

## 벼의 珪素體 形態

黃 聖 秀 · 金 京 植

全北大學校 自然科學大學 生物學科

대표적인 규소축적 식물 중에 하나인 벼(*Oryza sativa*)의 규소체를 기관별로 광학현미경과 주사전자현미경 하에서 조사하였다. 또한 규소체의 명칭에 대하여 가능한 기원조직에 근거하여 정리하였다. 벼의 조사된 주요 기관 7개 부위, 즉 엽신, 엽초, 줄기, 뿌리, 포영, 호영, 그리고 내영에서 특징적인 규소체가 확인되었다. 각 기관에 형성된 규소체 중 특히 장세포 기원의 규소체, 단세포 기원의 규소체 그리고 표피부속체 기원의 규소체 등은 기관별로 그 형태가 다양하게 나타났다. 또한 엽신에서는 벼의 다른 기관에서 형성되는 대부분의 규소체가 형성되는 것으로 밝혀졌다.

주요어: 벼, 규소체, 형태

식물체내에서 형성되는 규소체(opal phytolith)는 뿌리로부터 흡수된 monosilicic acid가 세포벽과 세포간극 및 세포내 축적되어 형성된다(Lewin and Reimann, 1969; Piperno, 1988). 다양한 분류군의 식물들이 규소체를 형성하나 특히 화본과 식물은 다량의 규소를 여러 종류의 세포내에 축적하여 다양한 형태의 규소체를 형성한다(Metcalf, 1960; Twiss *et al.* 1969; Ellis, 1979; Brown, 1984). 따라서 화본과 식물의 규소체는 분류군별로 형태적 차이가 있어 분류학에서는 유용한 분류형질로서 그리고 고고학과 고생태학 등에서는 미소화석으로서 그 효용성이 입증된 바 있다(Palmer, 1976; Twiss *et al.*, 1969; Mulholland, 1987; Piperno, 1988). 특히 화본과 식물의 규소체 중에서 표피의 단세포에서 형성되는 규소피(silica body)는 다른 규소체들 보다 토양내에 장기간 보존되고 형태 또한 다양하기 때문에 이를 대상으로 많은 연구가 수행된 바 있다(Twiss *et al.*, 1969; Blackman, 1971; Brown, 1984; Piperno, 1988). 즉 화본과 식물에서 생성되는 규소피의 형태는 아과 수준에서 특징적인 차이가 있음이 확인되었고(Twiss *et al.*, 1969), 또한 고대유적지에 보존되어 있는 화본과 식물의 규소피를 이용하여 재배종 및 야생형 화본과 식물을 식별하는데 이용된 바도 있으며(Pearsall, 1978), 외부 형태가 유사한 화본과 식물을 규소피의 형태적 차이에 의하여 식별하는데 이용된 바도 있다(Ollendorf *et al.*, 1988).

따라서 관속식물들이 생성하는 식물 규소체에 대한 광범위한 분류체계 작성을 위한 시도가 진행되고 있으나(Pearsall and Dinan, 1992), 지금까지 조사된 분류군의 수가 적고, 특정 분류군을 대상으로 이들이 생성하는 전체적인 규소체에 대한 연구도 미흡한 실정이었다. 또한 규소체의 명명에 있어서도 규소체 자체의 형태를 중심으로 하는 경우(Rovner, 1971; Wilding and Drees, 1973, 1974; Rapp, 1986)와 기원된 식물 및 기관에 기준을 두는 경우(Geis, 1978; Piperno, 1988) 등이 있어 통일되어 있지 않았다.

벼속 식물 또한 다른 화본과 식물과 마찬가지로 다량의 규소를 체내에 축적하며 다양한 규소체를 생성하는 식물군이다(Metcalf, 1960). 그러나 본 속 식물이 생성하는 식물 규소체에 대한 전반적인 연구는 아직 수행된 바 없다. 다만 본 속 식물 중 경제적으로 중요한 벼(*Oryza sativa* L.)를 대상으로 부분적인 연구가 수행되어 규소축적 양상 및 일부 규소체의 종류가 밝혀진 바 있으나(Soni *et al.*, 1972; Soni and Parry, 1973; Kunoh and Akai, 1977; Fujiwara and Sasaki, 1978), 본 종이 생성하는 전체적인 규소체의 형태에 대한 상세한 연구는 아직 이루어진 바 없다.

이에 본 연구는 벼속 식물이 생성하는 모든 종류의 규소체를 조사하여 이들이 가지는 분류학, 고고학 및 고생태학적 의의를 확인하는 연구의 일환으로 우선 벼가 생성하는 모든 종류의 규소체를 확인하고, 주요 기관별로 그 형태적 특징을 조사하여 앞으로 본 속 식물이 생성하는 규소체의 연구에 기초자료로

\*교신저자: Fax (0652) 70-3315

활용하고자 시도되었다. 또한 본 연구에서는 확인된 규소체를 가능한 기원조직에 근거하여 기재함으로써 규소체의 용어 및 분류체계 작성에 통일을 기하고자 하였다.

재료 및 방법

본 연구에 사용된 벼는 1991년부터 1992년까지 결실기인 6월에서 8월 사이에 전라북도 전주 근교에서 채집한 개체들과 호남작물시험장 및 IRGC 표본실(Herbarium of International Rice Germplasm Center)에서 분양받은 표본들을 사용하였다.

표피세포에 형성되는 식물 규소체는 채집된 재료를 일반적인 방법에 의하여 고정, 탈수 및 임계점 건조시킨 후 주사전자현미경의 후반사전자상(Backscattered Electron Image)을 이용하여 형태와 배열양상을 관찰하였다.

규소체의 추출은 Kaplan과 Smith(1988)의 습식회화(wet ashing) 방법을 일부 변형하여 사용하였다. 즉 재료들을 초음파세척기로 세척하여 60°C에서 24시간 동안 완전히 건조시킨 후 포영(glume), 호영(lemma), 내영(palea), 엽신(leaf blade), 엽초(leaf sheath), 줄기(culm), 뿌리(root) 등 벼의 주요 기관의 7개 부위를 각각 0.1g씩 채취하였다. 채취된 재료는 40 mL의 chromic-sulfuric acid solution(100 mL의 sulfuric acid에 100 g의 potassium dicromate를 녹인 후 여기에 증류수를 부어 1000 mL로 되게 함)과 함께 100 mL의 삼각플라스크에 넣고 10분 정도 가열한 후 하루밤을 방치하여 유기물을 완전히 분해시켰다. 이를 3000 rpm으로 10분간 원심분리하여 규소체를 수거하고, 증류수 및 95% ethanol로 각각 1회씩 세척한 후 95% ethanol에 보관하였다. 분리된 규소체의 관찰은 95% ethanol에 보관된 규소체를 주사전자현미경(ISI SR-50, Akashi)과 광학현미경(Axiophoto II, Zeiss)의 DIC(differential interference co-

ntrast)를 이용하였다. 규소체의 동정, 정의, 기체를 위한 용어는 Metcalfe(1960), Twiss 등(1969), Bombin(1984), Piperno(1988), Pearsall(1989), 그리고 Whang(1993) 등의 것을 인용하여 사용하였다.

결 과

조사된 벼의 주요기관 7개 부위에서 여러 종류의 규소체가 확인되었다(Table 1). 주형규소체(cast phytolith)로는 표피조직의 장세포(long cell), 기공장치(stomatal complex), 장모(macro-hair), 유혈모(prickle hair), 미모(micro-hair) 등에서 기원된 규소체가 확인되었으며 또한 단세포에서 기원된 단일세포형(solitary) 규소체도 주형규소체이었다. 엽육조직의 유세포 및 섬유세포들과 유관속조직의 일부세포들도 주형규소체를 형성하였다.

형판규소체(template phytolith)로는 맥상표피역(costal zone)에 있는 단세포와 맥간표피역(intercostal zone)의 장세포 사이에 산재하며 콜크세포와 쌍을 이루어 나타나는 규소세포내에 형성되는 규소괴(silica body)가 있었다. 이외에 수적형세포(bulliform cell) 및 투명세포(colourless cell) 등에서 각각 기원된 선형규소체(fan shaped phytolith)와 부등변사각형 규소체(trapezoidal phytolith) 등이 확인되었다. 특히 맥상표피역에 형성된 규소괴는 엽맥의 중앙에 위치하며 5세포 이상의 열을 지어 엽신의 장축과 평행한 띠(band)를 형성하였다(Figs. 7, 8).

엽신의 규소체

향측면과 배측면의 맥상표피역 및 맥간표피역에 있는 모든 종류의 장세포가 장세포 규소체(long cell phytolith)를 형성하

Table 1. Presence or absence of phytoliths types in seven different parts of *Oryza sativa*

Plant parts Phytolith types	Leaf blade	Leaf sheath	Glume	Lemma	Palea	Culm	Root
Long cell	+	+	+	+	+	+	-
Silica body	+	+	+	+	+	+	+
Stomatal complex	+	+	+	+	+	-	-
Papillae	+	+	+	-	+	+	-
Prickle-hair	+	+	-	+	-	+	-
Micro-hair	+	+	-	-	+	+	-
Macro-hair	+	-	+	+	+	-	-
Tracheid	+	-	-	-	-	+	-
Mesophyll	+	-	-	-	-	-	-
Fiber	+	+	-	-	-	+	+
Fan shaped	+	+	-	-	-	-	-
Trapezoidal	+	+	-	-	-	-	-

+, presence of phytolith; -, absence of phytolith.

**Table 2.** Distribution and types of long cell phytoliths in *Oryza sativa*

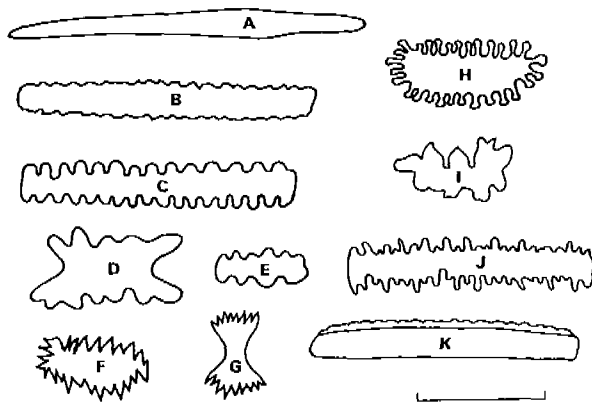
Plant parts	Source cell	Location	Wall type	Size (µm)
Leaf blade	Ground	Costal & Intercostal zone	Smooth	L: 40-80, W: 10 <sup>a</sup>
		Costal & Intercostal zone	Sinuate	L: 40-80, W: 10
		Costal & Intercostal zone	Deeply sinuate	L: 40-80, W: 10
		Intercostal zone	Deeply sinuate	L: 40-80, W: 10
	Interstomatal	Intercostal zone	Irregularly deep Sinuate	L: 40-50, W: 10-15
Leaf sheath	Ground	Costal zone	Smooth	L: more than 80, W: 2-5
		Intercostal zone	Sinuate	L: 80, W: 5-7
		Costal zone	Deeply sinuate	L: 50-100, W: 7-12
Glume	Ground	Scattered in lamina	Deeply sinuate	L: 60, W: 7-10
			Deeply sinuate	L: 40-60, W: 10-15
			Deeply sinuate	L: 20-25, W: 10-15
			Short cell	
			Serrate	L: 20-25, W: 10-15
Lemma	Interstomatal	Intercostal zone	Spiny-pileate	L: 40-60, W: 15-20
	Ground	Scattered in lamina	Serrate	L: 10-15, W: 15
			Smooth	L: more than 50, W: 10-20
			Sinuate	L: more than 50, W: 10-20
			Deeply sinuate	L: more than 50, W: 10-20
			Irregular-sinuate	L: more than 50, W: 10-20
			Single sinuate	L: more than 50, W: 10-20
			Serrate	L: 15-40, W: 20-30
			Short cell	
			Irregular	L: more than 50, W: 10-20
Palea	Ground	Scattered in lamina	Irregular deep	L: 40-60, W: 5-6
			Sinuate	
			Irregular	L: 20-30, W: 5-10
Culm	Ground	Costal zone	Smooth	L: more than 120, W: 5
			Sinuate	L: more than 120, W: 5
		Intercostal zone	Sinuate	L: more than 120, W: 5-15
			Deeply sinuate	L: more than 120, W: 5-15

<sup>a</sup>L, length; W, width.

였으며(Figs. 7-10), 일반적으로 크기는 길이가 40-80 µm, 폭이 10 µm 정도이었다. 그러나 장세포 중 기공간세포에서 형성되는 기공간세포 규소체는(interstomatal cell phytolith; Fig. 10) 길이가 40-50 µm 정도로 짧았다(Table 2). 규소가 침적된 세포벽의 두께는 대부분 얇았으나 드물게 규소가 두껍게 침적된 벽을 가지는 종류도 나타났었다(Figs. 7, 10). 한편 장세포 규소체 세포벽의 형태는 전벽(Fig. 1A), 파상벽(Fig. 1B), 심파상벽(Fig. 1C) 등이 나타났으며 기공간세포 규소체의 경우는 불규칙 심파상벽이었다(Fig. 1D). 그리고 소수이기는 하나 길이가 타세포에 비하여 짧고 심파상벽을 가지는 장세포 규소체도 나타났었다(Fig. 1E).

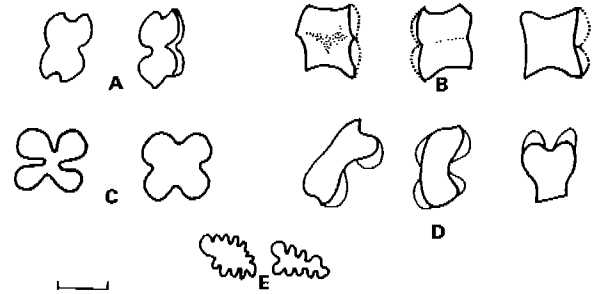
단세포는 대부분 맥상표피역에 위치하였으며, 엽신의 장축에 수직으로 배열하였고, 5 세포 이상이 하나의 열을 이루어 띠 모양을 형성하였다. 이들 단세포의 내부에 형성되는 규소피의 형태는 모두 덩벨형(dumbbell shape)이었다(Figs. 2A, 7, 8, 11). 크기는 표면관찰시 길이 7-12 µm, 폭 13-17 µm, 높이 4-6 µm 정도이었고(Table 3), 보통 표면관찰시 보다 하면관찰시 약간 크게 나타났다. 드물게 맥간표피역의 장세포들 사이에 코르크 세포와 쌍을 이루는 규소세포가 있었으며 이들이 형성하는 규소피의 형태는 안장형(saddle shape)이었다(Fig. 2B).

기공은 향측면과 배측면의 맥간표피역에 엽신의 장축과 평행하게 띠 모양의 지역을 이루고 있었다(Fig. 9). 기공장치에서



**Fig. 1.** Shapes of phytoliths formed from lay cells of *Oryza sativa* L. Bar=30  $\mu$ m. A, smooth wall; B, sinuate wall; C, deeply sinuate wall; D, interstomatal cell with irregularly, deep, sinuate wall; E, relatively shorted cell with deeply sinuate wall; F, relatively shorted cell with serrate wall; G, interstomatal cell with serrate wall; H, spiny-pileate wall; I, irregular wall; J, irregularly deep sinuate wall; K, one side sinuate wall.

기원된 규소체는 공면세포와 부세포가 함께 부착된 상태로 형성된 기공장치 규소체(stomatal complex phytolith)이었다. 이들의 부세포에는 표면관찰시 8-10개의 소형 유두상 돌기가 있으며(Figs. 3A, 9), 형태는 낮은 돛형이었고(Figs. 3A, 9, 10),



**Fig. 2.** Shapes of silica bodies in *Oryza sativa* L. Bar=10  $\mu$ m. A, dumbbell; B, saddle; C, cross; D, irregular saddle; E, solitary.

길이 13-17  $\mu$ m, 폭 12-15  $\mu$ m이었다(Table 4). 하면관찰시는 형태가 삼각형으로(Figs. 2D, 8), 길이 15-20  $\mu$ m, 폭 13-15  $\mu$ m이었다(Table 4).

유두상 돌기는 장세포의 외벽(outer wall)에 발달되며 형태는 원형이었다(Fig. 9). 이들은 규소체 분리시 분리되는 경우가 많아 유두상 돌기 규소체(papillae phytolith)로 구분할 수 있었다. 이들은 크기에 따라 직경이 1-2  $\mu$ m 정도인 소형 유두상 돌기, 직경이 3-5  $\mu$ m 정도인 중형 유두상 돌기 그리고 직경이 8-10  $\mu$ m 정도인 대형 유두상 돌기로 구분되었었다(Table 5). 또한 1개의 장세포 외벽에 종류별로 배열하는 양상에 따라, 다수의 소형 유두상 돌기 규소체와 1개의 대형 유두상 돌기

**Table 3.** Distribution and types of silica bodies in *Oryza sativa*

Plant parts	Location	Distribution pattern	Shape	Size ( $\mu$ m)
Leaf blade	Costal zone	Rows of more than 5 cells	Bilobate	L: 7-12, W: 13-17, H: 4-6 <sup>a</sup>
		Paired cork-silica cells	Saddle	L: 7-12, W: 13-17, H: 4-6
Leaf sheath	Costal zone	Paired cork-silica cells	Saddle	L: 5-10, H: 5-10
		Rarely rows 3 cells	Saddle	L: 5-10, H: 5-10
		Rows of more than 5 cells	Bilobate	L: 7-12, W: 13-17, H: 4-6
			Cross	L: 7-12, W: 13-17, H: 4-6
	Intercostal zone	Paired cork-silica cells	Saddle	L: 5-10, H: 5-10
Glume	Scattered in lamina	Paired cork-silica cells	Saddle,	L: 5-10, H: 5-10
			Irregular	L: 10-15, W: 4-6, H: 3-5
			Saddle	
Lemma	Scattered in lamina	Solitary	Deeply sinuate wall	L: 10-20, W: 7-10
		Paired cork-silica cells	Irregular	L: 5-10, W: 3-5, H: 5-10
			Saddle	
Palea	Scattered in lamina	Paired cork-silica cells	Saddle	L: 5-10, W: 3-5, H: 5-10
Culm	Costal zone	Paired cork-silica cells	Saddle	L: 5-10, H: 5-10
		Rows 3 cells	Saddle	L: 5-10, H: 5-10
	Intercostal zone	Paired cork-silica cells	Saddle	L: 5-10, H: 5-10
Root		(origin?)	Bilobate	

<sup>a</sup>L, length; W, width; H, height.

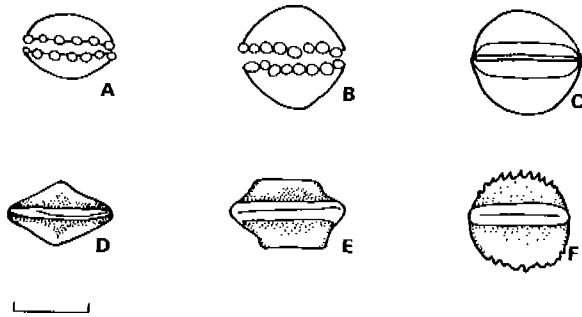


Fig. 3. Surface view (A-C) and bottom view (D-F) of phytoliths formed from stomatal complexes of *Oryza sativa* L. Bar=15 μm. A, low-dome shape; B, C, dome shapes; D, triangular shape; E, trapezoid shape; F, dome shape with serrate side wall.

Table 4. Shapes of stomatal complex phytoliths in *Oryza sativa*

Plant parts	View	Shape	Size (μm)
Leaf blade	Surface	Low-dome	L: 13-17, W: 12-15 <sup>a</sup>
	Bottom	Triangular	L: 15-20, W: 13-15
Leaf sheath	Surface	Dome	L: 15-20, W: 15-20
	Bottom	Trapezoid	L: 15-20, W: 15
Glume	Surface	Triangular	L: 15, W: 15
	Bottom	Dome or Low-dome with Serrate side wall	L: 20-25, W: 15-20
Lcmma	Surface	Dome	
Palea	Surface	Low-dome	

<sup>a</sup>L, length; W, width.

규소체가 동시에 발달하는 것(Figs. 5A, 10)과 다수의 소형 유두상 돌기 규소체만 발달하는 것(Figs. 4B, 12) 등으로 구분이 되었다.

표피의 모용 세포 중 유핵모는 맥상표피역에 있었으며 유핵모 규소체(prickle hair phytolith)를 형성하였다. 이들의 크기는 길이 80-90 μm, 폭 15-20 μm, 높이 30-40 μm 정도(Table 6) 형태는 대형 유핵모이었다(Figs. 5A, B, 12). 미모는 맥간표피역에 드물게 있었으며 미모 규소체(micro-hair phytolith)를 형성하였다. 이들은 보통 기부세포가 규소체로 되었으며 말단 세포의 경우는 세포의 끝부분만이 규소체로 되었다. 이 경우 크기는 기부세포의 2배 정도이었다(Fig. 5H). 미모 규소체의 기부세포 형태는 도너츠형이며 8개의 소형 유두상 돌기가 부착되어 있었다. 장모에서 기원된 장모 규소체(macro-hair phytolith)가 드물게 나타났으며 기부가 부푼 형태를 하고 있고(Fig. 5J), 크기는 길이 100 μm 이상, 직경 10-17 μm 정도이었다.

표피하 조직에서 기원된 규소체로는 유관속의 가도관 세포

Table 5. Shapes of papillae phytoliths in *Oryza sativa*

Plant parts	Shape	Size (μm)
Leaf blade	Combination of small cuticular and large inflated papillae on the same cell, all rounded papillae	Small; D: 1-2 <sup>a</sup> Medium; D: 3-5 Large; D: 8-10
	Combination of small cuticular and medium papillae on the same cell, all rounded papillae	
	Same of leaf blade papillae	
Leaf sheath	Same of leaf blade papillae	
Glume	Oblique, medium papillae with thickened distal end	D: 3-8
Palea	Slightly oblique, large papillae with thickened distal end	D: 20-30
Culm	Combination of small cuticular and medium papillae on the same cell, all rounded papillae	Small; D: 1-2 Medium; D: 3-5

<sup>a</sup>D, diameter.

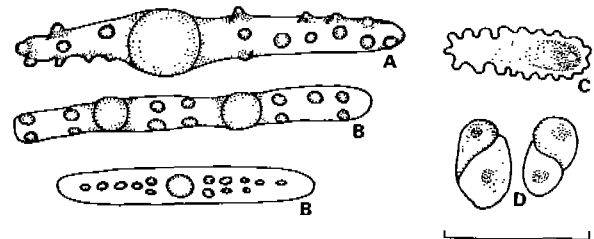
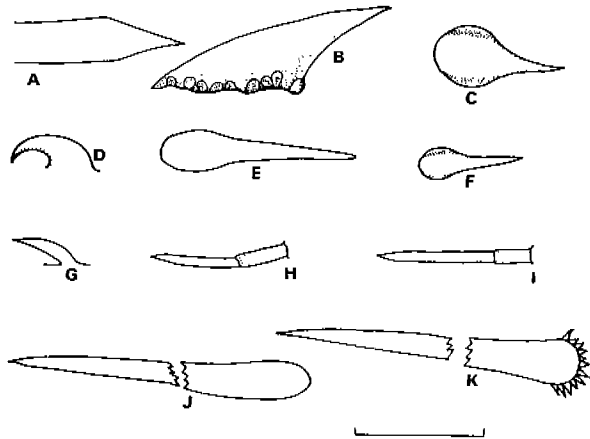


Fig. 4. Surface view of phytoliths formed from papillae of *Oryza sativa* L. Bar=30 μm. A, rounded shape; B, rounded shaped; combination of large and small papillae; C, oblique shape; D, slightly oblique shape.

에서 기원된 가도관 규소체(tracheid phytolith; Figs. 6A, 30), 엽육조직의 세포 집단이 형성하는 엽육조직 규소체(mesophyllous phytolith; Figs. 6B, 31), 막대형인 섬유세포 규소체(fiber phytolith; Figs. 6C, 28) 등이 주형규소체로 판단되었으며, 형관규소체로는 수적세포 기원의 부채형 규소체(fan-shaped phytolith; Figs. 10D, 11) 그리고 투명세포 기원의 부등변사각형 규소체(trapezoidal phytolith; Figs. 6E, 25, 26) 등이 나타났다 (Table 7).

엽초의 규소체

맥간표피역의 장세포에서 기원된 장세포 규소체는 심과상 벽이었고(Figs. 1C, 15), 크기는 길이 50-100 μm, 폭 7-12 μm

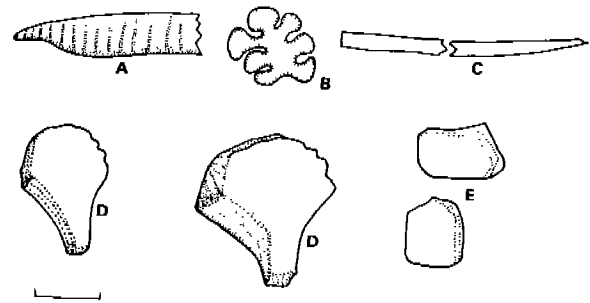


**Fig. 5.** Shapes of phytoliths formed from prickle-, micro- and macro-hair in *Oryza sativa* L. Bar=30  $\mu$ m. A-G, prickle-hairs; H, I, micro-hairs; J, K, macro-hairs; A, large, surface view; B, large, side view; C, hooked, surface view; D, hooked, side view; E, lengthy; F, angular, surface view; G, angular, side view; H, the ratio of proximal cell to distal cell is 1:2; I, the ratio of proximal cell to distal cell is 1:3; J, swollen bases; K, swollen bases with serrate wall.

**Table 6.** Shapes of prickle-hair phytoliths in *Oryza sativa*

Plant parts	Location	Shape	Size ( $\mu$ m)
Leaf blade	Costal zone	Large	L: 80-90, W: 15-20 <sup>a</sup> , H: 30-40 <sup>a</sup>
Leaf sheath	Intercostal zone	Hooked	L: 50-60, W: 15-30, H: 20
Lemma	Scattered in lamina	Lengthy	L: 80, W: 10
Culm	Intercostal zone	Angular	L: 40-60, W: 15-20, H: 30-40

<sup>a</sup>L, length; W, width; H, height.



**Fig. 6.** Shapes of phytoliths formed from hypodermal tissues in *Oryza sativa* L. Bar=15  $\mu$ m. A, tracheid phytolith; B, mesophyll phytolith; C, fiber phytolith; D, fan shaped phytolith; E, trapezoidal phytolith.

정도이었다(Table 2). 맥상표피역의 장세포에서 기원된 장세포 구조체는 전벽, 파상벽 그리고 심파상벽 등이 나타났으며(Figs. 1A, B, C, 15), 이들의 크기는 다양하여 전벽은 길이 80  $\mu$ m 이상, 폭 2-5  $\mu$ m, 파상벽은 길이 80  $\mu$ m 이상, 폭 5-7  $\mu$ m, 심파상벽은 길이 60  $\mu$ m, 폭 7-10  $\mu$ m 정도이었다(Table 2). 구조가 침적된 세포벽의 두께는 대부분 얇았으나 드물게 맥상 및 맥간표피역 모두에서 두껍게 구조가 침적된 벽을 가지는 종류도 발견되었다.

구조체는 맥상표피역의 경우 코르크 세포와 쌍을 이루는 구조세포에서 형성되는 경우와 하나의 열을 지어 배열하는 단세포에서 형성되는 경우가 나타났다. 이 중 코르크 세포와 쌍을 이루는 구조세포에서 형성되는 구조체는 엽초의 장축에 평행하게 배열하였으며, 표면관찰시 크기는 길이 5-10  $\mu$ m, 폭 5-10  $\mu$ m 정도이었다고(Table 3) 형태는 안장형이었다(Fig. 2B). 단세포의 경우는 5세포 이상 그리고 드물게 3-5 세포가 하나의 열을 이루는 등 배열이 다양하였으며(Fig. 15), 이 중 열의 길이가 5 세포열 이상인 경우 구조체는 엽초의 장축에 수직으로 배열하며 띠 모양을 형성하였으나, 3-5 세포열의 경우는 엽초의 장축에 평행하게 배열하였다. 구조체의 크기는 길이 7-12  $\mu$ m, 폭 13-17  $\mu$ m, 높이 4-6  $\mu$ m 정도이었다(Table 3). 형태는 덩벨형(Fig. 2A)과 십자형(Fig. 2C)이 나타났다. 맥간표피역에는

**Table 7.** Types of phytolith formed from mesophyll and bundle tissue in *Oryza sativa*

Plant parts	Source tissue	Vascular bundle	Palisade and sponge tissue	Sclerenchymatous fiber	Bulliform and colourless cell
Leaf blade		Tracheid	Mesophyll	Rod-shape	Fan-shape Trapezoid
Leaf sheath		Not seen	Not seen	Rod-shape	Trapezoid
Culm		Tracheid	Not seen	Rod-shape	Not seen
Root		Not seen	Not seen	Rod-shape	Not seen

코르크 세포와 쌍을 이루는 규소세포만 나타났으며 크기와 형태는 맥상표피역에 형성된 것과 같았다.

기공은 맥간표피역에 엽초의 장축에 평행한 띠 모양의 지역을 이루며 나타났다. 기공장치 규소체의 부세포는 안쪽에 15개 이상의 소형 유두상 돌기가 있었고, 공변세포 외부에 중형 또는 대형 유두상 돌기가 있었다(Fig. 15). 부세포의 형태는 표면관찰시 돛형(Fig. 3B)으로 크기는 길이 15-20  $\mu\text{m}$ , 폭 15-20  $\mu\text{m}$  정도이었고(Table 4), 하면관찰시는 평행벽형으로(Figs. 3E, 15), 크기는 길이 15-20  $\mu\text{m}$ , 폭 15  $\mu\text{m}$  정도이었다(Table 4).

유두상 돌기 규소체의 크기와 형태는 엽신의 것과 같았다(Table 5). 유힐모와 미모는 맥간표피역에 나타났다. 유힐모 규소체의 형태는 갈고리형이었으며(Figs. 5C, D, 14), 기부 양측에는 중형 유두상 돌기가 1개씩 있었고 그 주변에 다수의 소형 유두상 돌기가 있었다. 크기는 길이 50-60  $\mu\text{m}$ , 폭 15-30  $\mu\text{m}$ , 높이 20  $\mu\text{m}$  정도이었다(Table 6). 미모 규소체는 보통 기부세포는 규소체로 되지만, 말단세포는 세포의 끝부분만 규소체로 되며 크기는 기부세포의 3배 정도이었다(Figs. 5I, 13, 14, 15). 미모의 양측에 중형 또는 대형 유두상 돌기가 있으며, 크기는 길이 40-50  $\mu\text{m}$ , 직경 3-5  $\mu\text{m}$  정도이었다.

표피하 조직에서 기원된 규소체로는 투명세포 기원의 부등변사각형 규소체(Figs. 6E, 26)와 섬유세포 규소체(Figs. 7C, 29) 등이 나타났다(Table 7).

#### 포영의 규소체

장세포 규소체는 크기와 벽의 형태가 다양하였다(Table 2). 일반적으로는 심파상벽을 가졌으며(Fig. 1C), 크기는 길이 40-60  $\mu\text{m}$ , 폭 10-15  $\mu\text{m}$  정도이었다. 그러나 길이 20-25  $\mu\text{m}$ , 폭 10-15  $\mu\text{m}$  정도의 짧은 장세포 규소체도 나타났다(Figs. 1E, 20). 이들은 포영 기부의 기공이 밀집된 부위에 있는 길이가 짧은 장세포에서 유래된 것으로 보였다. 그 외에 침봉벽을 가지며(Figs. 1H, 21) 크기는 길이 40-60  $\mu\text{m}$ , 폭 15-20  $\mu\text{m}$  정도인 것들과, 길이 10-15  $\mu\text{m}$ , 폭 15  $\mu\text{m}$  정도이며 거치상벽을 가지는 기공간세포 규소체(Fig. 1G)도 나타났다. 규소가 침적된 세포벽의 두께는 대부분 얇지만 드물게 두껍게 규소가 침적된 벽을 가지는 종류도 생성된다.

규소피는 코르크 세포와 쌍을 이루는 규소세포에서 형성되었으며 크기는 길이 5-10  $\mu\text{m}$ , 폭 5-10  $\mu\text{m}$  정도이었다(Table 3). 형태는 안장형(Fig. 2B)과 불규칙 안장형이었다(Fig. 2D). 기공은 포영이 부착되는 기부에 밀집되어 나타났다(Fig. 20). 기공장치 규소체의 부세포 형태는 표면관찰시 삼각형이었으며(Figs. 3C, 19), 크기는 길이 15  $\mu\text{m}$ , 폭 15  $\mu\text{m}$  정도이었다(Table 4). 하면관찰시 형태는 툽니형의 벽으로된 돛형 혹은 낮은돛형이었으며

(Figs. 3F, 20), 크기는 길이 20-25  $\mu\text{m}$ , 폭 15-20  $\mu\text{m}$  정도이었다(Table 4). 유두상 돌기를 가진 장세포는 주로 포영이 부착하는 기부에 집중적으로 나타났다(Figs. 19, 27). 유두상 돌기 규소체의 형태는 경사형(Fig. 4C)으로 세포 길이가 짧은 장세포에 형성되며, 크기는 3-8  $\mu\text{m}$  정도로 말단이 비후된 중형 유두상 돌기형이었으며, 한 개의 장세포에 한 개의 유두상 돌기가 있었다(Table 5; Fig. 27). 장모는 포영이 부착되는 기부에 밀집되어 나타났다(Fig. 19). 장모 규소체의 형태는 기부가 부풀어있었으며(Fig. 5J), 크기는 길이 100  $\mu\text{m}$  이상, 직경 10-17  $\mu\text{m}$  정도이었다.

#### 호영의 규소체

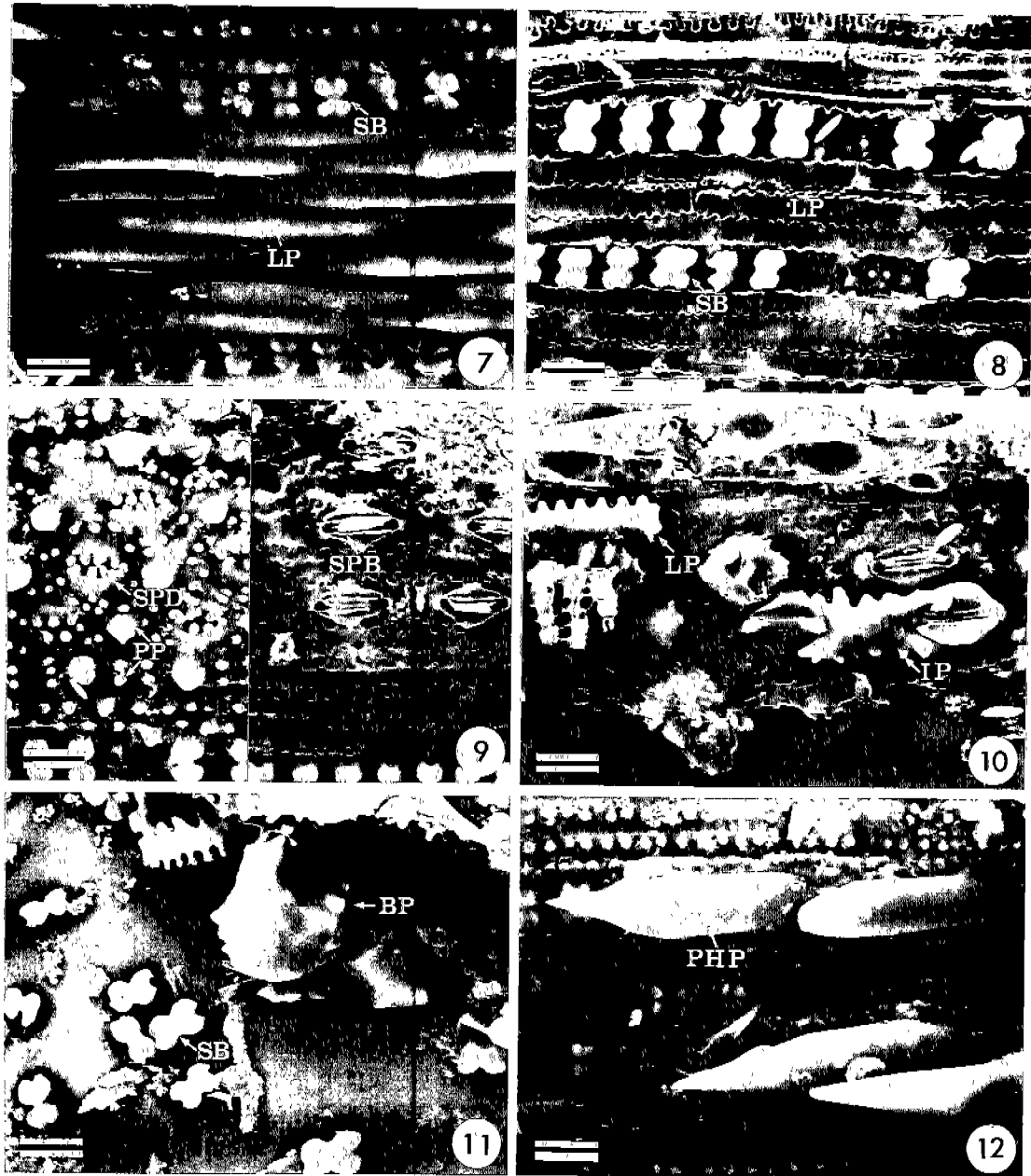
장세포 규소체는 벽의 형태가 다양하였다(Table 2). 호영이 축과 부착되는 기부에 위치한 장세포에서 형성되는 것들은 길이가 짧고 거치상벽을(Fig. 1F) 가졌으며, 이들의 크기는 길이 15-40  $\mu\text{m}$ , 폭 20-30  $\mu\text{m}$  정도이었다(Table 2). 호영의 주변부에 위치하는 장세포에서 유래된 규소체는 파상벽(Fig. 1B), 심파상벽(Fig. 1C), 불규칙 벽(Fig. 1I), 불규칙 심파상벽(Fig. 1J), 단면파상벽(Fig. 1K), 그리고 전벽(Fig. 1A) 등의 다양한 벽 형태를 나타내었고(Figs. 18, 29), 이들의 크기는 길이 50  $\mu\text{m}$  이상, 폭 10-20  $\mu\text{m}$  정도이었다(Table 2). 규소가 침적된 세포벽의 두께는 대부분 얇았으나 드물게 두껍게 규소가 침적된 벽을 가지는 종류도 생성되었다.

단세포 규소체로는 장세포들 사이에 단세포가 단독으로 존재하는 단일세포형 규소체가 나타났으며 이들은 세포벽만 규소화되는 주형규소체이었다(Figs. 2E, 29). 규소피는 코르크 세포와 쌍을 이루는 규소세포에서 생성되었으며(Fig. 18) 이들의 크기는 길이 10-20  $\mu\text{m}$ , 폭 3-5  $\mu\text{m}$ , 높이 5-10  $\mu\text{m}$  정도이었다(Table 3), 형태는 불규칙 안장형이었다(Fig. 2D).

기공은 호영이 부착되는 기부에 드물게 나타났으며, 기공장치 규소체의 부세포 형태는 돛형이었다(Fig. 3C). 유힐모는 장세포들 사이 사이에 위치하며, 유힐모 규소체의 형태는 장형이었으며(Fig. 5E), 크기는 길이 80  $\mu\text{m}$ , 폭 10  $\mu\text{m}$  정도이었다(Table 6). 장모는 포영이 부착하는 기부에 나타났으며(Fig. 16), 이들로부터 형성된 장모 규소체는 기부가 확장된 형태를 가지고 있었으며(Fig. 5J), 크기는 길이 100  $\mu\text{m}$  이상, 직경 10-17  $\mu\text{m}$  정도이었다.

#### 내영의 규소체

장세포 규소체는 대부분은 불규칙 심파상벽(Fig. 1J)의 형태의 형태를 나타냈으며, 크기는 길이 40-60  $\mu\text{m}$ , 폭 5-6  $\mu\text{m}$  정도이었다(Table 2). 드물게 단면불규칙벽(Fig. 1I)의 형태도 있



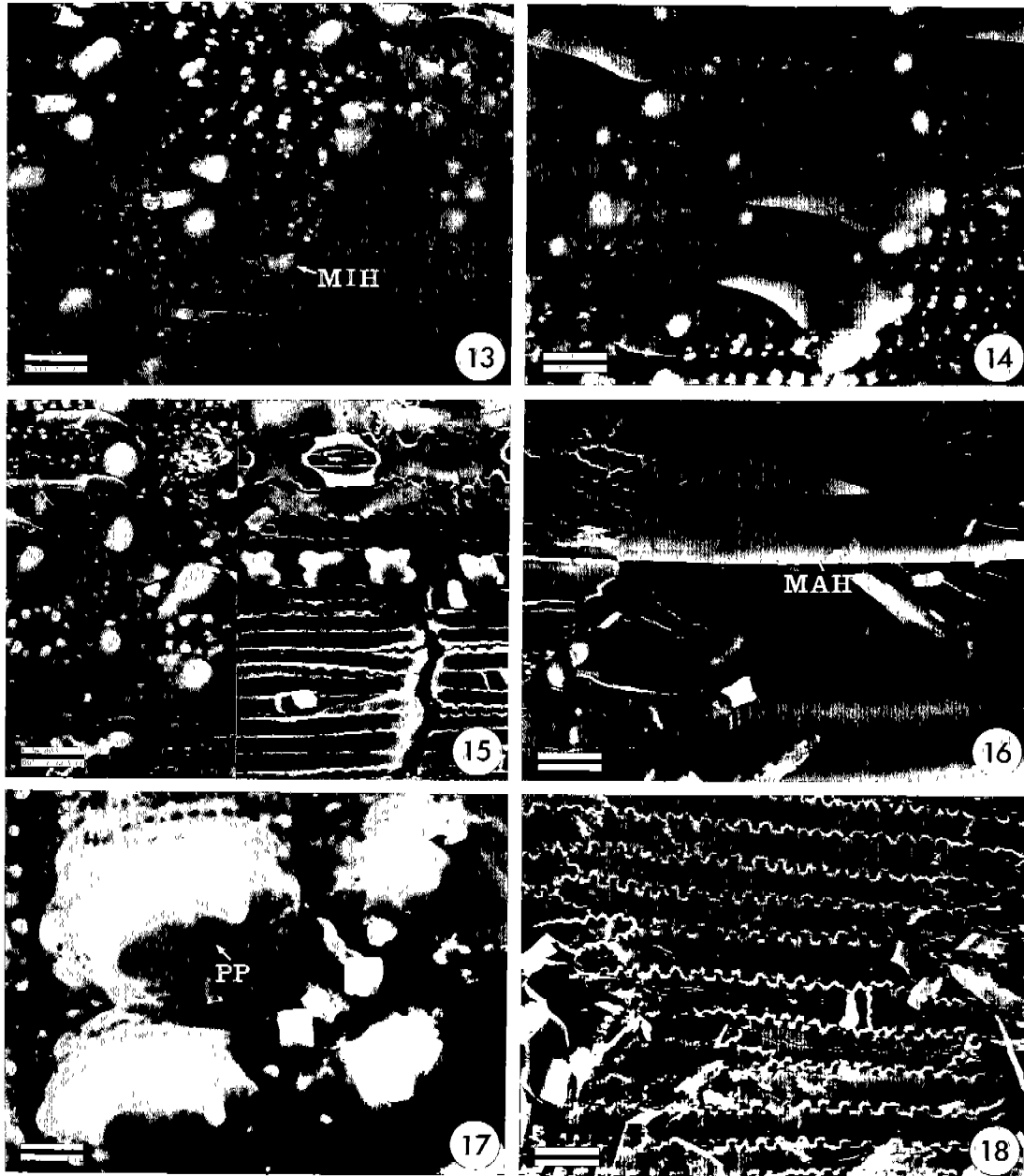
**Figs. 7-12.** SEM photographs of leaf phytolith in *Oryza sativa* L. Figs. 7, 8. incompletely digested parts showing silica bodies arrangements and wall patterns of long cell. Fig. 9. incompletely digested parts showing stomatal complex phytoliths. Figs. 10, 11. isolated phytoliths. Fig. 12. incompletely digested part showing location of prickle hair phytoliths. Bar=15  $\mu$ m. BP, bulliform cell phytolith; IP, interstomatal cell phytolith; LP, long cell phytolith; MAH, macrohair phytolith; MIH, microhair phytolith; PHP, prickle hair phytolith; PP, papillae phytolith; SB, silica body; SPB, stomatal complex phytolith of abaxial side; SPD, stomatal complex phytolith of adaxial side.

었고, 이들의 크기는 길이 20-30  $\mu$ m, 폭 5-10  $\mu$ m 정도이었다 (Table 2). 규소가 침적된 세포벽의 두께는 대부분 얇으나 드물게 두껍게 침적된 벽을 가지는 종류도 생성되었다.

규소괴는 코르크 세포와 쌍을 이루는 규소세포에서 형성되었으며, 이들의 크기와 형태는 호영의 것과 같았다(Table 3).

기공은 호영의 기부에 드물게 나타났으며, 기공장치 규소체의 부세포 형태는 낮은 돛형(Fig. 3A)이었다. 유두상 돌기 규소체의 형태는 엇갈리게 쌍을 이루는 약경사형이었으며(Figs. 4D, 17), 크기는 20-30  $\mu$ m(Table 5) 정도이었고, 말단이 비후된 대형이었다. 까끄라기(awn)에는 초대형의 장모가 있었으며 이들로부





Figs. 13-18. SEM photographs of phytoliths of *Oryza sativa* L. Figs. 13-15. incompletely digested part of leaf sheath showing microhair phytoliths, prickly hair phytoliths, stomatal complex phytoliths and silica bodies. Figs. 16, 18. incompletely digested part of lemma showing macrohair phytoliths and wall pattern of long cell phytoliths. Fig. 17. papillae phytoliths of palea. Bar=15  $\mu$ m. MAH, macrohair phytolith; MIH, microhair phytolith; PP, papillae phytolith.

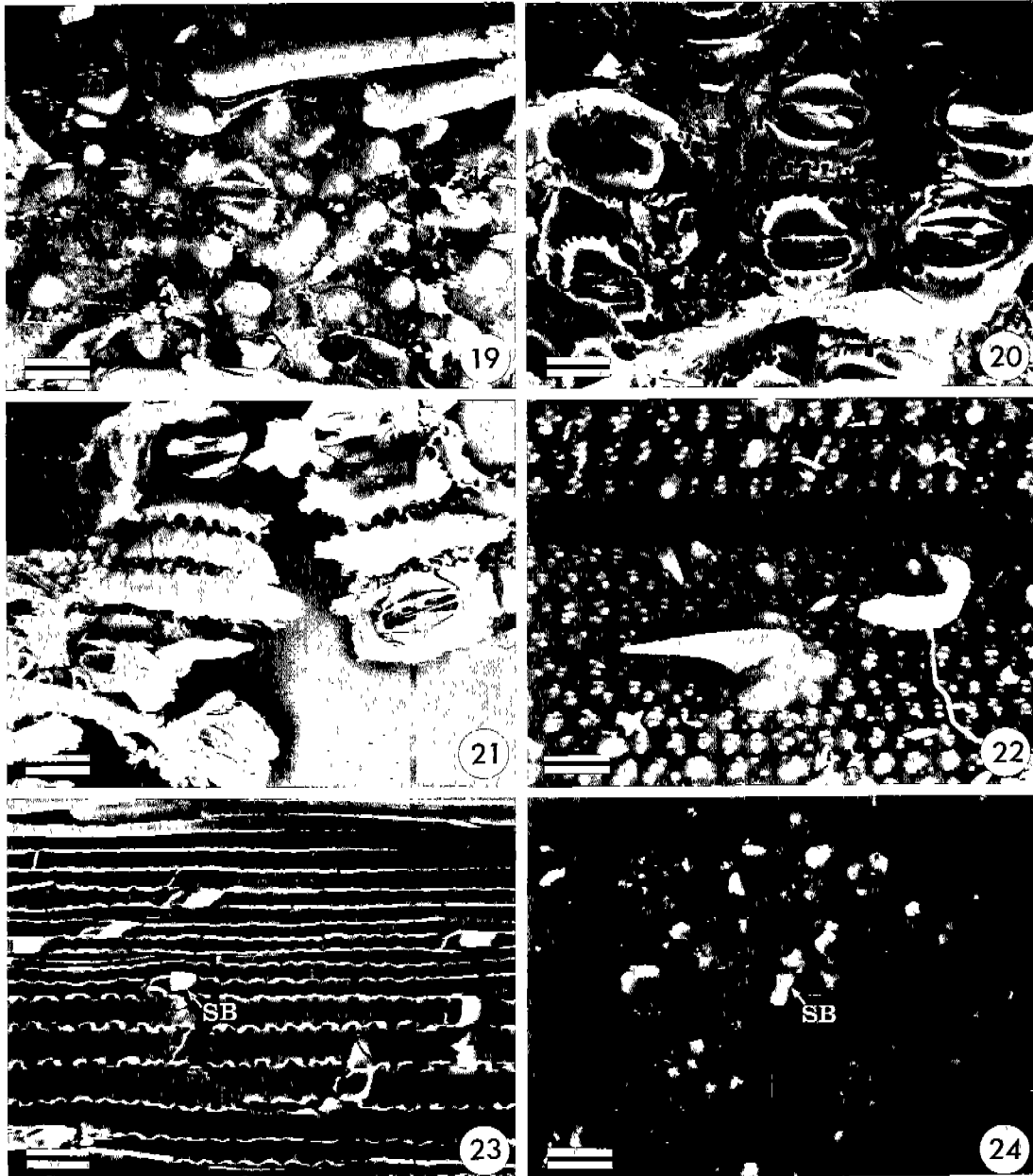
터 기원된 장모 규소체는 초대형으로 크기는 길이 200  $\mu$ m 이상, 직경 50  $\mu$ m 정도이었다.

줄기의 규소체

장세포 규소체는 맥상표피역에 위치한 장세포에서 형성된 경우 전벽(Fig. 2A)과 파상벽을 가지고 있었으며(Figs. 1B, 23),

크기는 길이 120  $\mu$ m 이상, 폭 5  $\mu$ m 정도이었다(Table 2). 맥간표피역의 장세포에서 형성된 경우에는 파상벽과 심파상벽을 가지고 있었으며(Fig. 1B, C), 크기는 길이가 120  $\mu$ m 이상, 폭 5-15  $\mu$ m 정도이었다(Table 2). 전벽인 장세포 규소체는 규소가 침적된 세포벽이 대부분 얇으나 드물게 두껍게 규소가 침적된 벽을 가지는 종류도 생성되었다.

규소체는 맥상표피역에 코르크 세포와 쌍을 이루는 규소체

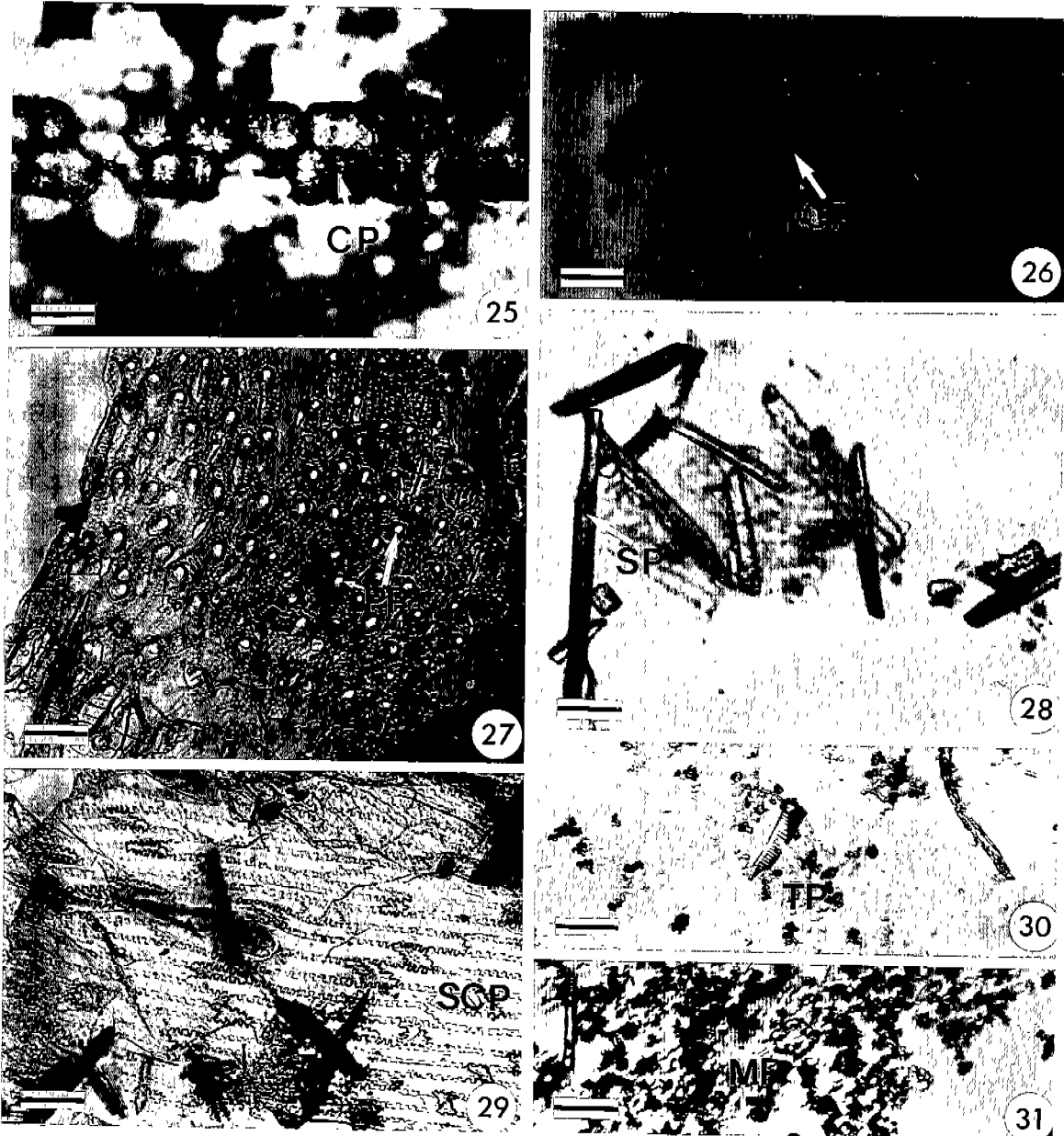


**Figs. 19-24.** SEM photographs of phytoliths of *Oryza sativa* L. Figs. 19-20. incompletely digested part of glume showing macrohair phytoliths, papillae phytoliths and stomatal complex phytoliths. Fig. 21. isolated phytoliths from glume. Figs. 22, 23. incompletely digested part of culm showing microhair phytoliths, papillae phytoliths and silica bodies. Fig. 24. isolated silica bodies from root. Bar=15  $\mu$ m. SB, silica body.

포에서 형성되는 것과 3-5 세포가 하나의 열을 이루어 배열하는 단세포에서 형성되는 것들이 나타났으며, 맥간표피역에서는 단세포가 단독으로 존재하는 단일세포 및 코르크 세포와 쌍을 이루는 규소세포에서 생성되는 것들이 나타났다(Fig. 24). 이들의 형태는 안장형이었고(Fig. 2B), 크기는 엽초의 것과 같았다 (Table 3).

유두상 돌기 규소체는 형태가 원형으로, 한 개의 장세포에

다수의 소형 유두상 돌기와 한 개의 중형 유두상 돌기가 발달하는 종류가 나타났다(Figs. 4B, 22). 유핵모는 장세포들 사이 사이에 있었고, 유핵모 규소체의 형태는 각형으로 끝이 길며 날카로웠다(Figs. 5F, G, 22). 크기는 길이 40-60  $\mu$ m, 폭 15-20  $\mu$ m, 높이 30-40  $\mu$ m 정도이었다(Table 6). 미모 규소체는 맥간표피역 장세포들 사이 사이에 있는 미모에서 형성되었으며 양쪽 기부에 중형 유두상 돌기가 있었다.



Figs. 25-31. LM photographs of mesophyllous phytoliths of *Oryza sativa* L. Bar=30  $\mu$ m. CP, colourless cell phytolith; MP, mesophyll cell phytolith; PP, papillae phytolith; SCP, short cell phytolith; SP, sclerenchymatous phytolith; TP, tracheary element phytolith.

표피하 조직에서 기원된 규소체로는 가도관형 규소체(Figs. 6 A, 30)와 막대형인 섬유세포 규소체(Figs. 6C, 28) 등이 나타났다 (Table 7).

**뿌리의 규소체**

뿌리에서는 다수의 규소체가 나타났으며(Fig. 24), 식별 가능한 형태로는 덩벨형(Figs. 2A, 24)의 규소괴와 막대형(Fig. 6C)의

규소체 등이 있었으나 이들의 기원세포는 확인할 수 없었다.

**고 찰**

본 연구에서는 벼의 주요기관 7개 부위에서 생성되는 규소체의 종류를 조사하고 기재하였다. 지금까지 벼에서 생성되는 규소체로는 장세포 규소체 2종류와 규소괴 1종류가 알려져 있었다(Metcalf, 1960; Kaufman *et al.*, 1973; Soni and Parry,

1973). 그러나 본 조사 결과 장세포 규소체 11종류, 규소피 4종류, 단세포에서 형성되는 주형규소체 1종류, 기공장치 규소체 3종류, 유두상 돌기 규소체 5종류, 유핵모 규소체 4종류, 미모 규소체 2종류 그리고 표피하 조직에서 기원된 다수의 규소체가 확인되어 벼가 매우 다양한 종류의 규소체를 생성한다는 사실이 확인되었다. 특히 장세포 규소체의 경우 측벽의 형태와 크기에 따라 12종류로 구분이 되었다. 또한 엽신에서는 12종류의 규소체가 확인되어 타 부위에서 생성되는 규소체의 종류를 거의 포함하고 있었다. 따라서 벼속 식물의 경우에도 엽신에서 생성되는 규소체만을 조사한다 하더라도 그 식물체가 생성하는 규소체의 전모를 파악할 수 있을 것으로 생각되었다.

장세포는 표피조직을 구성하는 세포들 중 전문화된 세포들을 제외한 기본적인 보호기능을 수행하는 세포들로서(Metcalf, 1960; Esau, 1977), 벼의 장세포 형태는 일반적으로 신장된 직사각형의 형태를 나타내었다. 다만 기공세포의 경우는 길이와 폭이 좁고 좌우의 2벽이 오목렌즈형을 나타내었다. 이들은 세포벽에 규소가 축적이 되는 주형규소체를 주로 형성하며 수층벽(anticlinal wall)의 형태에 따라 종류가 구분이 되었다. 벼의 경우에는 2종류가 보고된 바 있으나(Kaufman *et al.*, 1973; Soni and Parry, 1973) 본 조사에서는 11종류로 구분이 가능하였다. 그러나 각 조사부위별로 특징적인 장세포 규소체를 확인할 수는 없었다. 기존의 분류체계에서도 장세포 규소체는 식물 종류별로 특징적인 형태를 구분하기가 어려운 것으로 알려져 있다(Twiss *et al.*, 1960; Brown, 1984; Kondo and Sase, 1986). 다만 표영에서 타 부위에서는 나타나지 않는 침봉벽인 장세포 규소체가 확인되었다. 밀의 경우도 화서에서 특징적인 침봉벽을 가지는 규소체가 확인된 바 있으므로(Hodson and Sangster, 1988) 침봉벽을 가지는 장세포 규소체가 화분과 식물의 화서에서 형성되는 특징적인 규소체일 가능성이 크다고 보겠다. 지금까지 장세포 규소체는 elongate class(Twiss *et al.*, 1960; Kondo and Sase, 1986)로 분류되어 특별한 명칭이 없거나, epidermal groundmass cells(Mulholland, 1987) 또는 plate phytolith(Brown, 1984) 등 명칭이 사용되어왔다. 그러나 이들이 표피조직의 장세포에서 기원이 된다는 사실에는 모두 견해가 일치하고 있었다. 따라서 이들의 명칭을 장세포 규소체(long cell phytolith)로 통일하고 형태적 특징에 따라 세분하는 것이 타당한 것으로 생각되었다. 기공세포의 경우 이들도 장세포의 범주에 속하나 형태가 특이하여 규소체화 되었을 때 쉽게 식별이 된다. 따라서 이들에 대하여는 기공세포 규소체(interstomatal cell phytolith)로 명칭을 사용하는 것이 타당한 것으로 생각되었다.

벼의 기공장치 규소체는 지금까지 조사된 바가 없었다. 본 조사 결과 줄기와 뿌리를 제외한 5개 부위에서 확인이 되었다.

줄기의 경우 기공은 있는 것으로 알려져 있어(Esau, 1977) 줄기의 공변세포와 부세포들이 타 표피조직 세포들과는 달리 규소체를 형성하지 않는 이유에 대하여는 앞으로 보다 정확한 조사가 필요한 것으로 생각되었다. 본 조사에서 확인된 기공장치 규소체는 부세포의 형태에 따라 3종류로 구분이 가능하였으며 특히 표면관찰과 이면관찰시에 형태적 차이를 보였다. 일반적인 조직학적 방법으로는 기공장치 형태의 하면관찰이 어려우므로 규소체의 관찰방법은 화분과 식물 기공장치의 형태를 보다 정확히 관찰하는데 효과적인 방법으로 생각되었다. 벼의 기공장치 부세포는 표면관찰시에는 대부분 돛형을 나타내었으나 하면관찰시에는 엽신은 삼각형, 엽초는 평행벽형 그리고 표영은 툽니형의 벽을 가지고 있는 등 다양한 차이를 나타내어 앞으로 화분과 식물의 기공장치 관찰에서 하면관찰의 중요성을 시사해 주는 것으로 보였다. 한편 명칭은 타 화분과 식물에서 공변세포만이 분리되어 아령형의 규소체를 형성한다는 보고가 있으나(Rovner, 1971; Mulholland, 1987) 벼의 경우는 공변세포와 부세포가 함께 부착한 상태로 규소체로 분리가 되므로 기공장치 규소체(stomatal complex phytolith)로 함이 타당한 것으로 생각되었다. 다만 앞으로 광범위한 조사가 수행되어 공변세포와 부세포가 독립적인 규소체를 형성하는 것이 발견될 경우 각각의 기원세포 명칭을 사용할 수 있을 것이다.

표피조직의 모용에서 기원이 되는 규소체로는 4종류의 유핵모 규소체와 미모 및 장모 규소체가 확인되었다. 특히 유핵모 규소체의 경우 부위별로 차이를 보여 엽신에서는 대형, 엽초에서는 갈고리형, 호영에서는 신장형, 그리고 줄기에서는 각형이 주로 나타났다. 유핵모 규소체의 명칭은 conical phytolith(Rovner, 1971), point-shape phytolith(Kondo and Sase, 1986), trichome phytolith(Brown, 1984, Mulholland, 1987) 등이 사용되고 있으며 유핵모 규소체의 종류는 구분한 바가 없다. 본 조사 결과 이들은 유핵모에서 기원된 것이 확실하고 또한 비교적 다양한 형태가 나타났으므로 본 규소체는 유핵모 규소체(prickle hair phytolith)라 명명하고 이들을 형태적 특징에 따라 구분하는 것이 필요한 것으로 생각되었다. 한편 장모와 미모 규소체의 명칭은 규소체와 된 후의 형태에 근거하여 club-shape phytolith와 pipe-shape phytolith로 사용되고 있다(Kondo and Sase, 1986). 그러나 이들 또한 기원되는 세포가 확실하고, 특히 본 조사에서 장모의 경우 까끄라기에서 초대형의 장모가 발견되었다. 따라서 앞으로 보다 광범위한 조사가 수행될 경우 크기에 따른 종류의 구분이 가능할 것으로 보였다. 따라서 이들도 그 기원세포의 명칭에 따라 장모 규소체(macro-hair phytolith)와 미모 규소체(micro-hair phytolith)로 명명하고 만일 이들 간에 형태적 차이가 나타날 경우에는 그에

따라 형태적으로 세분하는 것이 타당한 것으로 생각되었다.

유두상 돌기는 표피조직 장세포의 외벽에 형성되는 돌기이다. 유두상 돌기가 형성하는 규소체에 대한 상세한 연구는 수행된 바 없고 다만 모용의 일부로 분류된 보고가 있을 뿐이다(Mulholland, 1987). 이들은 장세포 규소체의 특징으로 간주할 수도 있겠으나 규소체를 분리하기 위한 처리시 장세포에서 떨어져 나오는 경우가 많으므로 본 연구에서는 따로 분리하여 유두상 돌기 규소체로 취급하였다. 이들을 장세포 규소체의 특징으로 간주하는 것이 타당한지의 여부는 앞으로 보다 많은 식물과 토양의 규소체에 대한 조사가 수행된 후에야 보다 확실한 결론을 얻을 수 있을 것으로 생각되었다. 본 조사에서 확인된 유두상 돌기의 형태는 크기에 따라 대형, 중형, 소형으로 구분이 가능하였고 형태에 따라 원형, 경사형, 약경사형으로 구분되었다. 또한 동일 세포벽에 나타나는 배열양상에 따라 조사된 부위별로 차이를 보였다. 따라서 본 유두상 돌기 규소체(papillae phytolith)도 식물 종류에 따라 다양한 형태 및 배열양상을 나타낼 가능성이 큰 규소체로 생각되었다.

화분과 식물 표피조직의 단세포에서 형성되는 규소피는 세포내강에 규소가 축적되어 형성되는 형판규소체이다(Bombin, 1984). 이들은 타 규소체에 비하여 토양내 보존되는 기간이 길고 또한 식물 종류별로 특징적인 형태를 나타내기 때문에 많은 연구의 대상이 되었으며 형태에 따라 분류체계도 다양하게 설정되어 있다(refer to Kim and Whang, 1992 for extensive literatures). 그러나 맥상표피역에 열을 지어 나타나는 단세포에서 형성되는 규소피에 대한 조사는 많으나 맥간표피역의 장세포 사이에 콜크세포와 쌍을 이루어 나타나는 규소세포에서 생성되는 규소피에 대한 상세한 조사는 이루어진 바 없다. 특히 벼의 경우는 Metcalfe(1960)가 타 화분과 식물의 경우와는 달리 덩벨형의 규소피가 엽신의 장축에 수직으로 배열하는 특징에 근거하여 *Oryza type*으로 분류한 이후 벼가 생성하는 규소피의 종류에 대한 보다 상세한 조사는 수행된 바 없다. 본 조사에서는 조사된 7개 부위 모두에서 단세포가 발견되었고 또한 지금까지 벼에서 확인된 바 없는 종류의 규소피도 발견되었다. 즉 엽신의 경우 기존의 연구에서 확인된 엽신의 장축에 수직으로 배열하는 덩벨형의 단세포 규소피 외에 맥간표피역의 장세포 사이에 산재하여 나타나는 안장형의 규소피가 확인되었다. 엽초의 경우는 덩벨형과 안장형의 규소피 외에 십자형의 규소피가 확인되었으며, 포영 및 내영에서는 규소세포에서 생성되는 안장형과 불규칙 안장형의 규소피가 확인되었다. 특히 호영에서는 불규칙 안장형 외에 형판규소체가 아닌 주형규소체를 형성하는 단세포가 확인되었으며, 줄기에서는 맥상표피역과 맥간표피역에서 모두 안장형의 규소피가

확인되었다. 뿌리의 경우는 기원세포는 확인할 수 없었으나 엽신 및 엽초의 맥상표피역의 단세포에서 기원되는 규소피의 형태와 동일한 형태의 규소피가 확인되었다. 뿌리의 경우 모든 조직이 규소를 축적한다는 견해와(Yoshida *et al.*, 1962)과 내피의 세포간극에만 축적한다는 견해(Parry and Soni, 1972)가 각각 있어 왔다. 그러나 출현하는 규소피의 형태로 보아 후자의 견해는 지지할 수 없었다. 이상의 사실들에 근거하여 보면 규소피는 화분과 식물의 모든 부위에서 형성될 가능성이 크며, 벼의 단세포 규소피를 하나의 *Oryza type*으로 간주한 기존의 견해는 수정될 필요가 있는 것으로 생각되었다. 한편 단세포 및 규소세포에서 생성되는 규소피의 명칭과 분류체계는 연구자에 따라 차이를 보이고 있다. 즉 규소피의 명칭을 short cell phytolith로 하고 형태에 따라 구분하는 경우(Piperno, 1988; Pearsall, 1989), 특징적인 형태의 규소피를 가지는 분류군의 명칭을 사용하여 *Oryzoid class*, *Panicoid class*, *Festucoid class*, *Chloridoid class* 등 식물 분류군의 명칭을 사용하는 경우(Twiss *et al.*, 1969; Kondo and Sase, 1986), 분리된 규소피의 형태만을 고려하여 saddle type, bilobate type, cross type 등의 명칭으로 구분하는 경우(Brown, 1984) 그리고 이들을 모두 silica body로 통일하고 형태에 따라 세분하는 경우(Mulholland, 1987) 등이 있어 왔다. 특정 식물분류군의 명칭을 사용하는 경우는 그 명칭에 해당되는 분류군에 속하는 식물 중 일부만을 조사하여 얻어진 결과에 근거하여 명칭을 사용한다는데 문제가 있다. 본 조사의 결과만 보더라도 벼에서는 기존에 알려져 있던 *Oryza type* 외에 안장형과 십자형의 규소체가 발견되었다. 따라서 특정 식물분류군의 명칭을 특정 규소피를 대표하는 명칭으로 사용하는 데는 문제가 있는 것으로 생각되었다. 또한 규소피의 형태에 따라 명칭을 사용할 경우는 그들의 기원이 되는 식물이나 세포에 대한 고려가 전혀 없다는 문제가 있다. 따라서 규소피를 기원이 되는 세포의 종류에 근거하여 명칭을 정할 경우 이들은 단세포 규소체로 합이 타당하다고 볼 수 있다. 그러나 규소피는 규소축적을 위하여 전문화된 세포들의 내강에 형성되는 규소 덩어리로 세포의 형태를 반영하는 주형규소체와는 생성기작이 근본적으로 차이를 보이고 있다. 따라서 본 연구에서는 Mulholland(1987)의 견해에 따라 규소피로 명칭을 통일하여 사용하였다.

표피하 엽육조직내의 세포들에서 생성되는 규소체는 형태를 정의하기가 어렵고 또한 식물 종류별로 특징적인 형태를 확인할 수가 없기 때문에 기존의 연구들에서 큰 의미를 부여하지 않고 있다. 다만 벼의 경우 엽신의 수직형세포에서 생성되는 선형규소체(fan-shaped phytolith)는 형판규소체로 벼의 특징적인 규소체로 간주되고 있으며 고고학적인 연구에 이용된 바도 있다(Fujiwara and Sasaki, 1978). 본 조사에서도 수직

형세포에서 형성된 선형규소체와 투명세포에서 형성된 부등변사각형 규소체(trapezoidal phytolith)가 엽신과 엽초에서 확인되었다. 그 외에 가도관세포에서 형성된 가도관 규소체, 섬유세포에서 형성된 섬유 규소체 등이 확인되었다. 또한 엽육 조직 세포들이 집단을 이루어 형성되는 엽육세포 규소체도 확인되었다. 뿌리에서는 가도관세포 및 섬유세포의 규소체들이 확인되었다. 이들 중 선형규소체와 부등변사각형 규소체의 명칭은 기원세포에 의한 것이 아니고 이들 규소체의 형태에 따른 것이다. 이는 기존의 많은 연구들에서 통용이 되는 용어이며 특히 이들의 형태적 특징이 너무도 뚜렷하기 때문에 이들의 명칭은 기존의 분류체계를(Kondo and Sase, 1986) 따르는 것이 무리가 없을 것으로 생각되었다.

## 사 사

본 연구는 1992-93 한국과학재단 일반 연구비(921-0400-012-2)의 지원으로 수행되었음.

## 인 용 문 헌

- Blackman, E.** 1971. Opaline silica in the range grasses of southern Alberta. *Can. J. Bot.* **49**: 769-781.
- Bombin, M.** 1984. On phytoliths, late quaternary ecology of Beringia, and information evolutionary theory. Ph. D. dissertation, University of Alberta, Edmonton.
- Brown, D.A.** 1984. Prospects and limits of a phytolith key for grasses in the Central United States. *J. Archaeol. Sci.* **11**: 345-368.
- Ellis, R.P.** 1979. A procedure for standardizing comparative leaf anatomy in the Poaceae. II. The epidermis as seen in surface view. *Bothalia* **21**: 641-676.
- Esau, K.** 1977. Anatomy of Seed Plants (2nd ed.) John Wiley and Sons, New York. 550 pp.
- Fujiwara, H. and A. Sasaki.** 1978. Fundamental studies of plant opal analysis. (2) The shape of the silica bodies of *Oryza*. *Archaeol. & Sci.* **11**: 9-20.
- Geis, J.W.** 1978. Biogenic opal in three species of gramineae. *Ann. Bot.* **42**: 1119-1129.
- Hodson, M.J. and A.G. Sangster.** 1988. Silica deposition in the inflorescence bracts of wheat (*Triticum aestivum*). I. Scanning electron microscopy and light microscopy. *Can. J. Bot.* **66**: 829-838.
- Kaplan, L. and M.B. Smith.** 1988. Procedures for phytolith reference materials. Unpublished manuscript distributed at the 45th annual meeting of the Society for American Archaeology, Philadelphia.
- Kaufman, P.B., S.L. Soni and W.C. Bigelow.** 1973. Scanning electron microscopic analyses of the leaf and internodal epidermis of the rice plant (*Oryza sativa*). *Phytomorphology* **52-58**.
- Kim, Kyungsik and S.S. Whang.** 1992. Nature of phytoliths and their applications in botany. *Korean J. Bot.* **35**: 283-305.
- Kondo, R. and T. Sase.** 1986. Opal phytoliths, their nature and application. *Quat. Res.* **25**: 31-63.
- Kunoh, H. and S. Akai.** 1977. Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis of dumbbell-shaped bodies in rice lamina epidermis. *Bull. Torrey Bot. Club* **104**: 309-313.
- Lewin, J. and B.E.F. Reimann.** 1969. Silica and plant growth. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **20**: 289-304.
- Metcalfe, C.R.** 1960. Anatomy of the Monocotyledons. I. Gramineae. Oxford University Press, London.
- Mulholland, S.C.** 1987. Phytolith studies at Big Hidatsa, North Dakota. Ph.D. Dissertation, University of Minnesota, Duluth.
- Ollendorf, A.L., S.C. Mulholland and G.Jr. Rapp.** 1988. Phytolith analysis as a means of plant identification: *Aruno donax* and *Phragmites communis*. *Ann. Bot.* **61**: 209-214.
- Palmer, P.G.** 1976. Grass cuticles: A new paleoecological tool for East African lake sediments. *Can. J. Bot.* **54**: 1725-1734.
- Parry, D.W. and S.L. Soni.** 1972. Electron-probe microanalysis of silicon in the roots of *Oryza sativa* L. *Ann. Bot.* **36**: 781-783.
- Pearsall, D.M.** 1978. Phytolith analysis of archaeological soils: Evidence for maize cultivation in formative Ecuador. *Science* **199**: 177-178.
- Pearsall, D.M.** 1989. Paleoethnobotany: A Hand Book of Procedures. Academic Press, New York. pp. 311-438.
- Pearsall, D.M. and E.H. Dinan.** 1992. Developing a phytolith classification system. In, Phytolith Systematics, G. Rapp and S.C. Mulholland (eds.). Plenum Press, New York. pp. 37-64.
- Piperno, D.R.** 1988. Phytolith Analysis: An Archaeological and Geological Perspective. Academic Press, New York.
- Rapp, G.** 1986. Morphological classification of phytoliths. In, Plant Opal Phytolith Analysis in Archaeology and Paleocology, I. Rovner (ed.). Occasional Papers No. 1 of the Phytolitharien. North Carolina State University, Raleigh. pp. 33-34.
- Rovner, I.** 1971. Potential of opal phytoliths for use in paleoecological reconstruction. *Quatern. Res.* **1**: 343-359.
- Soni, S.L. and D.W. Parry.** 1973. Electron probe microanalysis of silicon deposition in the inflorescence bracts of the rice plant (*Oryza sativa*). *Am. J. Bot.* **60**: 111-116.
- Soni, S.L., P.B. Kaufman and W.C. Bigelow.** 1972. Electron probe analysis of silicon and other elements in leaf epidermal cells of the rice plant (*Oryza sativa* L.). *Am. J. Bot.* **59**: 38-42.
- Twiss, P.C., E. Suess and R.M. Smith.** 1969. Morphological classification of grass phytoliths. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **33**: 109-115.
- Whang, S.S.** 1993. Phytolith morphology and its taxonomic

significance in the genus *Oryza*. Ph.D thesis, Chonbuk National University, Chonju.

**Wilding, L.P. and L.R. Drees.** 1973. Scanning electron microscopy of opaque opaline forms isolated from forest soils in Ohio. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 37: 647-650.

**Wilding, L.P. and L.R. Drees.** 1974. Contribution of forest opal and associated crystalline phases to fine silt and clay fractions of soils. *Clays & Clay Mineral.* 22: 295-

306.

**Yoshida, S., Y. Ohnishi and K. Kitagishi.** 1962. Histochemistry of silicon in the rice plant. III. The presence of a cuticle-silica double layer in the epidermal tissue. *Soil Sci. Pl. Nutr. Tokyo* 8: 1-5.

(1993. 12. 6 接受)

## Opal Phytolith Morphology in Rice

Whang, Sung Soo and Kyung-Sik Kim\*

*Department of Biology, Chonbuk National University, Chonju*

### ABSTRACT

The opal phytolith types in *Oryza sativa* L. were examined with light and scanning electron microscope, and we suggested the standard terminologies based on original cells of the phytoliths *in situ*. The distinctive forms of opal phytoliths were observed in all plant parts such as leaf blade, leaf sheath, culm, root, glume, lemma, and palea. The phytolith forms originated from long cell, short cell, and dermal appendages were different from part to part. The opal phytoliths derived from the long cells showed the most various form: twelve types were identified based on side wall shape. The results showed that the leaf blade did include almost all types of opal phytolith observed in the other parts of rice.

*Key words*: phytolith, morphology, rice

\*Corresponding author: Fax 82-652-70-3315