel. note the intermediate form of perforation plate. $\times 600$

Fig. 27. Vascular tracheid. $\times 1200$

Fig. 28-32. Vessels in stem.

Fig. 28. Spiral vessel. $\times 1200$

Fig. 29. Scalariform vessel. $\times 1200$

Fig. 30. Reticulate vessel. $\times 1200$

Fig. 31. Intermediate form of reticulate vessel and pitted vessel. $\times 1200$

Fig. 32. Pitted vessel. $\times 1200$

Fig. 33-36. Vessels in mid vein.Fig. 33. Ring vessel. $\times 1200$ Fig. 34. Ring and spiral vessel. $\times 1200$ Fig. 35. Scalariform vessel. $\times 1200$ Fig. 36. Reticulate vessel. $\times 1200$ **Fig. 37-56.** Photomicrographs of vessel elements in 5 years old ginseng.

Fig. 37-40. Vessels in lateral root.

Fig. 37. Scalariform vessel. $\times 1200$ Fig. 38. Reticulate vessel. $\times 600$ Fig. 39. Reticulate vessel. $\times 1200$ Fig. 40. Reticulate vessel. $\times 1200$

Fig. 41-44. Vessels in tap root.

Fig. 41. Scalariform vessel. $\times 1200$ Fig. 42. Reticulate vessel. $\times 600$ Fig. 43 Magnified photograph of Fig. 42. $\times 1200$ Fig. 44. Scalariform vessel. $\times 1200$

Fig. 45-47. Vessels and tracheid in transition region.

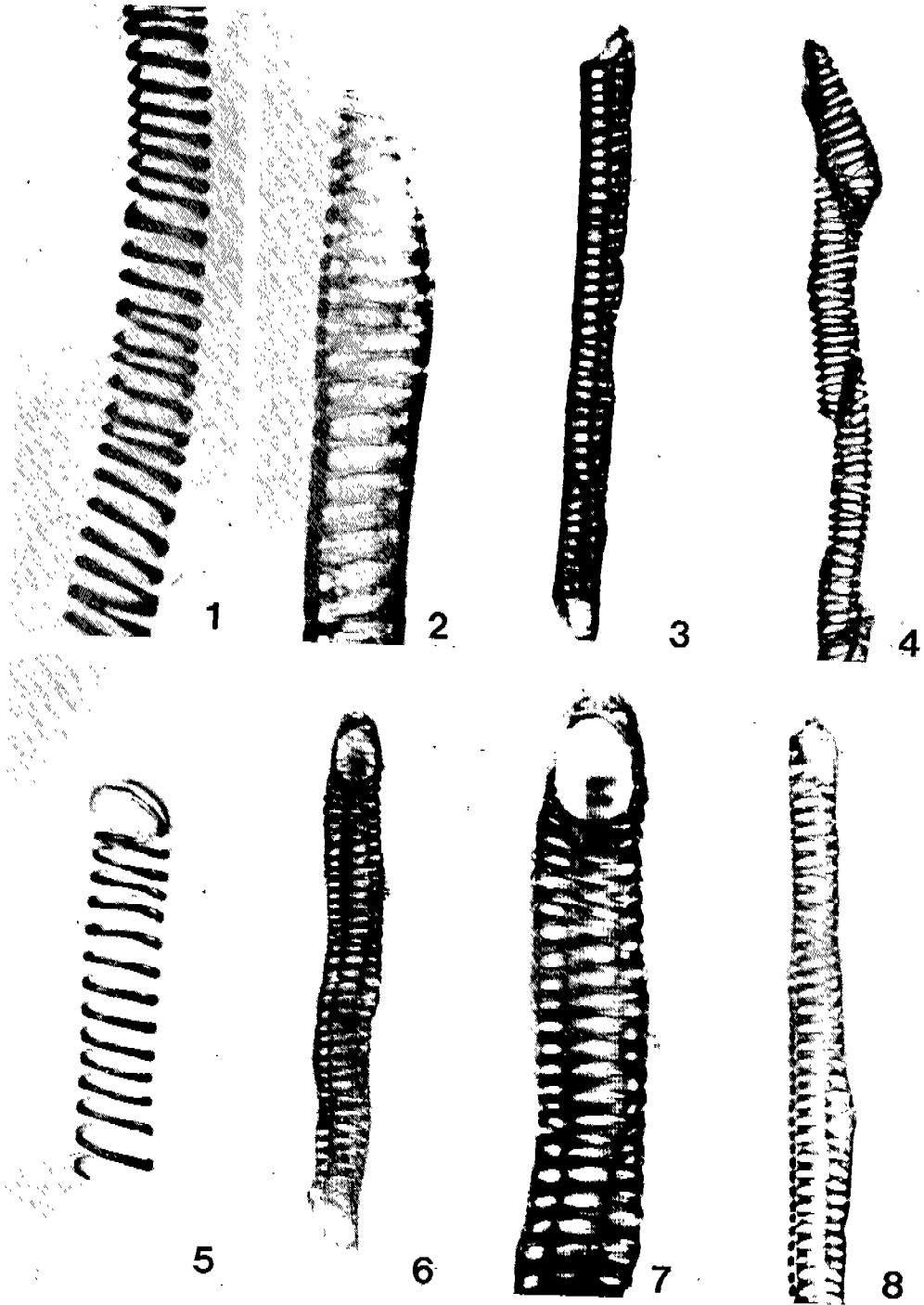
Fig. 45. Scalariform vessel. $\times 1200$ Fig. 46. Reticulate vessel. $\times 1200$ Fig. 47. Vascular tracheid has no perforation. $\times 1200$

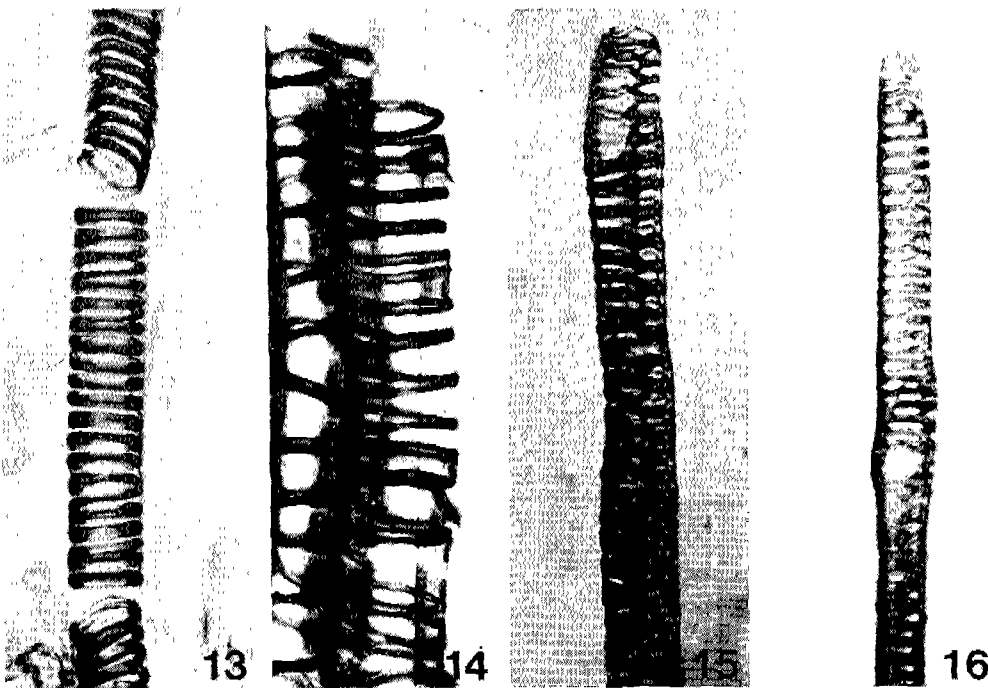
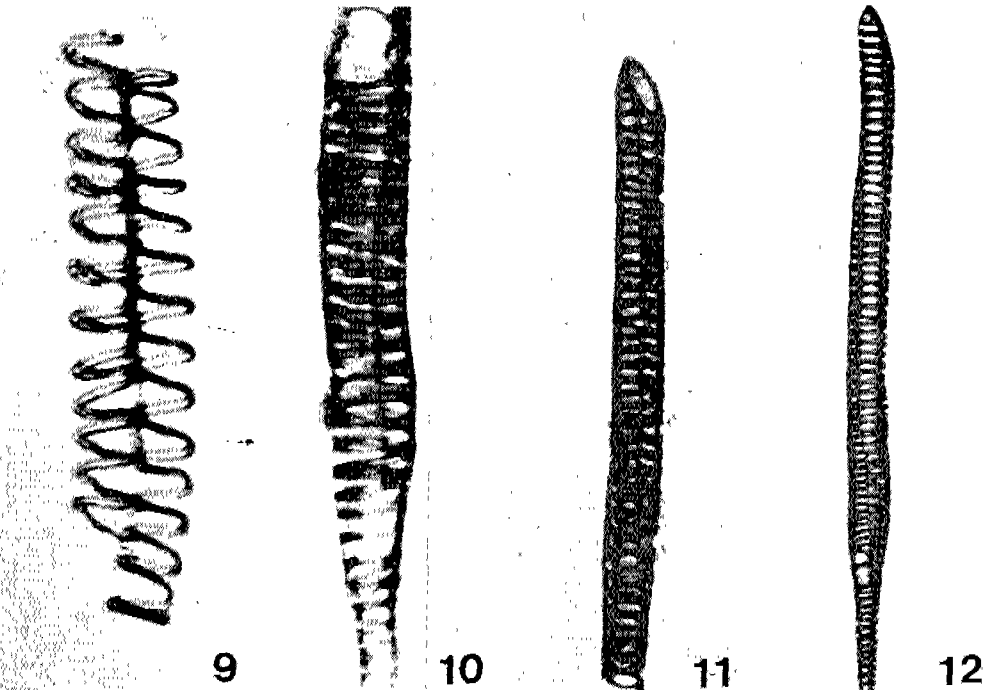
Fig. 48-52. Vessels in stem.

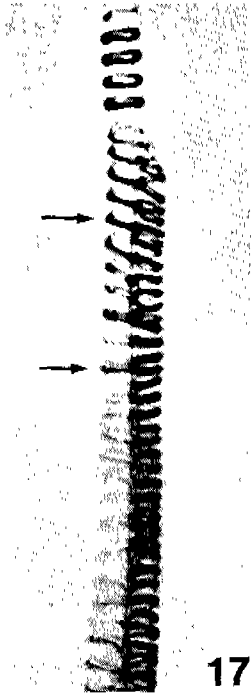
Fig. 48. Ring vessel. $\times 1200$ Fig. 49. Spiral vessel. $\times 1200$ Fig. 50. Scalariform vessel. $\times 1200$ Fig. 51. Reticulate vessel. Note the attenuated tip. $\times 1200$ Fig. 52. Pitted vessel has a few pit on the side wall. $\times 1200$

Fig. 53-56. Vessels in mid vein.

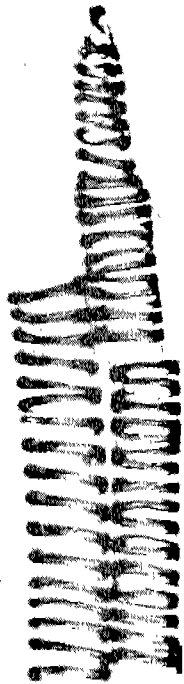
Fig. 53. Ring vessel. $\times 1200$ Fig. 54. Spiral vessel. $\times 1200$ Fig. 55. Scalariform vessel. $\times 1200$ Fig. 56. Reticulate vessel. $\times 1200$







17



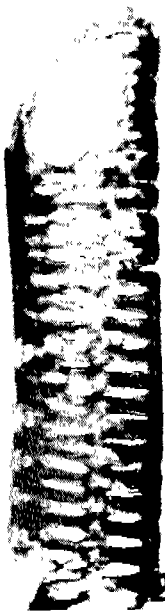
18



19



20



21



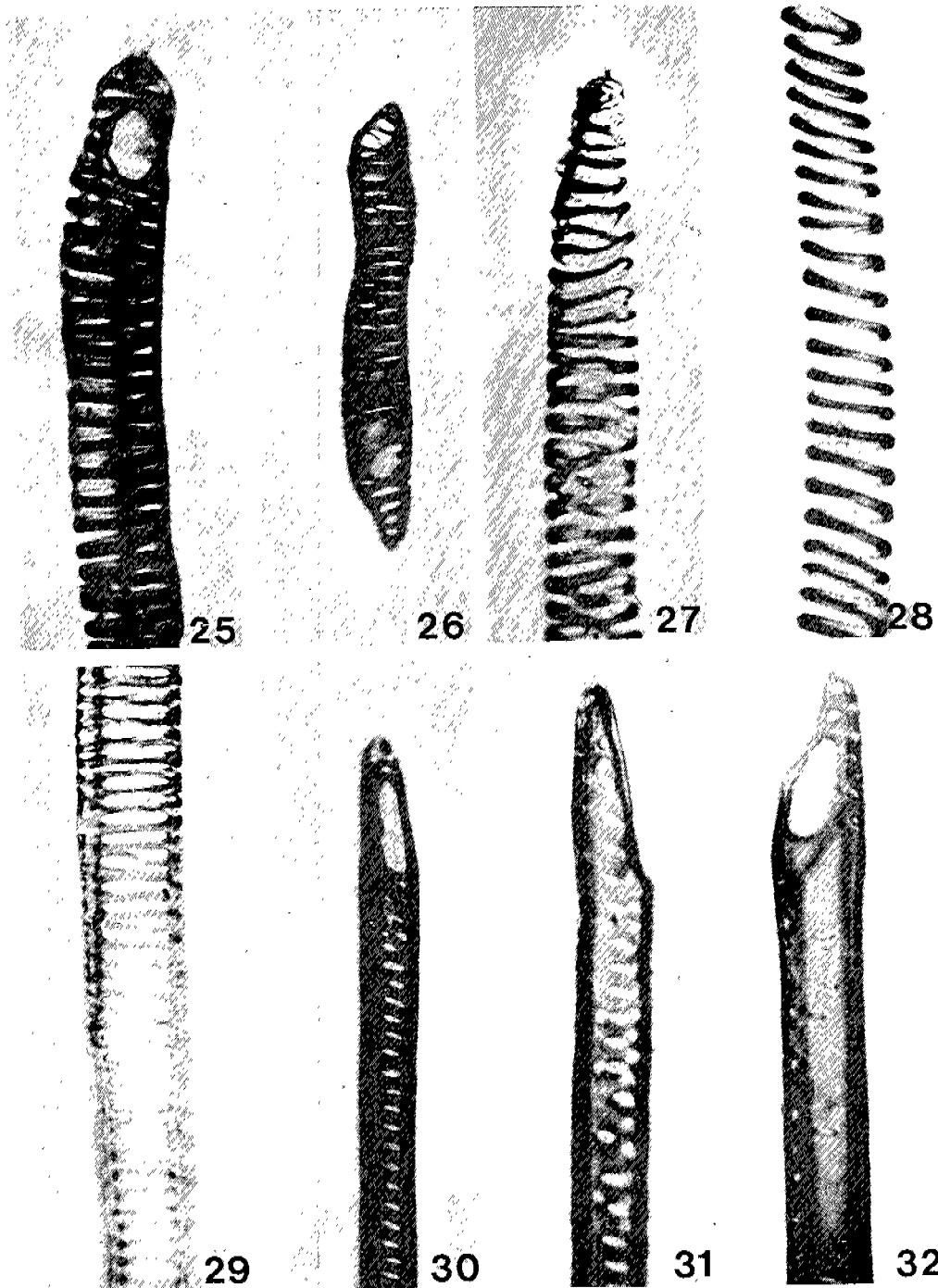
22

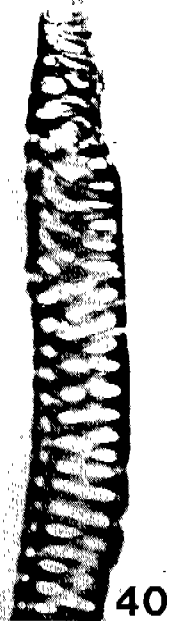
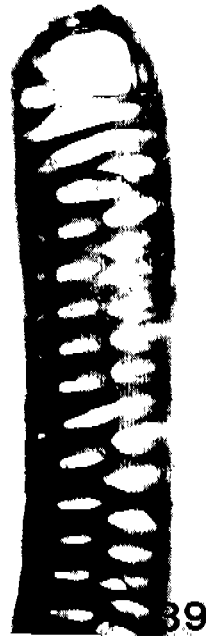
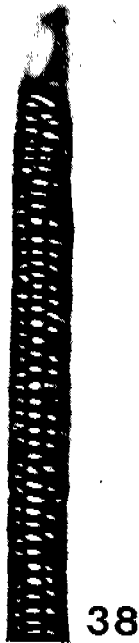
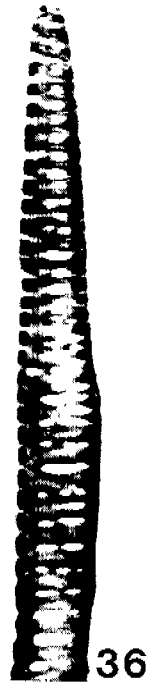
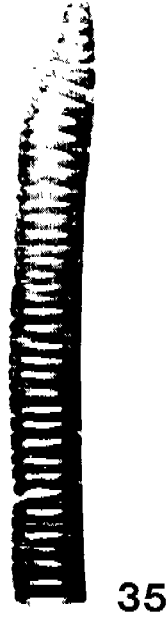
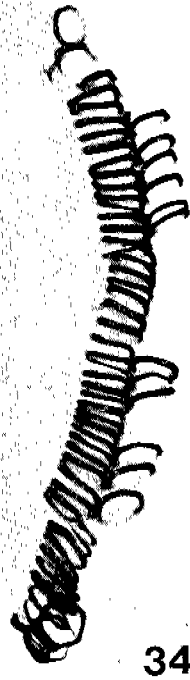
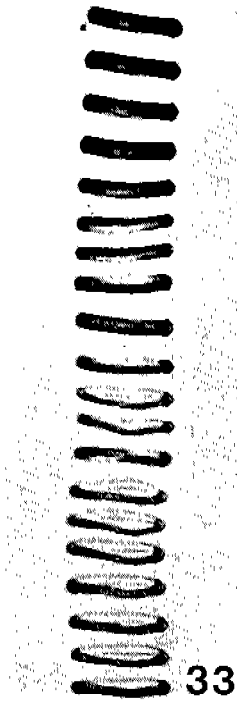


23



24



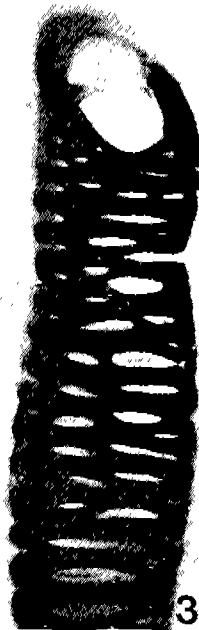




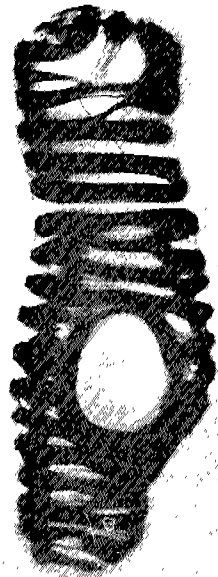
41



42



43



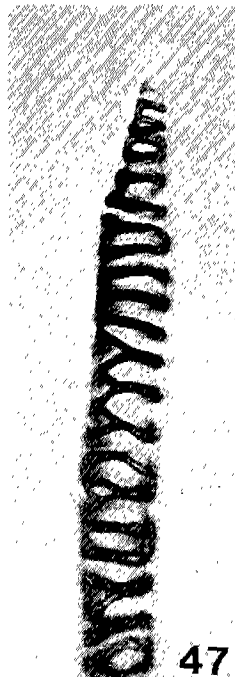
44



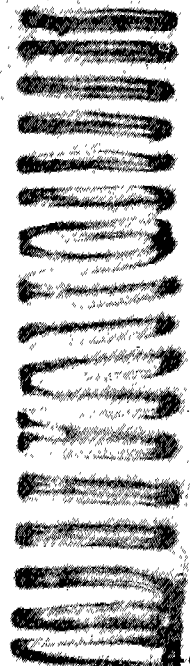
45



46



47



48

