

서식환경에 따른 통발속 (*Utricularia*) 포충낭의 형태 분화

이 경 란, 김 인 선*

계명대학교 자연과학대학 생물학과

Morphological Differentiation of the Trap in Aquatic and Terrestrial *Utricularia* Species

Kyoung Lan Lee, InSun Kim*

Biology Department, College of Natural Sciences, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea
(Received December 3, 2010; Revised December 17, 2010; Accepted December 20, 2010)

ABSTRACT

Utricularia forms small, but complex carnivorous trap along the stem either in water or in soil depending upon species. The shapes and sizes of the traps, appendages, and trichomes are known to differ among aquatic, terrestrial and epiphytic species. In the present study, the morphology and microstructure of the trap in aquatic *Utricularia japonica* and terrestrial *U. livida* were examined using light and electron microscopy. The aim of this study was to compare the characteristics of trap features between the aquatic and terrestrial species. The trap was found to be comprised of a thin walled bladder with numerous capitate trichomes, two-armed bifid and four-armed quadridif glands in both species; however, the traps of the two species were different in size, and number and morphology of the trichomes and glands. Aquatic *Utricularia* was chlorenchymatous with chloroplasts distributed throughout the body, whereas the terrestrial species was translucent without plastids due to an adaptation to underground habitats. Furthermore, the former differed considerably in that the traps developed antenna and appendages around the entrance area. A peculiar trap entrance was also noted in *U. livida*, which exhibited radiating rows of various trichomes within funnel-shaped tissue. A large number of glandular trichomes covered the entrance area and door surface with four trigger hairs each in the aquatic form but only two in the terrestrial form. The glandular trichomes near the door secreted a large amount of mucilage that temporarily composed the velum in the *U. japonica*, however, it was not observed in the terrestrial species. All of the aforementioned features were highly related in their structure and function during carnivorous mechanism in *Utricularia*. The current findings provide important data for further comparison of the different life forms within *Utricularia*.

Keywords : Aquatic, Morphology, Microstructure, Terrestrial, Trap, *Utricularia* species

서 론

식충식물의 포충엽은 특수하게 변형된 잎으로 종에 따라 상이하게 분화한다. 이들 포충엽은 끈끈이주걱에서와 같이

잎 형태의 포충엽으로 식충기작을 수행하는 종류에서부터 주머니 형태의 포충낭 구조로 변형되어 기능을 수행하는 종류에 이르기까지 다양하게 발달한다(Slack, 2000). 포충엽이나 포충낭의 형태, 구조, 식충의 기작 등의 특성은 식충식물 종들을 함정식, 점착식, 올가미식, 흡입식으로 구분하며

* Correspondence should be addressed to Dr. InSun Kim, Biology Department, College of Natural Sciences, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea. Ph.: (053) 580-5305, Fax: (053) 580-5305, E-mail: botany@kmu.ac.kr

(Juniper et al., 1989; Barthlott et al., 2007), 가장 신속한 식충의 기작은 통발속(*Utricularia*)의 흡입식 포충낭에서 나타난다. 이들의 포충낭 입구(trap entrance)는 정교하고 독특한 형태로 발달하여 먹이 포획의 초기 단계에서 중요한 기능을 수행할 수 있도록 분화된다.

통발속 종들은 서식하는 환경에 따라 물속의 수생형(aquatic form)과 땅속의 지생형(terrestrial form), 그리고 지상의 착생형(epiphytic form)으로 대별되고, 각각 독특한 포충낭 형태 및 구조로 발달한다(Juniper et al., 1989; Reut & Fineran, 2000; Slack, 2000; Rutishauser & Isler, 2001; Reifenrath et al., 2006). 뿌리가 없는 지상경 또는 지하경 줄기를 따라 형성되는 포충낭은 포충낭 벽(trap wall) 내·외부 압력 차이를 이용하여 매우 빠른 속도로 덧문(trap door)을 여닫으며 먹이를 포획한다(Juniper et al., 1989; Schnell, 2002; Barthlott et al., 2007). 위 세 유형 중 물속에 서식하는 종들은 덧문 주위에 발달하는 독특한 분비구조에서 수종의 곤충을 유혹하는 물질을 다량 분비하여 덧문이 열릴 때 다양한 모용과 함께 곤충을 포획하는 것으로 알려져 있다(Richards, 2001). 특히, 덧문 중앙에 위치하는 감각모(trigger hairs)와 얇은 포충낭벽 내부 및 외부 표피조직에 분포하는 짧거나 긴 형태의 분비모들은 이들의 신속한 식충기작에 매우 중요한 역할을 담당한다(Juniper et al., 1989; Kim, 2010).

능동적인 포충낭 개폐로 식충의 기작을 수행하는 통발 종들의 모용, 미세구조, 분비효소, 식충기능 등 포충낭에 관련된 연구는 비교적 활발하게 진행되고 있다. 특히 수생형 포충낭은 *U. vulgaris* (Sasaro & Sibaoka, 1985a, b; Juniper et al., 1989; Friday, 1992; Harms & Johansson, 2000; Barthlott et al., 2007)를 비롯하여 *U. gibba*, *U. intermedia* 등을 중심으로 연구가 이루어지고 있다(Richards, 2001; Sirova et al., 2003, Plachno & Jankun, 2004). 반면, 지생형은 *U. dichotoma*, *U. monanthos* 등 일부 종에서 포충낭과 분비구조 및 기작에 대한 특성들이 조사되어 있다(Fineran & Lee, 1975; Juniper et al., 1989; Reut & Fineran, 2000; Barthlott et al., 2007; Plachno & Swiatek, 2008). 최근 우리나라에 자생하는 통발(*U. japonica*)의 식물체가 조사되어 수생형 포충낭의 형태적 특성이 보고된 바 있으나(Kim, 2010), 지생종에 대한 연구는 병행되지 않고 있다. 이에 본 연구에서는 우리나라에 서식하는 통발속 수생 및 지생종을 대상으로 서식환경에 따른 포충낭의 형태적 분화 및 구조적 특성을 비교 연구하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험에 사용된 식충식물은 수생형 통발(*Utricularia*

japonica)과 지생형 땅귀개(*U. livida*) 2종으로 2009년 및 2010년 7~9월에 걸쳐 경기도 하남시 감일동 소재 식충식물원에서 입수하여 사용되었다. 통발과 땅귀개는 실험실로 옮겨져 각각 수조와 화분에서 생육된 후 식물체에서 발달 중인 줄기와 포충낭 조직을 채취하여 다음과 같은 처리과정을 거쳐 실험되었다.

2. 실험방법

각각의 통발 및 땅귀개에서 채취한 줄기 및 포충낭들은 3% glutaraldehyde 용액으로 3시간 전고정 처리한 후, 0.1 M sodium phosphate buffer (pH 6.8)로 15분씩 3회 세척하였다. 세척된 시료는 2% osmium tetroxide (OsO_4)로 4°C에서 2~18시간 동안 후고정하여 동일 buffer로 15분씩 3회 세척되었다. 고정된 시료는 10% 저농도에서 100% 고농도까지 순차적으로 15분 간격으로 아세톤 탈수과정을 거쳤다. 이후 시료는 임계점건조기(Emitech K850)에 의한 liquid CO_2 임계점 건조(critical point drying, CPD) 과정을 거쳐 이온코터(Emitech K550X)로 금속(Pt) 피막을 입힌 후 한국기초과학지원연구원 대구센터의 Hitachi S-4200 SEM으로 관찰하였다. 이러한 과정을 거친 후 SEM 연구관찰에 의해 수집한 영상자료는 SEM에 부착된 프로그램에 입력된 후 스캔(Microtek scanner) 및 Mitsubishi CP9500DW image processor를 이용하여 분석되었다.

서식환경에 따른 일차적인 포충낭의 형태 및 구조분화를 저배율상으로 비교하기 위해서는 위의 시료제작 과정을 거치지 않은 통발 및 땅귀개 생체재료를 사용하였다. 수중 또는 땅속에서 각각 채취된 이들의 줄기 및 포충낭 조직들은 blotting paper로 수분을 제거한 후 신속하게 Stemi SV11 현미경으로 촬영하여 조사되었다. 이후 광학현미경으로 연구될 시료들은 주사전자현미경적 방법과 동일한 전고정, 후고정 및 탈수과정을 거쳐 실험되었다. 탈수과정을 마친 시료들은 아세톤과 resin이 혼합된 용액으로 실온의 rotator 상에서 12시간동안 치환되었고, 이후 포매되어 65°C에서 48시간 동안 중합경화 시킨 후 resin block으로 제작되었다. Resin block은 Reichert Ultracut-S ultramicrotome에 의해 0.5~1.0 μm 후박절편으로 제작되어 0.5% Toluidine Blue 용액으로 염색된 후 Karl Zeiss Jenalumar 광학현미경을 통해 포충낭 절편조직에 대한 photomicroscopy가 실시되었다.

결 과

1. 외부 형태 구조

통발과 땅귀개는 동일한 통발속 식물 종들이나 서식환경에 따라 물속의 수생 및 땅속의 지생으로 분화되어 독특한

포충낭을 형성한다. 수생형 통발은 수중 부유에 적응한 포충낭으로 분화한 반면, 지생형 땅귀개는 땅속 서식에 적합한 구조로 발달한다. 통발의 포충낭은 대생으로 분지된 가늘고 긴 줄기의 측부에 형성되며 (Fig. 1), 수표면에 부유하여 광합성을 수행할 수 있는 엽육조직성(chlorenchyma) 특성을 지닌다 (Fig. 2). 이들의 포충낭은 900~2,500 μm 의 통발 형태로 (Fig. 3) 녹색의 부유성 구조를 이룬다. 수생의 포충낭과는 매우 다른 낭 입구 형태로 분화하는 땅귀개의 포충낭은 공기 중에 노출되지 않고 생장을 마칠 때까지 땅속에서 투명한 상태를 유지한다. 땅속줄기인 지하경에서 호생으로 배열하며 (Fig. 4) 기원하는 약 500~600 μm 크기의 포충낭은 낭 내부구조를 향하면서 누두상의 독특한 입구 부위를 형성한다 (Figs. 5, 6). 이와 같이 통발과 땅귀개 두 종은 다음과 같은 포충낭 및 감각모, 분지모 등의 형태와 구조적 특징을 지니며 상이하게 분화 발달한다.

2. 내부 미세구조 특성

1) 통발 (*U. japonica*)

활발히 성장하여 성숙 시 약 2,500 μm 에 이르는 비교적 큰 포충낭을 형성하며, 낭 입구에는 좌우로 분지된 안테나와 부속지들이 위치한다 (Fig. 3). 포충낭 입구에서 내부로 향하며 분포하는 분비모들은 병세포가 발달하여 길게 신장된 capitate형과 병세포가 짧거나 결여된 무병의 유형으로 구별된다 (Fig. 7). 이들 분비모는 점액성의 분비물질을 다량 분비하여 벨름(velum) 층의 일부를 이룬다. 이와 함께 덧문에는 수중의 먹이가 접촉하면 이를 감지하여 빠르게 포충낭 내부로 유입시키는 감각모 4개가 발달한다 (Fig. 3 inset, 7). 닫혀있던 덧문은 (Fig. 7) 먹이 유입과 함께 감각모가 위치한 덧문 안쪽 부위의 세포들이 파상으로 수축하여 신속하게 열린다 (Fig. 8). 포충낭 내부 전체표면에는 많은 4분지모들이 (four-armed quadrifid) 밀생하는데 (Fig. 9), 이들 4분지모는 X-자 형태의 분비선으로 발달하며, 이들 분지모 하단에는 기저세포가 위치한다. 일부 분비모의 표면에는 반구형의 작은 돌기들이 형성되기도 하며, 대칭하는 분지모의 길이가 다르게 신장하기도 한다. 그러나 덧문 하단 일부 조직에 형성된 2분지모들은 (two-armed bifid) V-자 형태를 이룬다 (Fig. 10). 이들 2분지모들은 표피표면에서 수직으로 분지하며 4분지모에 비해 적게 분포한다. 4분지모와 유사하게 2분지모 기저세포 정단부위의 충만한 세포질은 Toluidine blue 시약에 짙게 염색되어 저배율상에서도 쉽게 확인된다 (Fig. 10 inset). 이러한 세포질 특성은 포충낭이 기능을 수행하는 전 생장 기간에 걸쳐 나타난다.

2) 땅귀개 (*U. livida*)

땅속줄기에서 기원하는 땅귀개 포충낭은 내부를 향하면서 입구에 특이한 누두상의 감지구조를 형성한다 (Figs. 6, 11).

이들의 향측면에는 (adaxial surface) 다세포성 비분비모들이 규칙적으로 배열되나, 배측면에는 (abaxial surface) 이와는 다른 형태의 비분비모들이 분포한다. 무병의 작은 분비모들은 일렬로 각각의 세포를 따라 위치하고 (Fig. 12), 많은 capitate형 분비모들에 의해 피복된 덧문은 외부로 노출되지 않는다. 이러한 분비모들에 피복된 덧문에는 각각 2개가 위치한다. 덧문은 닫혀있을 경우 양쪽의 개구부위가 밀착되어 있으나, 먹이 유입으로 덧문이 열릴 경우에는 비교적 크게 개구부위를 형성한다.

포충낭 내부 표피표면에 분포하는 4분지모는 소수에 불과하나, 포충낭 구성세포의 불규칙적인 세포벽에는 분지모들이 H-자 형태를 이루며 수평으로 발달한다. 이들 4분지모의 하단 부위에도 반구형의 기저세포가 위치한다. 2분지모 또한 덧문 하단 일부 조직에서만 발달하는데, 이들은 덧문 표면과 수평으로 위치하면서 일직선상으로 발달한다. 분지된 2분지모가 연결된 부위는 중앙에 뚜렷한 경계면을 이루고 (Fig. 13), 기저세포의 치밀한 세포질은 수생형 통발에서와 같이 낮은 배율에서도 용이하게 구분된다.

이들 통발과 땅귀개 포충낭의 외부 및 내부 표피표면에는 작은 단세포성 분비모들이 분포한다. 통발에는 비교적 작은 반구형의 단세포 분비모들이 산재하며 (Fig. 14), 땅귀개의 경우에도 표면에 다수 발달하여 물질을 방출한다. 포충낭이 식충의 기능을 수행하지 않을 경우에는 내부 표피표면의 구조들이 쉽게 관찰되나, 먹이가 유입되어 식충의 기작이 시작되면 내벽 표피표면은 몇 층의 점액성 물질로 피복되어 외부로 노출되지 않는다.

고 찰

식충식물 중 포충의 기작이 능동적으로 가장 빠르게 일어나는 구조는 통발속의 흡입식 포충낭으로 낭 내부의 압력이 외부보다 낮아 입구에서 먹이가 감각모를 건드리면 덧문이 열리면서 매우 빠른 속도로 흡입된다 (Juniper et al., 1989). 통발속 종들은 서식 환경 및 생육 습성에 따라 수생형, 지생형, 착생형으로 나뉘는데, 일반적으로 수생형은 통발, 지생형은 귀개로 불린다 (Lee, 1999; Reifenrath et al., 2006). 본 연구에서는 수생형 통발과 지생형 땅귀개를 대상으로 서식 환경에 따른 중간 포충낭의 형태분화에 초점을 두어 구조적으로 비교 연구하였다.

통발의 포충낭 입구에는 안테나 및 많은 부속지가 분포하는데, 다세포성 마디로 구성된 안테나는 포충낭 입구의 양쪽 측면에서 바깥쪽을 향하여 발달한다. 부속지들은 포충낭 입구에 형성되어 안테나의 먹이 유인에 보조역할을 하는 것으로 추정된다 (Thurston & Seabury, 1975; Plachno & Jankun, 2004; Reifenrath et al., 2006). 반면, 땅귀개의 포충낭 입구에

는 안테나 구조와는 매우 다른 누두상의 비교적 넓은 먹이 접촉 감지구조가 다양한 분비모들과 함께 발달하여 이러한 기능을 수행한다. 입구에 발달한 통발의 안테나 및 부속지와 땅귀개의 누두상 구조는 먹이를 감지하여 입구 쪽으로 유인하는 먹이 포획에 있어 매우 중요한 기관이다(Juniper et al., 1989). 특히, capitate형 분비모들은 안쪽의 덧문 부위로 하향 배열하여 먹이 유입에 용이한 형태로 발달한다. 덧문 주위에 있는 수생 통발의 분비모들은 먹이 유입 시 포충낭 내부에 덧문이 닫히도록 틈을 밀착시키는(Thurston & Seabury, 1975; Reifenrath et al., 2006) 접촉물질을 분비한다. 이들 분비모들은 포충낭 입구에서부터 덧문 주위까지 발달하며, 먹이 유입 시 매우 빠르게 통과하는 물의 흐름으로 정단의 분비세포에서 특정효소를 방출하는 것으로 알려져 있다(Thurston & Seabury, 1975; Plachno & Jankun, 2004). 효소방출 과정은 capitate형 분비모 내 저장세포에서 특이온의 펌프작용에 의해 일어나는데, 이온펌프는 세포막 속에 있어 불활성화된 분비모가 정지 상태로 있다가 먹이가 접촉하면 급속한 활성을 보인다(Barthlott et al., 2007).

덧문은 감각모가 위치한 포충낭 안쪽에 발달하며 내벽이 급경사로 굴곡을 이룬다. 중앙부위는 파상의 주름형태를 지닌 세포들로 구성되는데, 수축과 이완을 반복하면서 덧문의 개폐에 중요한 역할을 하고 있다. 이러한 덧문 표면의 중앙부위에 발달하는 감각모는 유인된 먹이가 접촉하면 자극을 감지하여 내부로 신호를 전달하고, 포충낭 내부의 압력차를 이용하여 덧문이 열리면서 빠르게 흡입식 기작을 수행한다(Plachno et al., 2005). 감각모는 다세포성 구조로 통발에서는 4개의 감각모가 입구 쪽을 향하여 길게 신장되어 있는 반면, 땅귀개에서는 2개만이 발달한다. 이들 감각모는 포충낭 입구 주위에서 분비기능을 하는 단순분비모에서부터 기원된 것이라 추정되고 있다(Juniper et al., 1989).

포충낭 내벽에 발달하는 분지모의 기능으로 통발의 V-자형 2분지모는 물의 전달, X-자형 4분지모는 소화효소 분비와 먹이 소화 및 영양분 흡수 등이 제안되어 있고(Juniper et al., 1989), 단백질, 인산 등을 분해하는 효소들을 분비하는 것으로 알려져 있다(Sirova et al., 2003; Plachno & Jankun, 2004). 땅귀개의 비교적 큰 2분지모와 소수의 H-자형 4분지모는 먹이와 함께 유입된 세균의 번식을 막기 위해 방부성 물질을 분비하기도 한다(Lee, 2003). 세포수준에서의 미세구조 연구에서는 이들 분비모의 세포벽 벽-내생장(wall ingrowth) 특성이 밝혀져 있다(Fineran & Lee, 1975; Plachno & Jankun, 2004; Plachno et al., 2005).

포충낭 내벽의 분비모는 종에 따라 수, 크기, 분지(arm)의 형태, 각도 등 다양하게 형성된다(Reifenrath et al., 2006). 내벽에 발달하는 2 또는 4분지모들은 입구의 capitate형 분비모들과 함께 다양한 성분의 분비 및 방출에 중요한 역할을 수행하고 있다. 통발속 포충낭 내벽에 발달하는 분비모 분

지의 수는 진화할수록 증가한다는 이론에서(Komiya, 1972) 최근에는 여럿으로 분지된 분지모에서 분지하지 않은 분비모로 분지 수의 감소를 진화경향으로 보고 있다(Yang et al., 2009). 이와 함께 포충낭 표피표면에 발달하는 작은 단순분비모들은 물질을 분비하는 역할 외에 먹이와 함께 흡입된 물질을 외부로 방출하는 구조로 추정되고 있다(Juniper et al., 1989).

이와 같이 통발과 땅귀개는 흡입식 포충낭을 형성하여 식충기작을 수행하는 동일 속 식물 중들이나, 각각의 서식환경에 효율적으로 적응하여 분화된 독특한 포충낭 구조로 먹이를 포획하여 필요한 양분을 흡수하며 살아간다. 통발속의 포충낭은 유연성을 지닌 형태로 분화하여 서식환경에 맞는 효율적인 식충기작을 수행하는 구조이다(Albert et al., 1992; Barthlott et al., 2007). 본 연구에서 밝혀진 수생 및 지생형 포충낭의 형태분화에 대한 결과는 향후 이들의 성장단계별 분화 발달 양상과 접목되어 분석되면 더 의미 있는 연구가 될 것이다.

참 고 문 헌

- Albert VA, Williams SE, Chase MW: Carnivorous plants: phylogeny and structural evolution. *Science* 257 : 1491-1495, 1992.
- Barthlott W, Porembski S, Seine R, Theisen I: The Curious World of Carnivorous Plants. Timber Press, Portland, pp. 133-147, 2007.
- Fineran BA, Lee MSL: Organization of quadrifid and bifid hairs in the trap of *Utricularia monanthos*. *Protoplasma* 84 : 43-70, 1975.
- Friday LE: Measuring investment in carnivory: seasonal and individual variation in trap number and biomass in *Utricularia vulgaris* L. *New Phytol* 126 : 273-281, 1992.
- Harms S, Johansson E: The influence of prey behaviour on prey selection of the carnivorous plant *Utricularia vulgaris*. *Hydrobiologia* 427 : 113-120, 2000.
- Juniper BE, Robins RJ, Joel DM: The Carnivorous Plants. Academic Press, London, pp. 64-71, 117-126, 1989.
- Kim I: Morphological study of the suction trap in aquatic *utricularia japonica*. *Korean J Microscopy* 40 : 109-116, 2010. (Korean)
- Komiya S: Systematic Studies in the Lentibulariaceae. Department Biology, Nippon Dental College, Tokyo, pp. 1-124, 1972.
- Lee KR: Amazing Stories from the Plant World. Oneul, Seoul, pp. 32-34, 2003. (Korean)
- Lee TB: Illustrated Flora of Korea, Hyangmoonsa, Seoul, pp. 689-690, 1999. (Korean)
- Plachno BJ, Jankun A: Transfer cell wall architecture in secretory hairs of *Utricularia intermedia* traps. *Acta Biol Cracoviensia Ser Bot* 46 : 193-200, 2004.
- Plachno BJ, Jankun A, Faber J: Development of the wall labyrinth in pavement epithelium hairs of some *Utricularia* species. *Acta Biol Cracoviensia Ser Bot* 47 : 109-113, 2005.
- Plachno BJ, Swiatek P: Cytoarchitecture of *Utricularia nutritive*

- tissue. *Protoplasma* 234 : 25-32, 2008.
- Reifenrath K, Theisen I, Schnitzler J, Porembski S, Barthlott W: Trap architecture in carnivorous *Utricularia* (Lentibulariaceae). *Flora* 201 : 597-605, 2006.
- Reut MS, Fineran BA: Ecology and vegetative morphology of the carnivorous plant *Utricularia dichotoma* (Lentibulariaceae) in New Zealand. *New Zeal J Bot* 38 : 433-450, 2000.
- Richards JH: Bladder function in *Utricularia purpurea* (Lentibulariaceae): Is carnivorous important? *Amer J Bot* 88 : 170-176, 2001.
- Rutishauser R, Isler B: Developmental genetics and morphological evolution of flowering plants, especially bladderworts (*Utricularia*): Fuzzy arberian morphology complements classical morphology. *Ann Bot* 88 : 1173-1202, 2001.
- Schnell DE: Carnivorous Plants of United States and Canada. Timber Press, Portland, pp. 15-288, 2002.
- Sirova D, Adamec L, Vrba J: Enzymatic activities in traps of four aquatic species of the carnivorous genus *Utricularia*. *New Phytol* 159 : 669-675, 2003.
- Slack A: Carnivorous Plants, The MIT Press, Cambridge, pp. 165-182, 2000.
- Sasaro A, Sibaoka T: Water extrusion in the trap bladders of *Utricularia vulgaris*. 1. A possible pathway of water across the bladder wall. *Bot Mag* 98 : 55-66, 1985a.
- Sasaro A, Sibaoka T: Water extrusion in the trap bladders of *Utricularia vulgaris*. 2. A possible mechanism of water outflow. *Bot Mag* 98 : 113-124, 1985b.
- Thurston EL, Seabury F: A scanning electron microscopic study of the utricle trichomes in *Utricularia biflora* Lam. *Bot Gaz* 136 : 87-93, 1975.
- Yang Y, Liu H, Chao Y: Trap gland morphology and its systematic implications in Taiwan *Utricularia* (Lentibulariaceae). *Flora* 204 : 692-699, 2009.

< 국문 초록 >

주머니 형태의 흡입식 포충낭을 형성하는 통발속(*Utricularia*) 식물들은 포충낭에 발달하는 감각모 및 다양한 분비모로 능동적인 식충의 기능을 수행한다. 본 연구에서는 물속에 서식하는 수생형 통발(*U. japonica*)과 땅속에 서식하는 지생형 땅귀개(*U. livida*) 2종 포충낭의 형태적 분화 특성을 광학 및 전자현미경을 이용하여 연구하였다.

이들 2종의 포충낭 내부 및 외부 표피조직에 발달하는 먹이 감지구조 및 감각모와 분비모의 분화양상은 서식환경에 따라 매우 상이하였다. 수생형 통발의 포충낭 입구에는 분지된 안테나 및 부속지들이 위치하고, 덧붙에는 감각모 4개가 분포하였다. 포충낭의 외부 표피조직에는 반구형의 작은 단세포 분비모들이 산재하나 내부로 향한 입구 부위에는 무병 및 capitate형 분비모들이 점액물질을 분비하여 덧붙을 여단으며 먹이 포획을 하였다. 포충낭 내부 전체 표피표면에는 4분지모들이 밀생하나, 2분지모들은 덧붙 하단의 일부 조직에만 수직으로 발달하였다. 반면, 지생형 땅귀개의 포충낭 입구에는 내부를 향하면서 좁아지는 누두상의 먹이 접촉 및 감지구조를 형성하였다. 이들의 배측면에는 다세포성 비분비모들이 규칙적으로 배열하나 향측면에는 여러 형태의 분비모가 밀생하여 입구를 피복하며 덧붙은 외부로 노출되지 않았다. 덧붙에는 2개의 감각모가 발달하며 포충낭 내부에는 H-자 형태의 4분지모가 소수 발달하였고, 2분지모는 덧붙 표면에서 수평으로 배열하였다. 먹이 유입 시 이들 분비모에서는 다량의 분비물질이 분비되어 포충낭 내부 전체표면을 피복하였다. 이상의 결과는 수생 및 지생 통발 2종 포충낭의 형태 분화 및 구조적 특성이 이후 흡입식 포충낭에서의 식충기작 및 세포 수준에서의 미세구조 연구에서 유용한 중요 자료가 될 것으로 생각된다.

FIGURE LEGENDS

- Fig. 1.** Part of aquatic *U. japonica* showing numerous traps (arrows) along the stem. Bar=5.0 mm.
- Fig. 2.** Close-up of two traps on the stem exhibiting chlorenchymatous attributes in *U. japonica*. T, trap. Bar=1.2 mm.
- Fig. 3.** A young trap (T) with antenna and appendages. Inset, close-up of door (D) showing trigger hairs (arrow) and glandular trichomes (below) in *U. japonica*. Bar=30 μ m.
- Fig. 4.** Part of subterranean *U. livida* stem developing numerous traps (arrows) in an alternating pattern. Bar=1.2 mm.
- Fig. 5.** Close-up of a trap (T) from the terrestrial *U. livida*. Arrow indicates the entrance area. Bar=200 μ m.
- Fig. 6.** Peculiar funnel-shaped tissue (arrow) seen at the trap (T) entrance. *U. livida*.
- Fig. 7.** Capitate glandular trichomes in *U. japonica*. Arrow indicates closed door (D), while arrow head points to the base of the antenna. Numbers indicate the four trigger hairs in the door. T, trap.
- Fig. 8.** Open door (D) showing trap lumen (asterisk) inside from *U. japonica*.
- Fig. 9.** Numerous four-armed quadrifids (Q) in *U. japonica*.
- Fig. 10.** Upright two-armed bifids (B) found in *U. japonica*. Inset, close-up of the basal cell of the bifid showing dense cytoplasm. Bar=30 μ m.
- Fig. 11.** Funnel-shaped tissue at the trap (T) entrance exhibiting different adaxial (arrow) and abaxial surface (asterisk) in *U. livida*. Inset, closed entranced area. Bar=250 μ m.
- Fig. 12.** Regularly arranged capitate and sessile trichomes (arrows) in *U. livida*.
- Fig. 13.** Part of the bifid (B) from *U. livida* showing a delimiting central line (arrow).
- Fig. 14.** Simple spheric glands (arrows) in *U. japonica*. Inset, close-up of the shrunken simple gland from *U. livida*. T, trap. Bar=5.0 μ m.



