

부유부엽성 생이가래 모용의 구조적 특징

지 상 용, 김 인 선*
계명대학교 자연과학대학 생물학과

Structural Features of Various Trichomes Developed in *Salvinia natans*

Sang-Yong Ji and InSun Kim

Biology Department, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea
(Received October 24, 2002; Accepted November 8, 2002)

ABSTRACT

Salvinia natans, an unique water fern having a small rootless body, developed three different types of trichomes throughout the plant. The most peculiar type exhibiting rows of obvious, whitish, multicellular trichome clusters was noticed in the upper surface of the floating leaves. Eight to ten branches within a cluster extended ca. 370~420 μm from the leaf surface. No stalk cell was found, however, four large epidermal cells were discernable at the base of four central branches in the cluster. Each branch consisted of 8~10 obliquely oriented small cells that gradually decreased in size toward the branch tip.

The second type was found in the lower surface of the floating leaves, stems, and sporocarps. Multicellular uniseriate trichomes, ca. 430~980 μm long, were distributed all over these structures. The tip of trichome was acicular, but a semi spheric protuberance of approximately 24~32 μm in diameter occurred at the base of each trichome. The protuberance appeared to be firmly attached to the side of the basal cell, however, internal connection to the trichome cell itself was uncertain.

The third type was similar to the second in that multicellular uniseriate trichomes with acicular tip and a protuberance at the base were present. However, the trichomes were considerably long relative to the second type, and only occurred along the surface of highly dissected, submerged leaves. A majority of the trichomes exceeded more than 2 mm in length that hung downward in the water. Regardless of trichome type, all trichomes contained a huge central vacuole with very thin cytoplasm, resulting from the fusion of several vacuoles during early trichome development. The various densely distributed trichomes formed in *Salvinia natans* probably play an important role in plant buoyancy.

Key words : Buoyancy, Large vacuole, *Salvinia natans*, Three types, Trichome structure

* Correspondence should be addressed to Dr. InSun Kim, Biology Department, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea. Ph: 053-580-5305, FAX: 053-580-5164, E-mail: botany@kmu.ac.kr
Copyright © 2002 Korean Society of Electron Microscopy

서 론

축소된 식물체를 형성하는 부유부엽성 수생식물의 잎은 광합성과 부유 기능을 동시에 수행할 수 있도록 구조적으로 발달한다(Sculthorpe, 1967; Lemon & Posluszny, 1997; Kim & Kim, 2000). 부유엽은 엽육조직 내에 통기조직인 기실을 형성하고 표피조직에는 엽침이나 모용 등의 이형세포를 발달시켜 부유 기능을 갖도록 구조적으로 형태가 변화되기도 한다(Kaul, 1976; Croxdale, 1979; Andrews, 1990; Oliver, 1993). 또한, 수중에서 식물체를 지지하거나 수중의 무기이온 및 양분을 흡수하여 식물체의 각 부위로 이동시키는 통도 기능에 중요한 역할을 하는 줄기나 뿌리의 표피조직에도 이형세포를 발달시킨다. 그러나 일부 부유부엽성 수생식물 중에는 좁개구리밥(*Wolffia*)의 경우처럼 전혀 뿌리를 형성하지 않거나(Bernard & Bernard, 1990; White & Wise, 1998; Lemon et al., 2001), 생이가래(*Salvinia*)에서와 같이 식물체의 다른 조직이나 기관이 수중의 뿌리형태로 변형되는 경우도 있다(Croxdale, 1978, 1979, 1981; Lemon & Posluszny, 1997).

생이가래는 양치식물 특유의 구조적 특징인 줄기 정단의 권상개엽(crozier formation, circination)을 형성하지 않는 수생 양치식물로, 절(node)에서 발달하는 한 쌍의 액아(axillary bud)에서 운생하는 잎을 형성한다(Croxdale, 1978; Lemon & Posluszny, 1997; 지, 2002). 이들은 뿌리가 형성되지 않고 아주 짧은 기간 내에 액아에 의한 영양번식을 하므로 줄기에 발달하는 수 쌍의 부유엽과 가늘고 길게 세분된 침수엽만으로 완전한 식물체를 이룬다(Jones, 1987; Room, 1990). 축소된 식물체로 분화되는 이들에 대한 개괄적인 구조나 발달형태에 대해서는 광학현미경적 수준(Sculthorpe, 1967; Kaul, 1976; Croxdale, 1978, 1979, 1981; Hébant-Mauri, 1993), 또는 공초점현미경으로 기관발생 등(Lemon & Posluszny, 1997, 1998)이 조사되어 있다. 그러나, 식물체 전 표피조직에 밀생 분포하는 모용에 초점을 두어 이들을 구조적으로 연구한 바는 없다. 이에 본 연구에서는 이들 생이가래의 부유엽, 침수엽, 줄기, 생식구조에 발달하는 여러 모용의

형태 및 미세구조에 초점을 두고 비교 연구하여 표피조직 및 세포수준에서의 구조적 분화 발달양상을 자세히 밝혀보고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험 재료

연구대상 식물인 생이가래(*Salvinia natans* (L.) ALL.)는 경상남도 창원군 일원의 늪지에 부유하는 식물들로 2000년 5월~2001년 10월에 걸쳐 수 차례 채취하여 실험에 이용하였다. 약 10~12×15~20 mm (폭×길이)의 성숙한 부유엽, 길이 10~20 mm의 침수엽, 부유엽 및 절을 포함한 줄기, 수 개의 대포자낭 및 소포자낭을 채취하였다.

2. Transmission electron microscopy (TEM)

TEM 연구를 위한 생육재료는 Kim & Kim(2000) 및 Ji(2002)의 방법을 일부 변형하여 포자낭을 제외한 각각의 조직을 다음과 같이 실험하였다. 부유엽은 약 1×2 mm로 세절하였고, 침수엽은 정단부위로부터 약 5 mm되는 부분을 세절하여 3% glutaraldehyde 용액으로 실온에서 3시간 전고정하였다. 전고정 후 0.1 M phosphate buffer(pH 6.8) 용액으로 15분 간격으로 3회 세척하였고, 세척된 시료는 4°C에서 2% osmium tetroxide(OsO₄) 용액으로 12시간 이상 후고정 처리하였다. 후고정되어 산화된 시료들을 동일 buffer로 다시 3회 세척하였다. 2회 고정 후 세척된 시료를 graded acetone series에 의해 탈수하여 65°C에서 48시간 동안 중합시켰다. 제작된 유리칼로 Reichert Ultracut-S ultramicrotome상에서 약 0.5~1.0 μm의 후박절편을 만들어 0.1% toluidine blue 용액으로 15~30초간 염색하여 Zeiss 광학현미경으로 조사하였다. 이후 diamond knife로 60~90 nm의 얇은 초박절편을 제조하여 0.35% chloroform-diethanol로 coating된 그리드로 옮기고 uranyl acetate와 lead citrate로 이중염색하였다. 2~3% uranyl acetate 용액에서 30~45분 염색하고 3차 증류수로 3회 세척하였고, 이를 다시 lead citrate에서 15~30분 염색하였다. 위의 과정을 거친 초박절

편을 기초과학 지원연구원 (KBSI) 대구분소 소재 Hitachi H-7100 TEM으로 연구하였다.

3. Scanning electron microscopy (SEM)

SEM법으로 연구될 포자낭 등의 시료는 위 TEM 법과 동일한 전·후고정 및 탈수과정을 거쳐 3회 100% 아세톤 및 isoamyl acetate로 처리되어 4°C에서 냉장 보관하였다. 이후 liquid CO₂에 의한 CPD (critical point drying) 과정을 거쳐 약 10 nm의 금속 피막을 입힌 시료는 KBSI 대구분소 소재 Hitachi S-4200 SEM으로 연구되었다. 수집된 결과는 file로 출력된 후 compact disc로 저장되어 분석되었다.

결 과

부유성의 줄기가 불규칙적으로 분지하는 생이가래는 각 절의 액아에서 한 쌍의 부유엽과 가늘고 길게 세분된 하나의 침수엽이 매우 빠르게 성장한다. 이때 부유엽, 침수엽, 줄기 및 생식구조인 포자낭 등의 표피조직에는 여러 가지 모용이 발달하여 이들을 신속하게 둘러싸며 포위하였다 (Fig. 1). 가장 특이한 유형은 부유엽 상피조직에 발달하는 다세포성 그룹모용 (trichome cluster)으로 분지 (branch) 8~10개가 모여 그룹을 이룬 회백색의 모용들이 엽육의 중앙 부위를 기점으로 비교적 규칙적으로 분포하였다. 약 370~420 μm으로 신장하는 이들 모용은 중맥 (mid-vein)을 중심으로 엽신 (leaf blade)의 양면에 40~47° 각도로 엽을 지어 V-형태로 배열하며, 각 분지 내에는 다시 8~10개의 타원형의 세포들이 나선상으로 배열되어 있다 (Fig. 2). 분지의 기저부위에는 자루세포 (stalk cell)가 형성되지 않으며, 각 분지는 상피세포로부터 직접 기원하였다. 분지 기저부위의 세포들은 약 30~42×95~119 μm (길이×폭)의 비교적 큰 세포이나 분지의 끝 부위로 갈수록 점차 작아져 정단 세포는 직립 (erect)의 65~75×25~30 μm의 작은 장방형 세포로 축소되었다 (Fig. 3). 이들 세포의 표면은 소립자성 (granular texture) 특성을 나타내었다 (Fig. 3, Inset). 특히 그룹모용의 중앙에 위치하는 4개 분지의 기저 상피세포들은 직경이 약 90~100 μm으로 주위

의 다른 분지의 기저세포나 부유엽의 일반 상피세포들에 비해 현저히 크게 발달하였다. 모용 내 분지들의 정단은 융합되지 않고 분리되어 있으며 다소 중앙으로 모이는 양상을 나타내었다. 분화초기 이들 모용세포의 세포질에는 핵, 미토콘드리아, 색소체, 소포체, 골지체 등이 잘 발달하였고 (Figs. 4, 5), 분지 내 인접한 세포들은 많은 원형질연락사 (plasmodesmata)에 의해 서로 연결되어 있다. 특히 다양한 크기의 여러 소액포는 점차 융합하여 확장되면서 세포용적의 대부분을 차지하는 거대한 액포로 발달하였다.

반면, 부유엽 하피조직과 줄기, 그리고 대포자낭 및 소포자낭 표피조직에는 길이 430~980 μm에 이르는 다세포성 단순모용들 (simple trichomes)이 분포하였다 (Figs. 6, 7). 이들 모용은 소립자성 표면의 상피 그룹모용과는 달리 활면성 (smooth texture) 특징을 나타내며 (Fig. 7, Inset), 일반적으로 4~6개의 신장된 세포로 구성되어 있고 정단 및 기저부위는 매우 상이하였다. 모용의 정단세포는 모용의 발달과 동시에 침상돌기형 (acicular)으로 변형되었으며, 기저부위 세포에는 직경 24~32 μm의 작은 반구형의 세포가 형성되어 측면에 부착하였다 (Fig. 8). 이들 단순모용의 분화 발달 양상을 부유엽 하피조직에서 보면, 단순모용의 발달이 시작될 때 모용세포로 분화될 하표피 세포는 분열하여 2 세포로 된 후 (Fig. 9), 다시 1~2회 재 분열하여 다세포성으로 되었다 (Fig. 10). 이들 세포 또한 상피조직 모용의 경우에서와 같이 발달초기에는 세포소기관들이 세포질에 충분하나, 이후 성숙하면서 액포가 확장되어 세포질은 세포벽 주위에 극히 일부만 분포하였다 (Fig. 11).

가늘고 길게 세분되는 수중의 침수엽은 성장 초기 밀생하는 다세포성 단순모용에 의해 둘러싸여 보호를 받으며 신장하였다 (Fig. 12). 이 단계의 모용세포들은 이미 수 백 μm~1 mm 이상이 되며, 부유엽 하피조직 등에 발달하는 단순모용과 유사하게 침상돌기형 정단세포 및 기저부위 세포측면에 작은 반구형의 세포들이 부착되어 있다. 침수엽 주위의 모용은 신속한 분열 및 성장으로 10~13 또는 그 이상의 세포로 구성된 길이 2~2.5 mm의 가늘고 긴 모용으로 발달하였다 (Fig. 13). 이들 모용은 수직으로 길이 생장하는 침수엽을 포위하여 수중에 늘어지는 수근계

(fibrous root system)와 같은 형태를 이루었다. 분화초기 이들 모용세포에는 여러 개의 작은 액포와 함께 색소체, 미토콘드리아, 소포체 등의 세포소기관들이 발달하였고(Fig. 14), 액포 내에는 대개 소립자성 물질(granular substances)이 분포하였다(Fig. 15). 이와 같이 길게 신장한 모용 들은 수 십 mm 이상 자란 침수엽의 표면부위를 일정한 간격없이 비교적 느슨하게 포위하였다(Fig. 13). 모용세포 내에는 세포용적의 대부분을 차지하는 거대한 액포가 형성되어 있고, 일부 액포에는 구형의 지질성 구조(lipoid body, Fig. 16) 또는 전자밀도가 높은 물질이 다량 축적되어 있다(Fig. 17).

고 찰

생이가래는 부유하는 줄기와 각 절에서 운생하는 잎들로 구성된 수생 양치식물로, 한 쌍의 부유엽은 2열로 배열하고 수중의 침수엽은 수 차례 갈라져서 외형상 뿌리처럼 보인다(Lemon & Posluszny, 1997, 1998; Ji, 2002). 많은 수생식물은 식물체 전체 또는 일부 기관의 표피조직에 엽침이나 모용 등의 이형세포를 형성하는데, 본 연구의 생이가래에서도 기관이나 조직에 따라 모용의 발달이 상이하어 부유엽과 침수엽은 물론, 부유엽에서도 상피와 하피조직에 따라 서로 다른 유형의 모용이 발달하였다. 그러나, *Salvinia* 식물체에 발달하는 모용에 대하여는 부유엽 상피조직에 분포하는 유형이 자주 언급되어 있고(Sculthorpe, 1967; Croxdale, 1978; Lemon & Posluszny, 1997), 그 외의 다른 유형에 대하여는 거의 설명되어 있지 않다.

여러 *Salvinia* 종에서 가장 잘 알려진 모용 유형은 부유엽 상피에 발달하는 "egg-beater" 형으로, 다세포성인 이들은 4개의 분지가 하나의 자루세포 위에 형성되고 각 분지의 정단 부위가 융합되어 자루세포 위 부분이 구형을 이루는 모용이다(Sculthorpe, 1967; Croxdale, 1978; Tyron & Tyron, 1982; Lellinger, 1985; Jacobsen, 1989; Andrews, 1990; Oliver, 1993; White & Turner, 1995; Lemon & Posluszny, 1997). 그러나 생이가래에서는 정단 부위가 융합되지 않는 8~10개의

분지가 자루세포 형성없이 그룹모용을 이루어 상피조직에 규칙적으로 배열하였다. 본 연구에서도 4개의 분지로 구성된 그룹모용을 어린 부유엽에서 관찰할 수 있었는데, 이들은 부유엽이 확장하면서 초기에 형성된 분지 주위에 인접한 일부 표피세포들이 다시 분열하여 분지를 형성·추가함으로써 8~10개의 분지로 발달하는 것으로 추정되었다. 특히 그룹모용의 중앙에 위치한 4개 분지의 기저 상피세포들은 주위 분지의 기저 상피세포나 기본 상피세포들에 비해 현저히 크게 발달하였는데, 이는 아마도 발달초기에는 분지로 될 상피세포가 크게 자란 후 분열하여 다세포성 분지로 되나, 이후 생장이 매우 빠르게 진행되면서 형성되는 주위의 분지들은 이들의 기저 상피세포가 미처 크게 자랄 여유 없이 지속적으로 분열하여 분지로 되기 때문에 후에 형성된 분지들의 기저 상피세포는 작은 것으로 추정된다.

위의 그룹모용과는 달리, 부유엽 하피, 줄기, 포자낭 표면에는 4~6 세포로 된 약 430~980 μm 의 단순 모용들이 표면에 복화상으로 배열되어 조밀하게 분포하였다. 모용 내 각 세포들은 신장되어 있으나 정단 부위는 침상돌기형으로 각질화 되고, 기저부위의 세포 측면에는 반구형의 직경 24~32 μm 의 비교적 작은 세포들이 부착하여 있다. 측면에 부착된 부풀어진 이 세포가 모용의 기저부위 세포와 기원이 같은 연결된 하나의 세포인지, 혹은 원형질연락사로 연결되어 있는 두 개의 분리된 세포인지, 아니면 전혀 연결되지 않은 두 개의 독립된 세포들인지에 대하여는 아직 밝혀지지 않은 상태이다.

수 차례 세분된 침수엽의 표면에는 이와 유사한 형태이나 약 2~2.5 mm 이상으로 매우 신장된 다세포성 모용이 침수엽 전면을 둘러싸며 분포하였다. 어린 침수엽은 밀생하는 수 백 μm ~1 mm 이상의 모용에 의해 포위되어 보호를 받으나, 성숙하게 되면 평균 2 mm 이상으로 성장한 모용에 둘러싸이게 된다. 침수엽을 포위하여 하향으로 배열하는 이들 모용에 의해 침수엽 및 모용들은 외형상 수염뿌리와 같은 양상을 나타내었다.

또한 모용세포의 미세구조 연구에서는 식물체 전 표면에 분포하는 모용세포들이 모두 다수의 색소체를 함유하는 것으로 밝혀졌다. 이는 모용 분화발달에

필요한 에너지를 해당 세포에서도 일부 생성하는 것으로 생각되며, 이러한 현상은 생이가래와 같이 축소된 식물체를 이루는 부유부엽성 *Azolla* (Whatley, 1981; Gunning & Steer, 1996) 또는 *Spirodela* (Kim & Kim, 2000) 등의 수중 뿌리표면에서도 보고된 바 있다. 분화 초기 모용세포들은 충분한 세포질과 비교적 작은 액포들로 구성되고 액포 내에는 소립자나 전자밀도가 높은 물질들이 흔히 축적되었다. 그러나 성숙한 모용세포에는 액포 융합현상으로 세포용적의 대부분을 차지하는 거대한 액포가 형성되었고, 액포 확장에 의해 세포질은 세포벽 주위로 밀려나 세포용적의 극히 일부만 차지하였다. 세포용적의 대부분을 액포가 차지하므로 모용세포의 세포질 밀도는 그리 높지 않게 된다. 일반적으로 세포질의 밀도는 물보다 높기 때문에 가라 앉으려는 경향이 있으므로 (Lee, 2000) 세포질의 양이 감소하면 식물체는 부력을 더 받을 수 있게 된다. 그러므로, 비교적 발달초기에 모용세포에 형성되는 거대한 액포는 생이가래의 부유에 중요한 역할을 수행할 것이다. 이와 더불어 침수엽을 둘러싸는 긴 모용세포의 액포에 축적되는 지질성 구조물도 식물체 부유와 연관이 있을 것으로 사료된다. 또한, 부유엽 하피, 줄기, 침수엽, 포자낭 표면에서 관찰된 단순모용의 기저부위 세포 측면에 부착하는 작은 반구형의 부풀어진 세포들도 큰 액포를 형성하는 데 이 또한 부유 기능에 일조를 할 것으로 생각된다. 이와 같이 생이가래 식물체 전 표피조직에 발달하는 여러 유형의 모용, 각 모용의 형태구조적 특성 및 거대 액포 형성으로 낮아진 세포질의 밀도 등은 식물체 내부조직에 형성된 기실과 함께 생이가래의 부유 기능을 한 층 더 효과적으로 하기 위하여 유도된 구조적 적응이라 추정되고 있다.

참 고 문 헌

Andrews SB: Ferns of Queensland. pp. 305-306. Queensland Department of Primary Industries, Brisbane, 1990.
 Bernard FA, Bernard JM: Flower structure, anatomy and life history of *Wolffia australiana* (Benth.) den Hartog and van der Plas. Bull Torrey Bot Club 117: 18-26, 1990.
 Croxdale JG: *Salvinia* leaves. I. Origin and early differentiati-

on of floating and submerged leaves. Can J Bot 56: 1982-1991, 1978.
 Croxdale JG: *Salvinia* leaves. II. Morphogenesis of the floating leaf. Can J Bot 57: 1951-1959, 1979.
 Croxdale JG: *Salvinia* leaves. III. Morphogenesis of the submerged leaf. Can J Bot 59: 2065-2072, 1981.
 Gunning BES, Steer MW: Plant Cell Biology: Structure and Function. pp. 1-60, Jones and Bartlett Publishers, Boston, 1996.
 Hébert Mauri R: Cauline meristems in leptosporangiate ferns: structure, lateral appendages, and branching. Can J Bot 71: 1612-1624, 1993.
 Jacobsen WBG: The Ferns and Fern Allies of South Africa. pp. 489-492. Butterworths Ltd., Durban, 1989.
 Ji SY: Structural differentiation of heterophylly in *Salvinia natans* (L.) ALL. Master's Thesis, Keimyung University. pp. 1-36, 2002.
 Jones DL: Encyclopedia of Ferns: An Introduction to Ferns, Their Structure, Biology, Economic Importance, Cultivation and Propagation. p. 70, Lothian Publishing Company Ltd, Melbourne, 1987.
 Kaul RB: Anatomical observations on floating leaves. Aquat Bot 2: 215-234, 1976.
 Kim KA, Kim IS: Structural aspects of the reduced free floating hydrophyte, *Spirodela polyrrhiza*. Kor J Electron Microsc 30: 233-240, 2000.
 Lee WS: Modern Plant Anatomy. pp. 48-68, 209-213, 285, Woosung Publishing Co., Seoul, 2000.
 Lellinger DB: A field manual of the Fern & Fern Allies of the United States and Canada. pp. 403-404, Smithsonian Institution Press, Washington DC, 1985.
 Lemon GD, Posluszny U: Shoot morphology and organogenesis of the aquatic floating fern *Salvinia molesta*. D. S. Mitchell examined with the aid of laser scanning confocal microscopy. Intl J Plant Sci 158: 693-703, 1997.
 Lemon GD, Posluszny U: A new approach to the study of apical meristem development using laser scanning confocal microscopy. Can J Bot 76: 899-904, 1998.
 Lemon GD, Posluszny U, Husband BC: Potential and realized rates of vegetative reproduction in *Spirodela polyrrhiza*, *Lemna minor* and *Wolffia borealis*. Aquat Bot 70: 79-87, 2001.
 Oliver JD: A review of the biology of giant *Salvinia* (*Salvinia molesta* Mitchell). J Aquat Plant Manage 31: 227-231,

1993.
 Room PM: Ecology of a simple plant herbivore system: biological control of *Salvinia*. Trends Ecol 5: 74-79, 1990.
 Sculthorpe CD: The Biology of Aquatic Vascular Plant. pp 5-10, 176-204, 218-247, 259-267, Edward Arnold Ltd., London, 1967.
 Tryon RM, Tryon AF: Ferns and Allied Plants. Springer Verlag, New York. pp. 770-776, 1982.
 Whatley KM: Chloroplast development in *Azolla* roots. New Phytol 89: 129-138, 1981.
 White RA, Turner MD: Anatomy and development of the fern sporophyte. Bot Rev 61: 281-305, 1995.
 White SL, Wise RR: Anatomy and ultrastructure of *Wolffia columbiana* and *Wolffia borealis*, two nonvascular aquatic angiosperms. Intl J Plant Sci 159: 297-304, 1998.

< 국문초록 >

생이가래는 뿌리가 형성되지 않고 부유엽, 침수엽, 줄

기로만 구성되어 있는 부유부엽성 수생식물이다. 본 연구는 축소된 생이가래 식물체에 발달하는 세 유형의 모용에 대하여 형태·구조적으로 연구하였다. 부유엽 상피에는 중맥을 중심으로 규칙적으로 배열된 370~420 μm 크기의 다세포성 모용이 8~10개씩 그룹을 이루며 분포하였다. 반면, 부유엽 하피, 줄기, 포자낭 표면에는 4~6개 세포로 이루어진 430~980 μm의 모용이 발달하였는데, 이때 모용 기저세포의 측면에는 직경 24~32 μm의 반구형의 팽창된 세포가 형성되어 부착하였다. 이와는 달리, 가늘고 길게 세분된 침수엽 표면에는 두 번째 유형과 유사하나 10~13 또는 그 이상의 세포로 구성된 2~2.5 mm 이상의 매우 긴 모용들이 밀생하여 원주형의 침수엽 표면 전체를 하향으로 둘러싸며 발달하였다. 이들 모용세포에는 발달 초기에 일어난 액포 융합현상으로 세포용적의 대부분을 차지하는 거대 액포가 형성되어 있어 모용세포의 세포질 밀도는 그리 높지 않은 상태를 유지하게 된다. 이와 같이 식물체 전 표피조직에 발달하는 여러 유형의 모용은 조직내부에 형성되어 있는 기실과 함께 축소된 생이가래 식물체의 수중 부유에 중요한 기능을 수행하는 것으로 추정되었다.

FIGURE LEGENDS

- Fig. 1.** Floating leaf blade covered with different types of trichomes in the epidermis. A = arechyma, T₁ = cluster trichome, T₂ = simple trichome. Bar = 200 μm.
Fig. 2. Part of leaf margin exhibiting early development of cluster trichomes (T). No stalk cells are found. Young floating leaf. E = epidermis. Bar = 75 μm.
Fig. 3. Closeup of trichome clusters (T) in a mature floating leaf. E = epidermis. Bar = 10 μm. Inset: Granular surface of a trichome branch cell. Bar = 0.2 μm.
Figs. 4, 5. Individual branch cell containing plastids (Fig. 4, transverse section, bar = 3 μm), or dense cytoplasm with plasmodesmata (arrowheads) (Fig. 5, longitudinal section, bar = 1 μm). Inset: Two distinct Golgi bodies. Arrows indicate microtubules. Bar = 1 μm. er = endoplasmic reticulum, G = Golgi body, M = mitochondria, N = nucleus, P = plastid, V = vacuole.
Figs. 6, 7. Simple, multicellular trichomes (T) developed from the reproductive structure, megasporangium (Fig. 6, bar = 120 μm), or in the lower epidermis of the floating leaf (Fig. 7, bar = 20 μm). Inset: Smooth surface of a simple trichome cell. Bar = 0.5 μm.
Fig. 8. Semi-spheric cell (arrowhead) attached to the basal cell (B) of the simple trichome (T). Lower epidermis of the floating leaf. Bar = 10 μm.
Fig. 9. Simple trichome (arrow) at two-celled stage. E = epidermis, V = vacuole. Bar = 5 μm.
Fig. 10. Simple trichomes (T) at early multicellular stage. Bar = 4 μm.
Fig. 11. Later stage of simple trichome cells (T) with extremely thin cytoplasm. E = epidermis. Bar = 10 μm.
Fig. 12. Trichomes (arrows) densely covering the surface of a developing submerged leaf. Bar = 500 μm.
Fig. 13. Highly elongated trichomes (T) distributed along the surface of a mature submerged leaf. E = epidermis. Bar = 150 μm.
Fig. 14. Early stage of trichome cells in the submerged leaf surface. N = nucleus, V = vacuole. Bar = 5 μm.
Figs. 15-17. Large vacuole (V) of an elongated trichome filled either with granular substances (Fig. 15, bar = 5 μm), numerous lipoid globules (L) (Fig. 16, bar = 5 μm), or electron-dense substances (arrow) (Fig. 17, bar = 10 μm). Submerged leaf.





