

방향성 즙목형 (*Vitex negundo*) 모용의 구조적 분화 발달

이 승 희, 김 인 선*
계명대학교 자연과학대학 생물학과

Structural Features of Various Trichomes in *Vitex negundo* during Development

Seung-Hee Lee and InSun Kim*

Biology Department, College of Natural Sciences, Keimyung University, Daegu, 704-701, Korea
(Received February 20, 2006; Accepted March 23, 2006)

ABSTRACT

Plants of *Vitex negundo* are known to develop numerous trichomes throughout their body, where certain trichome types have been believed to be one of the plausible structures for the unique scents. In the current study, structural aspects of the trichomes have been examined in leaves and stems of *Vitex negundo* using TEM and SEM. Trichome types as well as structural changes that occurred in certain trichomes during secretion have been mainly focused. Three types of glandular trichomes and two types of non-glandular trichomes were developed in the epidermis of young and mature *Vitex negundo* plants. The glandular trichomes included the peltate type (Type 1), the capitate type (Type 2), and degraded capitate type (Type 3), whereas the non-glandular warty trichomes contained the multicellular (Types 4) and unicellular type (Type 5). Type 1 and 2 consisted of head and stalk cells, but their number and size were different. One secretory cavity was formed from the four head cells in the former, but only two head cells were involved in the latter. The cytoplasmic density in the head cell was quite high and in particular, sER and Golgi bodies were well developed. At initiation of their development, the cuticle layer of the head cells separated from the outer tangential wall to form a secretory cavity. Subsequently the cavity expanded acropetally and a large number of secretory vesicles continuously produced from the head cells until they filled the entire cavity. The cavity contained materials that would be soon discharged into intercellular spaces and/or into the air. The cavity began to decrease the volume by contracting at initial secretion but degrade rapidly within short time. It has been suggested that the mode of secretion in *V. negundo* is probably the eccrine secretion, since no break or rupture of the cavity has been observed during examination. Contrastingly Type 3 exhibited deterioration of the head cell at early stage. Type 4 was about 110~190 μm long, consisting of 2~3 cells, and distributed more in the adaxial epidermis compared to the abaxial surface. However, 20~30 μm long Type 5 was extremely dense in both epidermis. Among several trichome types, Type 1 and 2 probably play an important role in discharging unique aromatic scents in plants of *V. negundo*.

Key words : Aromatic plant, Epidermis, Glandular trichome, Trichome type, *Vitex negundo*

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

서 론

방향성 식물(aromatic plants)은 식물체의 잎, 줄기, 생식구조 등의 특정부위에 독특한 향을 내는 분비선 또는 모용 등의 분비구조를 발달시킨다. 많은 종류의 방향성 식물들은 발생초기부터 식물체 여러 부위의 최외층 표피조직에 다양한 형태의 모용을 생성하여 이들을 통한 독특한 향의 방출 또는 특정물질의 분비를 유도할 수 있도록 분화된다. 특히, 모용은 분비기능이 활발한 방향성 식물에서 유용한 2차 대사유기화합물을 생성 및 축적하고 분비하는데 중추적인 기능을 수행하는 것으로 알려진 구조이다(Kim et al., 1998; Hallahan et al., 2000; Sacchetti et al., 2003; Wagner et al., 2004). 표피세포가 특수하게 돌출되어 단순한 하나의 세포나 여러 개의 복잡한 다세포로 형성되는 모용은 동일 식물체 내에서도 부위에 따라 다양한 유형이 발달할 수 있다(Sohn et al., 1998; Glover & Martin, 2000; Hallahan et al., 2000; Vrachnakis, 2002; Kim & Lee, 2005). 크게 분비모(glandular trichome)와 비분비모(non-glandular trichome)로 대별되는 모용은 식물종에 따라 혹은 기관에 따라 각기 현저하게 다른 형태 및 기능을 가진 구조로 분화할 수 있다(Fahn, 1997, 2000; Hallahan et al., 2000; Cho, 2001; Vrachnakis, 2002, 2003).

식물의 분비모는 특정물질을 세포의 외부 또는 세포간극으로 방출하는 매우 발달된 세포들로 구성되며, 대개의 경우 분비세포(secretory head cell)와 보조세포(supporting cell)로 분화된다. 분비세포는 분비강(secretory cavity)을 형성하여 생성되는 2차 대사물질을 저장하거나 분비하며, 보조세포는 정단부위의 분비세포를 지지하는 병세포(stalk cell)나 표피세포면에 발달하는 기저세포(basal cell)로 분화하고, 분비세포로의 물질이동과 이들을 지지하는 역할을 수행한다(Kim & Mahlberg, 1991, 2000). 분비모는 정단부위의 분비세포와 이를 지지하는 병세포의 구조적 특징에 따라 크게 capitate 유형과 peltate 유형으로 대별된다. Capitate 유형은 병세포가 분비세포 직경의 1/2보다 길며, peltate 유형은 하나 또는 그 이상의 병세포가 발달하고 여러 개의 다세포로 구성된 커다란 분비세포를 갖는 구

조이다(Abu-Asab & Cantino, 1987; Kim, 1999). 분비모에서 분비되는 물질은 친수성 또는 소수성으로, 물질대사를 통해 합성된 세포내 물질은 물론 세포 내에서 합성되지 않는 성분도 포함되어 각 식물마다 독특한 분비과정을 통해 식물체 내부 또는 외부로 방출된다.

좁목형(*Vitex negundo*)은 표피조직에 다양한 유형의 모용이 밀생하고 식물체에서 독특한 향기를 강하게 발산하는 방향성 식물로 식물체 각 기관이 약용으로 사용되어 다양한 치료에 활용된다(Lee, 1996; Jirovetz et al., 1998; Beak & Lee, 1999; Lee et al., 1999; Son, 1999). 본 연구에서는 방향성 관목인 *Vitex negundo* var. *incisa* 좁목형 식물체에서 분비기능에 매우 중요한 역할을 수행하는 것으로 추정되는 모용, 특히 여러 유형의 분비모에 대하여 세포 및 조직 수준에서의 형태와 구조, 분비강의 형성, 분비세포 축적 및 분비과정 등을 연구하고자 하였다. 이를 위해 각 유형별 모용을 발생 초기에서부터 성숙한 단계에 이르기까지 추적 조사하여 연구하였다.

재료 및 방법

1. 실험 재료

본 실험에 사용된 좁목형(*Vitex negundo* var. *incisa*, Lee, 1996)은 대구광역시 달서구 다사읍 박곡리에 자생하는 식물로 수차례 sampling 되었다. 실험실로 옮겨진 직후 1~8cm 길이의 잎과 직경 2~7mm의 줄기는 미성숙 단계에서부터 성숙한 단계에 이르기까지 채취되어 아래의 SEM 및 TEM 실험에 사용되었다.

2. 실험 방법

1) 주사전자현미경적 연구(SEM)

생장단계별로 채취된 잎 및 줄기를 3% glutaraldehyde 용액으로 실온에서 3시간 전고정한 후, 0.1 M sodium phosphate buffer (pH 6.8-7.2)로 15분씩 3회 세척하였다. 세척된 시료는 2% OsO₄로 4°C에서 2~6시간 동안 후고정하여 동일 buffer로 다시 15분씩 3회 세척되었다. 고정된 시료는 graded acetone series로 탈수된 후 isoamyl acetate로 3회 치환하여 4°C에서 보관되었다. 이후 liquid CO₂에 의한 임계점전조(critical

point drying, CPD) 과정을 거쳐 약 10 nm의 금속피막 (Au gold coating)을 입힌 후 한국기초과학지원연구원 대구센터 소재 Hitachi S-4200 SEM으로 15 kV에서 분석되었다. 이를 통해 촬영된 image data는 PCI program에 입력된 후 image processing되었다.

2) 투과전자현미경적 연구 (TEM)

TEM 방법으로 연구될 시료들은 위의 SEM 방법과 동일한 전고정 및 후고정, 그리고 acetone 탈수과정을 거쳐 acetone과 resin의 일정한 비율 혼합용액에서 단계별로 각각 1시간씩 실온의 rotator 상에서 처리되었다. 이때 resin은 low-viscosity resin 제조법으로 혼합하여 치환 및 포매되었다. Resin block은 Reichert Ultracut-S ultramicrotome 상에서 glass knife에 의한 0.5~1.0 μm 후박절편 (semi-thick section)과 diamond knife에 의한 60~90 nm의 초박절편 (ultrathin section)으로 제작되었다. 이들 절편을 meshed copper grid로 옮기기 전 수면상의 초박절편들 위로 chloroform fume 처리를 하여 발생한 compression을 최소화시켰다. 시료는 2% uranyl acetate와 lead citrate로 실온에서 각각 45분씩 이중염색되었다. 염색된 시료는 한국기초과학지원연구원 대구센터의 Hitachi H-7100 TEM을 이용하여 75 kV에서 연구조사되었고, Artix Scan 4500t Microtek, Mitsubishi CP9500DW 등을 거쳐 image data에 대한 종합적인 image processing이 실시되었다.

결 과

좁목형 (*Vitex negundo* var. *incisa*, Figs. 1-3)의 잎과 줄기의 표피조직에는 총 5가지 유형의 모용이 발달하였으며, 특히 어린 잎의 표피조직에는 성숙한 잎에 비해 더욱 많은 분비모가 매우 조밀하게 밀생하였다. 잎과 줄기의 어린 조직 및 성숙한 조직에 형성된 모용 세포들의 유형별 특성과 발달양상에 대한 구조적 연구결과는 다음과 같다.

1. 분비성 모용 (glandular trichomes)

1) Peltate glandular trichomes (Type 1)

Peltate형의 분비모는 4개의 분비세포 (head cell)와

길이 5 μm 의 병세포 (stalk cell) 하나로 분화하며 (Fig. 4), 잎의 상피 및 하피에 모두 잘 발달하였다. 그러나 이들 표피를 비교해보면 일반적으로 하피에 비해 상피에 더욱 조밀하게 분포함을 알 수 있다. 성숙한 분비모에서 정단의 분비강 및 분비세포는 약 50 μm 직경의 크기로 팽창하였고 외표면이 매끄러우나, 분비현상이 진행된 이후 수축되면서 분비물질 또는 특정 향성분이 외부로 빠져나가 완전히 함몰된 구조로 변형된다 (Fig. 5). 성숙한 식물체의 각 실험 부위에서도 잘 분화되어 나타나는 본 유형의 분비모는 어린 단계와 마찬가지로 잎의 상피에 다수 분포하고 있으나, 이들의 밀도는 어린 단계가 성숙 단계에 비해 높게 나타났다.

Peltate형 분비모의 분비세포내 분비강 형성과정은 다음과 같이 매우 빠르게 진행되었다. 세포분화 초기 단계에서 먼저 분비세포의 최외측 절선면 세포벽으로부터 큐티클층이 서서히 분리되어 분비강 (secretory cavity)이 형성되기 시작하였다. 확장되어 가는 분비강 내에는 분비세포내 세포질로부터 형성된 분비물질들이 느슨해진 세포벽을 통과하여 분비강으로 유입되었으며 지속적으로 형성되는 수많은 막성계 구획의 분비소포 (secretory vesicles)들이 특징적으로 나타났다 (Fig. 6). 분비소포는 다양한 크기이나 대부분 구형을 지니며 (Fig. 6 insert), 입자성 또는 점유상의 물질들이 방향성 물질의 분비가 시작되거나 활발히 진행되는 동안 분비세포로부터 계속 분비강으로 유입되어 내강을 구심적으로 채워나갔다. 분비기능이 개시되면서 이들 분비모의 분비강에 축적되었던 분비소포들의 밀도가 줄어들면서 분비강의 부피는 축소되기 시작하였다. 분비기능을 마친 peltate형 분비모의 분비강 내에 저장되었던 물질이 방출되면 팽창되었던 큐티클층은 이전 형태를 유지하지 못하고 거의 수축·함몰되었다 (Fig. 7). 분비물질이 방출된 이후 분비강 내에 축적되었던 분비소포의 밀도는 급격히 감소하고 그 크기 및 배열 등도 축소되거나 변형되었다 (Fig. 7 insert). 이와 같이 분비세포 세포질에서 생성된 물질은 세포벽을 통해 분비소포의 형태로 운반되고 분비강에 저장되었다. 분비세포 내에는 세포소기관들이 잘 발달하였으며 세포질의 전자밀도는 매우 높게 나타났다. 팽창되었던 분비세포의 분비강은 내부 물질이 방출되면서 수축하

기 시작하였으며, 분비과정이 거의 완료된 후에는 급격히 수축하였다. 이러한 peltate형 분비모는 어린 잎상·하피 및 줄기에서도 잘 발달하였다(Figs. 8-9).

2) Capitate glandular trichomes (Type 2)

정단의 분비세포에 비해 병세포가 길게 발달하는 capitate형 분비모는 위 peltate형 Type 1 분비모에 비해 비교적 적게 분포하나 잎·줄기 표피조직에 모두 발달하였다. 본 capitate형의 분비모는 2개의 작은 분비세포(ca. 15 µm diameter), 병세포(5~10 µm length), 그리고 기저세포(basal cell)로 이루어져 있다(Figs. 10-11). 초기 발달단계에서는 분비세포의 세포벽과 큐티클층이 접해 있으나, 점차 발달해 감에 따라 이들 세포벽과 큐티클층 사이가 벌어지면서 분비강이 형성되었다. 비후된 분비세포 세포벽으로부터 섬유상 물질(Fig. 12) 또는 작은 액포들이 연속적으로 형성되어(Fig. 13) 분비강으로 유입되면서 분비강은 분비세포 위로 팽창하였다(Fig. 14). 분비세포 내에는 골지체 및 활면소포체(sER)가 잘 발달하였으며, 전자밀도가 높은 색소체도 분포하였다. Capitate 분비모 정단에 형성된 분비강은 peltate형 Type 1에 비해 훨씬 작게 생성되었으며, 이후 물질이 발산되어 분비강이 수축되면서 분비세포 및 분비강은 급격히 퇴화하였다(Fig. 15).

3) Degraded capitate glandular trichomes (Type 3)

본 유형은 위의 capitate형 Type 2 분비모와 형태적으로 유사한 분비세포(ca. 15 µm diameter)와 병세포(5~10 µm length)로 구성되어 있으나 분비세포가 식물체 발달 초기단계에서부터 이미 수축·퇴화되는 양상을 보였다(Fig. 16). Type 3 분비모는 줄기 및 어린 잎과 성숙 발달한 잎의 상피와 하피에 모두 분포하였으나, 잎에 비해 줄기의 표피조직에 더 많이 분포하는 것으로 조사되었다.

2. 비분비성 모용 (Non-glandular trichomes)

1) Elongated multicellular trichomes (Type 4)

2~3개의 세포로 분화되는 길이 110~190 µm의 장상의 다세포성 모용은 잎의 하피 전체를 피복하며 상피에서는 엽맥을 따라 더욱 발달하였다. 이들 모용의

표면에는 큐티클층이 1~2 µm 정도로 비후되고(Figs. 17, 18), 약 0.4~0.5 µm 두께의 세포벽은 부분적으로 파상을 이루며 세포용적의 거의 대부분을 차지하는 커다란 액포를 접하였다. 다른 유형의 모용들에 비해 길게 신장하는 장상의 다세포성 모용(Fig. 19)의 기저부위 첫 번째 세포를 제외한 중간 및 정단부위 세포의 표면에는 작은 돌출구조들(warts)이 피복하며 발달하였다(Fig. 20).

2) Short unicellular trichomes (Type 5)

잎의 상·하피 전체에 밀생하고 있는 단세포성 모용은 위의 다세포성 모용 Type 4와 유사하게 발달하나 20~30 µm 길이의 1개 세포로 구성되어 있는 비교적 단순한 형태의 짧은 모용이다(Fig. 21). 본 유형 또한 세포표면에 작은 돌출구조가 피복되어 있는 전형적인 비분비모의 형태를 이루었다.

고 찰

좁목형 표피조직에 발달하는 분비모는 직경 50 µm의 큰 분비세포와 길이 5 µm의 병세포로 분화하는 peltate 유형(Type 1), 직경 15 µm의 작은 분비세포 및 길이 5~10 µm의 병세포와 기저세포로 이루어진 capitate 유형(Type 2), 분비세포가 초기단계에서부터 퇴화되는 degraded capitate 유형(Type 3)으로 분화하였다. 반면, 비분비모는 하피 전체에 더 발달하는 길이 110~190 µm의 장상 다세포성 모용(Type 4)과 상·하피 전체에 밀생하는 길이 20~30 µm의 단세포성 모용(Type 5)으로 대별되었다. 본 연구의 좁목형에서와 같이 많은 식물종의 표피조직에는 내적 요인 및 다양한 생물이나 무생물로부터 기인하는 요인에 의해 야기되는 여러 외부 자극에 대하여 적극적인 대사기능과 방어기능을 수행하기 위해 분비성 또는 비분비성 모용이 잘 발달한다. 식물체에 발달하는 모용이 특히 분비성일 경우 분비모 내에 축적되는 물질 속에는 terpenoids, flavonoids, iridoids, alkaloids, anthocyanidins, aromatic compounds 등을 비롯한 다양한 2차 대사물질이 포함되고, 이들 물질을 외부로 방출함으로써 방어 역할을 보다 효과적으로 수행할 수 있게 된다(Wagner,

1991; Amancharla et al., 1999; Hallahan et al., 2000; Sacchetti et al., 2003). 분비성 모용은 비분비성 모용과 유사한 형태로 발달할 수도 있으나 일반적으로 분비 특성상 적절한 변형 또는 특수한 분화를 동반하게 된다 (Fahn, 2000; Werker, 2000). 대부분의 분비모는 분비세포와 보조세포로 구성되며, 분비세포 (secretory head cell)에 분비강 (secretory cavity)을 형성하여 이곳에 분비물질을 저장하고 분비한다 (Kim & Mahlberg, 1991; Ko, 1998; Fahn, 2000). 분비세포로의 물질이동을 담당하고 이들 분비세포를 지지하는 역할을 하는 보조세포에는 기저세포 (basal cell)와 병세포 (stalk cell)가 해당된다. 보통 병세포는 분비세포를 지지하고, 표피면에 있는 기저세포에 의하여 표피조직에 연결되어 있다. 비분비성 모용은 단세포로 구성된 단모 (unicellular trichome)가 가장 흔하게 발달하나 분비식물의 종류에 따라 다양한 유형으로 분화될 수 있다 (Ko, 1998; Kim, 1999; Kim & Lee, 2005).

분비식물은 대부분 분비세포의 액포나 원형질체 외부에 물질을 저장한 후 세포질로부터 많은 물질들을 방출시킨다. 일반적으로 분비식물에서는 세포내 물질 대사 수행 결과 생성된 물질과 생리적 기능을 수행하기 위해 합성된 물질의 이동을 모두 분비현상에 포함시키고 있다 (Kim et al., 1998; Cho et al., 1999; Kim & Mahlberg, 2000). 분비식물의 분비구조는 외부구조와 내부구조로 구분되며, 여러 형태로 분화되어 분비물질의 종류도 다양하게 나타난다 (Fahn, 2000). 분비되는 물질이 친수성 물질인가 또는 소수성 물질인가의 화학적 특성에 따라서 분비모의 미세구조도 매우 다르게 분화될 수 있다. 방향성 식물에서 분비되는 정유성분을 포함하는 소수성 물질은 세포 내에서 합성되어 무수히 많은 소액포나 다양한 크기의 분비세포와 같이 막으로 둘러싸인 공간, 즉 막성계 구획에 격리되어 저장·축적된다. 지속적으로 소수성 물질이 합성되어 축적되는 분비세포에는 이들 물질을 저장하기 위한 커다란 공간인 분비강이 형성되어 분비기작에 있어 매우 중요한 기능을 수행한다 (Kim & Mahlberg, 1991; Hallahan et al., 2000; Kim & Mahlberg, 2000).

일부 식물의 표피조직에 발달하는 분비모는 성숙한 단계로 진행됨에 따라 분비강이 형성된 후 분비세포의 색소체로부터 분비물질이 합성되어 분비강으로 운

반·축적된다고 보고된 바 있다 (Kim & Mahlberg, 1991; Fahn, 2000). 이와는 달리, 본 연구의 쯤목형에서는 분비세포내에 일부 발달하는 색소체에서 이러한 분비물질의 합성, 운반 및 축적기능에 중요한 역할을 하는 양상은 나타나지 않았다. 그러나 크고 작은 분비세포가 무수히 많이 형성되어 분비강의 안쪽에 구심적으로 가득 채워지는 현상은 소수성 물질을 축적하고 분비하는 다른 분비모 형성 식물종에서와 같이 유사하게 진행되었다. 분비세포에 다양한 종류의 분비물질이 저장되고, 분비강이 팽창될 때 일부 분비세포가 분비강 외벽 쪽으로 이동·융합되어 큐티클층을 형성, 분비강 확장에 기여하는 현상이 쯤목형의 분비모 peltate형 Type 1 및 capitate형 Type 2에서도 확인되었다.

분비현상은 세포질이 충만한 세포내에서 물질을 합성하고 이를 이동시키는 매우 역동적인 과정이므로 많은 에너지를 필요로 한다 (Fahn & Shimony, 1996; Kim et al., 1998). 따라서 이들 세포에는 골지체와 소포체 등의 세포소기관이 잘 발달하고, 특히 색소체와 활면소포체의 증가는 분비단계에서 가장 두드러진 특징이라 할 수 있다 (Wagner, 1991; Duke & Paul, 1993; Hellahan et al., 2000; Cho, 2001). 색소체는 monoterpene의 합성장소로 추정되어 왔고, 분비물질 합성에 관여하는 세포내 소기관으로는 소포체가 발달하며, 특히 분비물질의 종류나 식물종에 따라 조면소포체 (Cross & Thomson, 1982; Kim, 1999) 또는 활면소포체 (Heinrich, 1973; Kim, 1999)의 발달이 보고된 바 있다 (Platt-Aloia et al., 1983; Kim, 1999). 많은 종류의 분비세포에는 작은 액포들이 융합되어 중앙의 액포가 생성되는데, 이는 본 연구의 분비모 Type 1 및 Type 2에서도 잘 관찰되었다. 또한, 쯤목형의 분비모에 있어 분비현상 전이나 이후 분비세포의 바깥쪽 큐티클층에 어떠한 틈이나 균열이 형성되어 있지 않은 것으로 보아 분비강으로 분비된 후 큐티클을 통해 직접 확산해서 빠져나갈 수 있는 소수성의 분자량이 작은 분비물질들이 분비되는 방식으로 (Kim et al., 1998) 휘발성의 방향성 물질이 방출되는 것으로 보인다.

이와 같이 쯤목형의 분비모는 초기 미성숙시 비교적 이른 단계에 정단의 분비세포 큐티클층이 세포벽으로부터 서서히 분리되어 팽창되면서 분비강이 형성

되었다. 분비세포 내에서 생성된 물질은 세포벽을 통해 운반되어 분비강에 형성된 무수히 많은 막성계 구획(membraneous compartments)인 소포들(vesicles)에 의해 저장되었다. 이들 구획이 팽창된 분비강을 가득 채우며 생성되는 물질들을 축적하여 이후 분비강을 용해시키지 않고 방향성분을 외부로 방출하는 것으로 보이며, 이는 SEM 연구를 통해 분비세포벽이 파열되지 않고 합입이 일어나 수축되는 현상으로 알아낼 수 있었다. 따라서 좁목형 분비모에서 일어나는 분비형태는 누출상 분비(eccrine secretion)라고 생각되며, 식물체에 각 부위에 발달하는 peltate형 Type 1 및 capitate형 Type 2 유형의 분비모들이 이들 식물의 분비현상에서 매우 중요한 역할을 하는 것으로 추정된다.

이상에서와 같이 좁목형에서 밝혀진 분비구조에 대한 데이터는 첫째, 다른 방향성 분비식물에서 일어나는 세포수준에서의 독특한 구조분화 특성 연구에 도움을 줄 것이며, 둘째, 방향성 약용식물이 함유하는 물질에 대한 기능성 성분함유 제품개발이나 천연물질을 이용한 신소재 개발 등의 영역에서 매우 유용하게 활용될 수 있는 기초 자료가 될 것이다.

참 고 문 헌

- Abu-Asab MS, Cantino PD: Phylogenetic implications of leaf anatomy in subtribe *Melittidinae* (Labiatae) and related taxa. *J Arnold Arbor* 68 : 1-34, 1987.
- Amancharla PK, Muthuraj PS, Rao GV, Singh OV: Isolation of a potent mosquito repellent from *Vitex negundo* L.: an alternative source of rotundial. *Nat Product Sci* 5 : 104-106, 1999.
- Beak SH, Lee SW: A study of the aucubin on the pulp tissue after pulpotomy in dogs. *J Kor Acad Conserv Dent* 24: 554-559, 1999.
- Cho BS: Ultrastructural studies of glandular trichomes and antibacterial activity of ethanolic extracts in *Pelargonium peltatum* 'Dale Queen'. MS Thesis, Konkuk University, pp. 1-58, 2001.
- Cho BS, Ko KN, Kim ES: Ultrastructural study of glandular trichomes in *Pelargonium peltatum*. *Kor J Electron Microsc* 29 : 125-136, 1999.
- Duke SO, Paul RN: Development and fine structure of the glandular trichomes of *Artemisia annua* L. *Intl J Plant Sci* 154 : 107-118, 1993.
- Fahn A: *Plant Anatomy*. pp. 152-184. Pergamon Press, Oxford, 1997.
- Fahn A: Structure and function of secretory cells. In: Hallahan DL, Gray JC, Callow JA, eds, *Advances in Botanical Research: Plant Trichomes*, pp. 37-75, Academic Press, Boston, 2000.
- Fahn A, Shimony C: Glandular trichomes of *Fagonia* L. (*Zygophyllaceae*) species: structural development and secreted material. *Ann Bot* 77 : 25-34, 1996.
- Glover BJ, Martin C: Specification of epidermal cell morphology. In: Hallahan DL, Gray JC, Callow JA, eds, *Advances in Botanical Research: Plant Trichomes*, pp. 193-217, Academic Press, Boston, 2000.
- Hallahan DL, Gray JC, Callow JA: *Advances in Botanical Research: Plant Trichomes*. pp. 1-316, Academic Press, London, 2000.
- Heinrich G: Entwicklung, Feinbau and Ölgehalt der Drüschuppen von *Monarda fistulosa*. *Plant Med* 23 : 154-166, 1973.
- Jirovetz L, Buchbauer G, Puschmann C, Shafi MP, Nambiar MKG: Analysis of the essential oils of the leaves of the medicinal plants *Vitex negundo* var. *negundo* and *Vitex negundo* var. *purpurescens* from India. *Acta Pharm* 48 : 179-186, 1998.
- Kim ES, Mahlberg PG: Secretory cavity development in glandular trichomes of *Cannabis sativa* L. (*Cannabaceae*). *Amer J Bot* 78 : 220-229, 1991.
- Kim ES, Mahlberg PG: Histochemical study of secretory lipids by imidazole staining. *Kor J Electron Microsc* 30 : 113-119, 2000.
- Kim ES, Oh SE, Yu SC: Ultrastructure and activity pattern of peroxidase in secretory trichomes of *Drosera capensis*. *Kor J Electron Microsc* 28 : 399-414, 1998.
- Kim HS: Ultrastructure of glandular trichomes in *Rosmarinus officinalis* L. MS Thesis, Konkuk University, pp. 1-33, 1999.
- Kim IS, Lee SH: Trichome type and development in leaves of *Althaea rosea*. *Kor J Electron Microsc* 35 : 97-104, 2005.
- Ko KN: Development and ultrastructure of glandular trichomes in *Pelargonium x fragrans* 'Mabel Gray'. MS Thesis, Konkuk University, pp. 1-72, 1998.
- Lee WL, Kho HS, Lee SG: The effect of iridoid compounds

- on wound healing. J Kor Acad Oral Med 24 : 137-143, 1999.
- Lee YN: Flora of Korea. p. 666, Kyohak Publishing Co., Seoul, 1996.
- Oross JW, Thomson WW: The ultrastructure of the salt glands of *Cydonon* and *Distichlis*. Amer J Bot 69 : 939-949, 1982.
- Platt-Aloia KA, Oross JW, Thomson WW: Ultrastructural study of the development of oil cells in the mesocarp of avocado fruit. Bot Gaz 144 : 49-55, 1983.
- Sacchetti G, Ballero M, Serafini M, Muzzoli M, Tosi B, Poli F: Morphological and histochemical investigation on glandular trichomes of *Orobanche ramosa* subsp. *nana* (Orobanchaceae). Phytol 43 : 207-214, 2003.
- Sohn K, Song JS, Kim KS: Morphological observation of glandular trichomes of *Elsholtzia ciliata* (Thunb.) Hylander by scanning electron microscope. J Kor Soc Hort Sci 39 : 814-818, 1998.
- Son JH: A study on effect of allelopathy of *Vitex negundo* var. *incisa* leaf extracts. MS Thesis, Chonbuk National University, pp. 1-29, 1999.
- Vrachnakis T: On the epidermal elements of *Origanum cakaratum* Juss. (Labiatae). Phytol 42 : 39-67, 2002.
- Vrachnakis T: Trichomes of *Origanum dictamnus* L. (Labiatae) Phytol 43 : 109-133, 2003.
- Wagner G: Secreting glandular trichomes: more than just hairs. Plant Physiol 96 : 675-679, 1991.
- Wagner, GJ, Wang E, Shepherd RW: New approaches for studying and exploiting an old protuberance, the plant trichome. Ann Bot 93 : 3-11, 2004.
- Werker E: Trichome diversity and development. In: Hallahan DL, Gray JC, Callow JA, eds, Advances in Botanical Research: Plant Trichomes, pp. 1-35, Academic Press, Boston, 2000.

< 국문 초록 >

방향성 식물은 식물체 특정부위에 분비구조를 발달시켜 활성물질을 세포의 외부 또는 세포간극으로 방출한다. 민간에서 약용으로 활용되는 쯤목형 (*Vitex negundo* var. *incisa*)은 독특한 향기를 강하게 발산하는 식물로 향의 근원은 표피조직에 발달하는 분비모 등에 의한 것으로 추정되고 있다. 이에 본 연구에서는 쯤목형의 잎 및 줄기 표피조직에 발달하는 모용에 대하여 성장단계별로 형태 및 세포수준에서의 구조분화 양상을 연구하였다. 쯤목형에 발달하는 분비모는 4개의 분비세포 (ca. 50 μ m 직경)와 병세포 (ca. 5 μ m 길이)로 분화하는 peltate 유형 (Type 1), 2개의 분비세포 (ca. 15 μ m), 병세포 (5~10 μ m), 기저세포로 이루어진 capitate 유형 (Type 2), 정단의 분비세포가 초기 단계에서부터 퇴화되는 degraded capitate 유형 (Type 3)으로 분화하였다. 비분비모는 특히 하피 전체에 더 발달하는 장상의 다세포성 모용 (110~190 μ m, Type 4)과 상·하피 전체에 밀생하는 단세포성 모용 (20~30 μ m, Type 5)으로 대별되었다. 분화초기 분비모 정단의 분비세포에서는 큐티클층이 세포벽으로부터 서서히 분리되어 팽창되면서 분비강이 형성되었다. 분비세포 세포질에서 생성된 물질은 세포벽을 통해 운반되어 분비강에 형성된 많은 분비소포에 저장되고, 이들 소포가 팽창된 분비강을 가득 채우며 생성되는 물질들을 축적한 후 방향성분 및 관련 물질을 누출상 분비방식으로 세포간극 또는 외부로 방출하는 것으로 추정된다. 이와 같이 쯤목형에서는 peltate 및 capitate 유형 (Type 1, 2)이 분비기작에서 매우 중요한 역할을 하는 것으로 사료된다. 본 연구에서 밝혀진 쯤목형의 분비구조에 대한 정보는 방향성 약용식물이 함유하는 특정물질의 기능성 성분 추적 연구 등에서 매우 유용하게 활용될 수 있는 자료가 될 것이다.

FIGURE LEGENDS

- Fig. 1.** General morphology of *Vitex negundo* var. *incisa*.
- Fig. 2.** Top view of the mature adaxial leaf.
- Fig. 3.** Top view of the mature adaxial leaf.
- Fig. 4.** Four head cells (HC) in the peltate glandular trichome. Mature leaf adaxial epidermis. I=Type 1. Bar=15 μ m.
- Fig. 5.** A shrunk head cell shown after secretion. Mature leaf adaxial epidermis. Bar=15 μ m.
- Fig. 6.** Part of a fully expanded secretory cavity (SC) within peltate glandular trichome before secretion. Notice dense cytoplasm in the head cell (lower left) and numerous secretory vesicles (asterisks) in the cavity. Bar=580 nm. Insert: A cluster of numerous secretory vesicles taken from slightly thick ultrathin section. Bar=300 nm.
- Fig. 7.** Part of a peltate glandular trichome after secretion exhibiting significantly reduced secretory cavity (SC). The cavity and head cells were already undergoing deterioration. Bar=580 nm. Insert: Higher magnification of the secretory vesicles remained within shrunk cavity. Compare with the insert in Fig. 6. Bar=150 nm.
- Fig. 8.** Abaxial epidermis of the immature leaf near the mid-vein. Bar=150 μ m.
- Fig. 9.** Distribution of dense trichomes in the immature stem. Bar=50 μ m.
- Fig. 10.** Typical capitate glandular trichome from the immature leaf adaxial epidermis. ST=stalk cell. Bar=5 μ m.
- Fig. 11.** Top view of two head cells (HC) in the capitate glandular trichome. Immature leaf adaxial epidermis. II=Type 2. Bar=5 μ m.
- Fig. 12.** Partial view of an early stage of a head cell (HC) and secretory cavity (SC) exhibiting fibrillar materials (arrows) arising from the head cell wall (CW). Bar=200 nm.
- Fig. 13.** Numerous secretory vesicles (asterisks) in various sizes within secretory cavity (SC) formed continuously from the head cell (left). Bar=500 nm.
- Fig. 14.** Formation of the secretory cavity (SC). Arrows indicate the expanding secretory cavity. Bar=1 μ m.
- Fig. 15.** Markedly contracted secretory cavity (asterisk) after secretion. Mature leaf adaxial epidermis. Bar=5 μ m.
- Fig. 16.** Degraded head cell of the Type 3 trichome (III). Immature leaf adaxial epidermis. Bar=5 μ m.
- Fig. 17.** Cross section of multicellular non-glandular trichome. Arrowheads indicate warty projections on the surface. V=vacuole. Bar=2.5 μ m.
- Fig. 18.** Closeup of Fig. 17 showing undulated cell walls (CW, arrowheads) and thick cuticle (C). Bar=830 nm.
- Fig. 19.** Distribution of the Type 4 trichomes noticed along the major vein (arrows). Immature leaf adaxial epidermis. Bar=100 μ m.
- Fig. 20.** Young multicellular non-glandular trichome (M) in early development. Immature leaf adaxial epidermis. Notice the absence of the warty projection in the first cell (asterisk). I=Type 1. Bar=15 μ m.
- Fig. 21.** Unicellular non-glandular trichomes (U) from the mature leaf abaxial epidermis. Bar=15 μ m.





