

무당거미(*Nephila clavata* L.Koch) 捕獲絲 生成器官의 微細構造에 關한 研究 I. 樹狀腺

文明珍 · 金宇甲

高麗大學校 理科學 生物學科

왕거미과의 무당왕거미屬중에서 유일하게 국내에 서식하는 무당거미(*Nephila clavata* L.Koch)를 재로로 捕獲絲 生成에 關여하는 樹狀腺(aggregate gland)의 微細構造를 光學 및 電子顯微鏡으로 관찰하였으며, 絹絲生成과 關聯된 세포질내 細胞小器官들과의 상관관계를 형태적인 측면에서 논의하였다.

粘着성이 강한 실을 분비하여 포획실을 짜는 두쌍의 수상선은 鞭狀腺과 함께 독특한 구조인 triad를 이루고 있었으며, 복강의 전역에 걸쳐 樹枝狀의 突起를 뺀고 있는 대형의 腺分泌部와 외벽에 많은 結節(nodule)들이 부착되어 있는 굵은 分泌管으로 이루어져 있었다.

분비관의 內腔에는 큐티클層이 형성되어 있었고, 上皮는 單層 圓柱狀이었으며, 그 주위에 結節形成細胞와 얇은 結合組織細胞가 둘러싸고 있었다. 선분비부와 가까운 近位部의 큐티클은 endocuticle 및 exocuticle의 두층으로 이루어져 있었으나, 吐絲管에 가까운 遠位部에서는 수분의 吸收와 關聯된 subcuticle層이 매우 발달되어 있었다. 結節형성세포는 원형질막의 陷入에 의해 형성된 細胞質突起의 내부에 수많은 글리코겐粒子和 미토콘드리아가 밀집되어 있었으며, 세포의 성숙단계에 따라서 이들의 분포상태가 각각 달리 관찰되었다.

견사물질을 생성, 분비하는 선분비부는 한층의 立方上皮細胞層과 이를 둘러싸고 있는 結合組織層으로 이루어져 있었고, 粗面小胞體가 특이적으로 발달된 腺上皮細胞의 내부에는 형태적으로 相異한 두종류의 분비과립들이 형성되어 있었으며, 인접한 세포들은 septate junction에 의해 連接되어 있었다.

KEY WORDS: Fine structure, Aggregate silk glands, Spider

新疣亞目(suborder Arachnomorphae)에 속하는 거미들은 먹이를 잡기 위해 粘着力이 강한 실을 생성 분비하는데, 이를 捕獲絲(capture thread)라고 하며, 거미의 종류와 그 구성성분에 따라서 gluey capture thread와 cribellar capture thread의 2종류로 구분된다(Peter, 1987). 前者는 둥근 그물을 치는 왕거미 종류에서만 관찰되며, 두가닥의 軸絲를 따라 점착성을 가진 방울들이 규칙적으로 배열된 형태의 포획사로서 樹狀腺과 鞭狀腺의 복합적인 구조로 부터 생성되고(Tillinghast and Townley, 1987), 後者는 篩板類의 사판선으로부터 분비되는 미세한 섬유상의 포획사로서 사판선 내부에 함유된 분비물질을 粘液과 비슷한 조직화학적 성질을 가지고 있음이 알려져 있다(Friedrich and Langer, 1969; Opell,

1982; Peter, 1984).

신우아목중에서도 견사선의 종류가 가장 多樣하고, 그 기능이 가장 分化되어 있는 왕거미과의 경우에는 포획사를 분비하는 樹狀腺과 鞭狀腺이 후방적돌기에 추가로 형성되어 있으며(Sekiguchi, 1952; Peter, 1955), 특수한 포획사를 생성하는 사판류의 거미는 篩板腺(cribellar gland)이나 副篩板腺(paracribellar gland), 또는 偽鞭狀腺(pseudoflagelliform gland)등의 견사선을 추가로 가지는 것으로 보고되어 있다(Peter and Kooor, 1980; Peter, 1984, 1987).

본 연구는 둥근 그물을 치는 신우아목중에서 몸체가 크고 견사선의 종류가 다양한 왕거미과, 무당왕거미屬에 속하는 종류로서 유일하게 국내에 서식하는 무당거미(*Nephila clavata* L.Koch)를

대상으로 포획사 생성기관인 樹狀腺의 微細構造와 포획사 생성과 관련된 細胞小器官들과의 상관관계를 形態的으로 관찰하였다.

材料 및 方法

해부현미경에서 摘出した 무당거미(*Nephila clavata* L.Koch) 雌性成體의 樹狀腺을 2.5% paraformaldehyde-glutaraldehyde(4°C, pH 7.4, phosphate buffer)와 1% O_3O_4 (4°C, pH 7.4, phosphate buffer)로 前固定 및 後固定한 다음, ethanol 농도상승 순서로 脫水하였으며, propylen oxide로 치환하여 Epon-Araldite混合液에 包埋하였다.

포매된 조직은 LKB ultramicrotome으로 먼저 semithin section하여 1% borax에 녹인 1% toluidine blue로 hot plate(60°C) 상에서 染色한 다음 광학현미경으로 관찰하였으며, 이어서 超薄切片을 제작하여 copper grid에 부착시킨 다음, uranyl acetate와 lead citrate로 二重染色하여 JEM 100 CX-II型 透過電子顯微鏡으로 80kV에서 관찰하였다.

結 果

무당거미의 복강내 거의 대부분을 차지하고 있는 대형의 絹絲腺인 樹狀腺은 後紡績突起(posterior spinnerets)에 돌출된 두쌍의 大吐絲管을 통해 체외로 開口되어 있었으며, 그 형태적 특징에 따라서 외벽에 많은 結節(nodule)이 형성된 分泌管(duct)과 복강의 背面에 광범위하게 樹狀의 突起를 뿜고 있는 腺分泌部(secretory portion)로 구분되었다(Fig. 1).

1. 分泌管

樹狀腺의 분비관은 굵고 짧은 관으로 되어있고, 외벽에는 많은 결절이 부착되어 있었다. 분비관은 내강의 큐티클층과 상피의 미세구조적 차이에 따라서 토사관과 연결된 遠位部(distal region)와 선분비부에 가까운 近位部(proximal

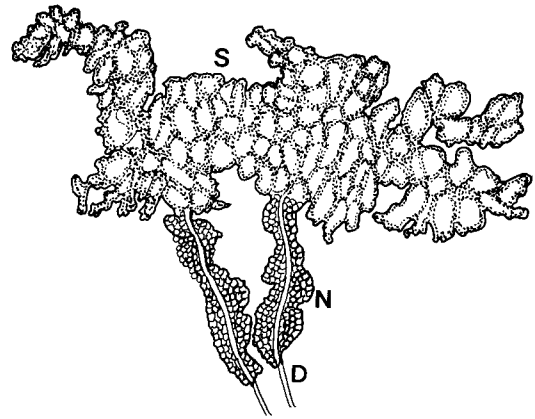


Fig. 1. Diagram of the aggregate gland. D: duct N: nodule forming cell, S: secretory portion

region)의 두부분으로 구분되었다.

1) 遠位部

紡績突起의 토사관을 통해 외부로 개구되던 직전의 분비관 원위부의 두께는 $30\mu m$ 정도였으며, 큐티클층은 분비관 벽의 약 1/10 두께였다 (Plate 1-1).

上皮細胞의 핵은 주로 基部에 위치하며, 세포질의 전자밀도는 매우 낮았다. 세포질내에는 미토콘드리아가 다수 분포하였으며, 큐티클층과 접해있는 원형질막에는 많은 微細絨毛가 형성되어 있었고, 인접세포간에는 septate junction과 desmosome이 발달되어 있었다(Plate 1-2).

큐티클층은 세층으로 동심원상 배열을 이루고 있었는데, 가장 基部에 위치한 subcuticle層과 중앙부의 endocuticle層, 그리고 가장 內腔部에 위치한 exocuticle層으로 구분되었다. Subcuticle層은 전자밀도가 낮고 균일한 섬유상의 물질로 이루어져 있었으며, 상피세포의 미세용모가 이 층과 연결되어 있었다. Endocuticle層은 그 형태적 특징에 따라서 絲狀의 물질이 동심원상으로 배열되어 있는 내층과 전자밀도가 높은 물질이 균일한 밴드의 형태로 배열된 중간층, 그리고 전자밀도가 극히 높은 물질이 집적되어 있는 외층으로 구분되었다. 분비관 내강부의 exocuticle層은 그 두께가 다른 큐티클층에 비해 매우 얇고, 전자밀도도 매우 높은 것으로 관찰

되었다(Plate 1-2,3).

한편 상피세포의 내강부 세포질에는 작은 과립들이 다수 집적되어 있었으며, 電子密度가 높은塊狀의 물질이 미세융모의 사이를 통해 큐티클층으로 이동하는 현상도 흔히 관찰되었다(Plate 1-3). 이들은 한겹의 원형질막으로 둘러싸여 exocytosis에 의해 큐티클층으로 운반되는데 endocuticle層 상부의 구성물질과 동일한 형태적 특성을 지니고 있었다(Plate 1-4). 微細絨毛의 주변에서는 이 물질외에도 상피세포의 基底部 세포질로부터 이동된 작은 과립들이 밀집되어 있었다(Plate 1-5).

상피의 주변에는 세포내에 수많은 미토콘드리아를 가진 대형의 結節形成細胞가 형성되어 있었고(Plate 1-6), 이 세포의 외부에서는 또 한층의 結合組織細胞가 분포되어 있었다(Plate 1-7).

2) 近位部

근위부 분비관의 직경은 원위부에 비해 다소 확장되어 있었고, 그 외부에는 많은 결절형성세포가 복잡한 형태로 부착되어 있었으며, 큐티클층의 두께는 원위부의 것과 거의 동일하였다(Plate 2-1).

상피세포와 큐티클층간의 연결부위에서는 微細絨毛가 형성되어 있었고, 間隙이 잘 발달되어 있었으며, 세포질의 전자밀도는 원위부에 비해 비교적 높았다(Plate 2-2).

큐티클층도 원위부와는 달리 전자밀도가 낮은明帶와 전자밀도가 높고 과립상의 물질이 함유된暗帶가 교대로 배열된 형태로 관찰되었으며, 근위부와 원위부의 경계부위에서는 원위부의 endocuticle層 상부에서 관찰되었던 전자밀도가 높은 물질이 큐티클층의 基底部에 분산되어 있었다(Plate 2-3).

상피세포의 외부를 둘러싸고 있는 결절형성세포의 세포질 속에는 글리코겐粒자가 고루分散되어 있었고, 원형질막의 陷入에 의해 형성된原形質突起의 내부에는 수많은 미토콘드리아가 간직되어 있었다. 結合組織으로 둘러싸인 결절형성세포의 외부에는 많은血球가 함유되어, 이 부분이 혈림프를 통해 직접 영양을 받고 있는 것

으로 관찰되었다(Plate 2-4).

한편 결절형성세포는 세포의成熟段階에 따라서 내부에 함유된 미토콘드리아와 글리코겐粒자의 분산상태가 서로 달리 관찰되는데, 미성숙된 세포에서는 주로 內腔部에 글리코겐입자가 집중되어 있고 기저부에 미토콘드리아가 동심원상으로 분포되어 있는데 비해, 완전히 성숙된 세포에서는 세포질 전역에 걸쳐서 미토콘드리아와 글리코겐입자가 혼합되어 고르게 분산되어 있었다(Plate 2-5).

내강부의 상피세포와 그 주변의 결절형성세포들은 desmosome에 의해 連接되어 있었고, 세포의 전자밀도는 상피세포가 비교적 높았으며, 미토콘드리아의 크기는 결절형성세포의 것이 훨씬 대형인 것으로 관찰되었다(Plate 2-6).

2. 腺分泌部

樹狀腺의 선분비부는 무당거미의 복강내부에 간직된 여러종류의 전사선들 중에서 가장 광범위하게 분포되어 있으며, 그 모양은 복잡한樹枝狀으로 분비관을 중심으로放射狀의突起를 뻗고 있었다(Plate 3-1).

선분비부의 세포는 한겹의立方上皮細胞와 그 주위를 둘러싼 한층의 結合組織細胞로 이루어져 있었다. 상피세포는 세포질의 전자밀도가 높고 미토콘드리아 및粗面小胞體가 매우 발달되어 있었으며, 내강쪽의 원형질막에는 微細絨毛가 형성되어 있었다(Plate 3-2). 核은球形으로 특히仁이 잘 발달되어 있었고, 세포질 내에는 형태적으로 상이한 두 종류의 분비과립이 관찰되었다. 이들은 큰 과립의 내부에 전자밀도가 낮은 소형과립이 함유되어 있는 multivesicular body형태의 분비과립과(Plate 3-3), 세포질의 일부에서 무리를 지어 나타나는 전자밀도가 낮은脂質性과립으로서(Plate 3-4), 이 과립들의 주변에서는 조면소포체와 미토콘드리아가 많았고, 골지複合體는 전혀 관찰되지 않았다.

완전히 성숙되어 내강 속으로 방출된 분비과립의 基質은 미세한 섬유상물질로 변형되어 있었다(Plate 3-5). 樹狀腺의 선분비부 상피세포도 다른 부위의 것과 마찬가지로 septate junction에 의해 서로 연결되어 있었고(Plate 3-6), 분비과

림을 방출한 이후의 세포에서는 핵내부의 물질이 퇴화되는 현상도 관찰되었다(Plate 3-7).

考 察

거미의 견사선내에 함유된 견사물질의 성분은 수용성物質과 不水溶性物質로 이루어져 있다(Tillinghast and Townley, 1987). 수용성물질은 주로 粘着力을 가진 방울의 형태로 생성되어 同心圓狀의 adhesive spiral에 분포함이 방사성 동위원소를 이용한 실험에 의해 밝혀져 있는데(Kavanagh and Tillinghast, 1979; Anderson and Tillinghast, 1980), 이들은 모두 복강내의 樹狀腺에서부터 생성 분비되며(Kovoor, 1987), 수용성 물질의 기능은 점착력을 이용해 먹이를 捕獲하거나, 水分을 흡수하여 점착성을 지속시키는 기능외에도 세균의 번식을 억제시키는 기능도 가지는 것으로 보고되어 있다(Tillinghast and Townley, 1987). 이에 대해 불수용성물질은 放射絲(radial fiber)나, 동심원상의 hub spiral, adhesive spiral, 그리고 dragline 등에 광범위하게 분포하여 주로 그물의 물리적인 支持作用을 수행하는 것으로 알려져 있다(Andersen, 1970; Tillinghast and Christenson, 1984).

무당거미의 수상선은 선분비부가 복강의 거의 대부분에 펼쳐져 있는 多葉狀의 대형분비선으로서, 2쌍이 모두 腹部 尾側端의 後紡績突起를 통해 개구되어 있음이 관찰되었는데, 거미의 수상선이 발생과정중 작은 견사선들의 융합에 의해 형성되고(Kovoor and Zylberberg, 1979), 수상선에 함유된 물질은 약산성의 糖蛋白質로서 미세한 점성液體인 glue의 형태로 방출되며(Kovoor, 1972), 당단백질의 주요한 탄수화물 잔기는 N-acetyl galactosamine(Dreesbach *et al.*, 1983), 혹은 galactosamine(Sinohara and Tillinghast, 1984)인 것으로 알려져 있다. 또한, Moon 등(1988a)은 무당거미의 경우 두쌍의 수상선은 그 형태나 조직화학적 특성, 그리고 단백질 패턴등이 모두 동일함을 밝힌 바 있는데, 왕거미科(Araneidae)나 갈거미科(Tetragnathidae), 접시거미科(Linyphiidae)등에

서도 무당거미와 동일한 결과가 보고되어 있으나(Kovoor, 1987), 꼬마거미科(Theridiidae)의 경우에는 서로 다른 두쌍의 樹狀腺으로 이루어져 있는 것으로 보고되었다(Kovoor, 1987).

둥근그물을 치는 왕거미종류의 樹狀腺과 鞭狀腺의 吐絲管은 "triad"라고 불리우는(Kovoor and Lopez, 1982), 특이한 형태로 배열되어 있는데, 鞭狀腺과 樹狀腺에 의해 형성된 이런 복합구조의 기능은 Sekiguchi(1952)에 의해 *Araneus*屬과 *Nephila*屬에서 처음 밝혀졌으며, 거의 비슷한 시기에 Peter(1955)에 의해서도 *Nephila*屬에서 보고되었다. 무당거미의 경우도 자성개체의 경우 두개의 triad를 가지고 있음이 밝혀진 바 있으며(Moon and Kim, 1988), 현재는 왕거미科의 거의 모든 屬에서 관찰되고 있으나, *Cyrtophora*屬에서는 이러한 구조가 결여되어 있음이 보고된 바 있다(Kovoor and Lopez, 1982).

본 실험에서 관찰된 무당거미 樹狀腺의 분비관은 팽대된 분비관을 가진 瓶狀腺과 鞭狀腺의 것(Moon and Kim, 1988)과는 달리 비교적 짧은 한점의 관으로 되어 있었고, 분비관 外壁에는 많은 結節(nodule)이 부착되어 있었다. 원형질막의 함입에 의해 형성된 결절형성세포의 原形質突起에는 글리코겐粒子和 미토콘드리아가 고루 分散되어 있었으며, 세포의 成熟段階에 따라서 이들의 분산상태가 서로 달리 관찰되었는데, 이러한 결과는 Kovoor와 Zylberberg(1979)가 *Araneus diadematus*의 수상선에서 보고한 결과와 일치하는 것으로서 성숙된 세포일수록 미토콘드리아와 글리코겐입자가 세포질 전역에 걸쳐서 고르게 분산되는 것으로 관찰되었다.

수상선에서 분비된 絹絲의 주기능이 먹이를 삼는 捕獲絲로 사용된다는 점으로 미루어 이 세포의 기능이 선분비부 내에서 생성되어 분비관으로 이동된 견사물질의 화학적조성을 변형시키거나, 포획사의 glue를 水化시켜 粘着性을 오래 유지시키는 역할을 수행하는 것으로 알려져 있고(Kovoor and Zylberberg, 1979; Tillinghast and Christenson, 1984; Tillinghast and Townley, 1987), *Kaira alba*와 같은 종에서는 교미시 수컷을 유인하기 위한 性誘引物質(sex attrac-

tant)이 여기서 만들어짐이 보고되어 있으나 (Lopez and Stowe, 1985), 세포질의 대부분이 미토콘드리아와 글리코겐입자로만 채워져 있을 뿐, 결절형성세포내에 분비물질의 생성과 관련된 구조가 거의 없는 점으로 미루어, 또 다른 기능이 있을 것으로 생각되며, 여기에 대해서는 좀더 상세한 물질의 분석이 이루어져야 할 것으로 사료된다. 그리고, 분비관의 내강부 상피세포에 집적된 電子密度가 높은塊狀의 물질은 원형질막으로 둘러싸여 exocytosis에 의해 큐티클층으로 운반되는 것으로 관찰되었는데, 이물질이 endocuticle層 상부의 구성물질과 동일한 형태적 특성을 지니고 있는 점으로 미루어 큐티칼의 前驅物質일 것으로 생각된다.

한편, 수상선 선분비부의 상피세포에는 multivesicular body형태의 과립과 脂質性과립 등 두 종류의 분비과립이 함유되어 있었고, 분비과립의 주변에서는 조면소포체만이 관찰되었으며, 골지複合體는 전혀 관찰되지 않았다. Bell과 Peakall(1969), Moon 등(1988b,c)도 병상선의 腺上皮細胞 내부에 골지복합체가 없고 조면소포체만이 발달되어 있다는 사실을 관찰하고 견사물질은 조면소포체 내에서 이미 分泌할 준비가 완료된 상태로 합성되며, 골지복합체를 통한 더 이상의 농축과정이 필요하지 않음을 시사한 바 있다. 이러한 결과로 미루어 볼 때, 수상선에서 생성되는 분비과립들도 다른 견사선들과 마찬가지로 모두 조면소포체로부터 起源하며, 또한 과립의 限界膜도 소포체로부터 형성되는 것으로 사료된다.

引用文獻

- Andersen, S. O., 1970. Amino acidic composition of spider silks. *Comp. Biochem. Physiol.* **35**:705-713.
- Anderson, C. M. and E. K. Tillinghast, 1980. GABA and taurine derivatives on the adhesive spiral of the orb web of *Argiope* spiders, and their possible behavioural significance. *Physiol. Entomol.* **5**:101-106.
- Bell, A. L. and D. B. Peakall, 1969. Changes in fine structure during silk protein production in the ampullate gland of the spider *Araneus sericatus*. *J. Cell Biol.* **42**:284-295.
- Dreesbach, K., G. Uhlenbruck, and E. K. Tillinghast, 1983. Carbohydrates of the trypsin soluble fraction of the orb web of *Argiope trifasciata*. *Insect Biochem.* **13**:627-631.
- Friedrich, V. L. and R. M. Langer, 1969. Fine structure of cribellate silk. *Am. Zool.* **9**:91-96.
- Kavanagh, E. J. and E. K. Tillinghast, 1979. Fibrous and adhesive components of the orb webs of *Araneus trifolium* and *Argiope trifasciata*. *J. Morphol.* **160**:17-32.
- Kovoor, J., 1972. Etude histochimique et cytologique des glandes sericigenes de quelques Argiopidae. *Ann. Sci. Nat. Zool. Biol. Anim.* **14**:1-40.
- Kovoor, J., 1987. Comparative Structure and Histochemistry of Silk-producing Organs in Arachnids. *In: Ecobiology of Spiders*(Nentwig, W. ed.) Springer-Verlag, Berlin, pp. 159-186.
- Kovoor, J. and A. Lopez, 1982. Anatomie et histologie des glandes sericigenes des *Cyrtophora* (Araneae, Araneidae): affinites et correlations avec la structure et la composition de la toile. *Rev. Arachnol.* **4**:1-21.
- Kovoor, J. and L. Zylberberg, 1979. Ultrastructure du canal des glandes agregees et flagelliformes d'*Araneus diadematus* Clerck (Araneae, Araneidae). *Zoomorphology* **92**:217-239.
- Lopez, A. and M. K. Stowe, 1985. Observations sur quelques araignees "excentriques" du Nouveau Monde et leurs glandes a soie. *Bull. Soc. Sci. Nat. Beziers.* **10**:16-23.
- Moon, M. J. and W. K. Kim, 1988. distribution of the spinning apparatus and its fine structure of the orb web spider, *Nephila clavata* L.Koch. *Korean Arachnol.* **4**:1-13.
- Moon, M. J., S. B. Baek, and W. K. Kim, 1988a. Study on the histochemical characteristics and protein patterns of the spider silk glands in *Nephila clavata* L. Koch. *Korean Arachnol.* **4**:127-136.
- Moon, M. J., C. S. Kim and W. K. Kim, 1988b. Ultrastructure of the ampullate gland in the orb web spider, *Nephila clavata* L.Koch. (I) Excretory duct of the large ampullate gland. *Korean J. Electron Microscopy* **18**:93-106.
- Moon, M. J., C. S. Kim, and W. K. Kim, 1988c. Ultrastructure of the ampullate gland in the orb web spider, *Nephila clavata* L.Koch. (II) Sac and tail portion of the large ampullate gland. *Korean J. Electron Microscopy* **18**:107-117.
- Opell, B. D., 1982. Cribellum, calamistrum and ventral comb ontogeny in *Hyptiotes cavatus*(Hentz)(Araneae: Uloboridae). *Bull. Br. Arachnol. Soc.* **5**:338-343.
- Peter, H. M., 1955. Über den Spinnapparat von

- Nephila madagascariensis* (Radnetzspinnen, Fam. Argiopidae). *Z. Naturforsch.* **103**:395-404.
- Peter, H. M., 1984. The spinning apparatus of Uloboridae in relation to the structure and construction of capture threads (Arachnida, Araneidae). *Zoomorphology* **104**:96-104.
- Peter, H. M., 1987. Fine Structure and Function of Capture Threads. In: *Ecobiology of Spiders*(Nentwig, W. ed.) Springer-Verlag, Berlin, pp. 187-202.
- Peter, H. M. and J. Koor, 1980. Un complement a l'appareil sericigene des Uloboridae (Araneae): Le paracibellum et ses glandes. *Zoomorphology* **96**:91-102.
- Sekiguchi, K., 1952. On a new spinning gland found in geometric spiders and its function. *Annot. Zool. Jpn.* **25**:394-399.
- Sinohara, H. and E. K. Tillinghast, 1984. Carbohydrates associated with the orb web protein of *Argiope aurantia*. *Biochem. Int.* **9**:315-317.
- Tillinghast, E. K. and T. Christenson, 1984. Observations on the chemical composition of the web of *Nephila clavipes*(Araneae, Araneidae). *Arachnol.* **12**:69-74.
- Tillinghast, E. K. and M. Townley, 1987. Chemistry, physical properties, and synthesis of Araneidae orb webs. In: *Netwig, W.(ed) Ecobiology of Spiders*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 203-210.

(Accepted May 10, 1989)

Fine Structural Study on the Capture Thread-Producing Organs in *Nephila clavata* L.Koch (Araneae: Araneidae) I. Aggregate Glands

Myung Jin Moon and Woo Kap Kim (Department of Biology, Korea University, Seoul, 136-701, Korea)

The fine structure of the aggregate glands-one of the capture thread producing organs-in the orb web spider, *Nephila clavata* L.Koch, is studied with light and electron microscopes.

Gluey capture threads or sticky spirals of the orb web are originated from the silks of two flagelliform glands and four aggregate glands which are connected to the posterior spinnerets, and the arrangement of their spigots(large spinning tubes) shows a characteristic form called "triad". The aggregate gland is composed of large and multilobed secretory portion and thick excretory duct surrounded by large irregular nodules.

The excretory duct of the aggregate glands basically consists of three superposed types of cells which are inner columnar epithelium, nodule-forming cells and outer connectives. The cuticles of the proximal duct near the secretory portion are composed of endocuticle and exocuticle, whereas the distal duct near the spinning tubes has a electron lucent subcuticle which had the functions of water removal and orientation of silk fibers.

In the cytoplasmic process of the large and irregular nodule-forming cells surrounded by invaginations of the plasma membranes, numerous mitochondria and glycogen particles are contained. The maturational level of the nodule cells is perceived from the appearance of these cell inclusions.

The secretory portion of the glands which produce the secretory silk material shows two layers of the cells which are simple cuboidal epithelium and several connective layers. In the cytoplasm of the glandular epithelial cell, rough endoplasmic reticulums are well developed, and two types of secretory granules are observed. Between the adjacent epithelial cells, specialized septate junctions are formed along the plasma membranes.

Plate 1. Distal region of the excretory duct.

1. Light micrograph of the distal excretory duct of the aggregate gland. C: inner canal, EP: epithelium, NO: nodule forming cells. (x580)
2. Electron micrograph of the distal excretory duct of the aggregate gland. The epithelial cells comprise very low electron density, and contain numerous mitochondria in the cytoplasm. (x6,800)
3. Inner endocuticles are composed of several layers. Along the apical plasma membranes of the epithelial cells, septate junctions(SJ) are highly developed. CU: cuticle layer, MV: microvilli, S: electron dense secretory material. (x10,500)
4. The electron dense secretory materials(S) is extruded from the basal epithelial cells to inner cuticle layer(CU). (x13,000)
5. High magnification electron micrograph of the apical microvilli(MV) and small vesicles(V) accumulated in the cytoplasm. (x36,000)
6. The oval shaped nuclei(N) of the epithelial cells(EP) are located at the basal portion. (x3,600)
7. Several connective layers(CO) cover large and irregular shaped nodule forming cells(NO) which are rich in glycogen and mitochondria(M) surrounded by invaginations of the plasma membranes. N: nucleus of the connective cell. (x7,000)

Plate 2. Proximal region of the excretory duct.

1. Light micrograph of the proximal excretory duct of the aggregate gland. C: inner canal, NO: nodule forming cells. (x450)
2. Electron micrograph of the proximal excretory duct of the aggregate gland. CU: cuticle layer, MV: microvilli, SJ: septate junction. (x9,000)
3. At the basal portion of the inner cuticle layer(CU), electron dense small grains(arrow) are distributed along the cuticular intima. (x10,500)
4. Outside of the large nodule forming cells(NO), various types of the hemocytes(HE) are seen. CO: connective cells. (x5,000)
5. In the cytoplasm of the nodule forming cells(NO) glycogen particles(arrows) and mitochondria(M) are compactly aggregated. CO: connective cells. (x7,000)
6. These glycogen particles(GP) and mitochondria(M) are surrounded by invaginations of the plasma membranes. (x13,000)

Plate 3. Secretory portion of the aggregate glands.

1. Light micrograph of the secretory portion of the aggregate gland. CO: connective layer, EP: epithelium, L: inner lumen. (x450)
2. Electron micrograph of the secretory portion of the aggregate gland. CO: connective cell, ER: rough endoplasmic reticulum, G: secretory granules, N: nucleus of the epithelial cell. (x3,400)
3. Electron micrograph showing the multivesicular shaped secretory granules(G) of the glandular epithelial cells. M: mitochondria, MV: microvilli, NL: nucleolus. (x7,000)
4. In the cytoplasm of the glandular epithelial cell, small lipid droplets(LD) are also observed. ER: rough endoplasmic reticulum. (x13,000)
5. Mature secretory materials are encapsulated with other cytoplasmic inclusions(arrow) and released by the exocytosis. (x10,500)
6. After the extrusion, secretory material(SM) is deformed to fine fibrous structure. (x3,600)
7. Disorganization of the nucleus(N) after extrusion. (x3,600)

PLATE 1

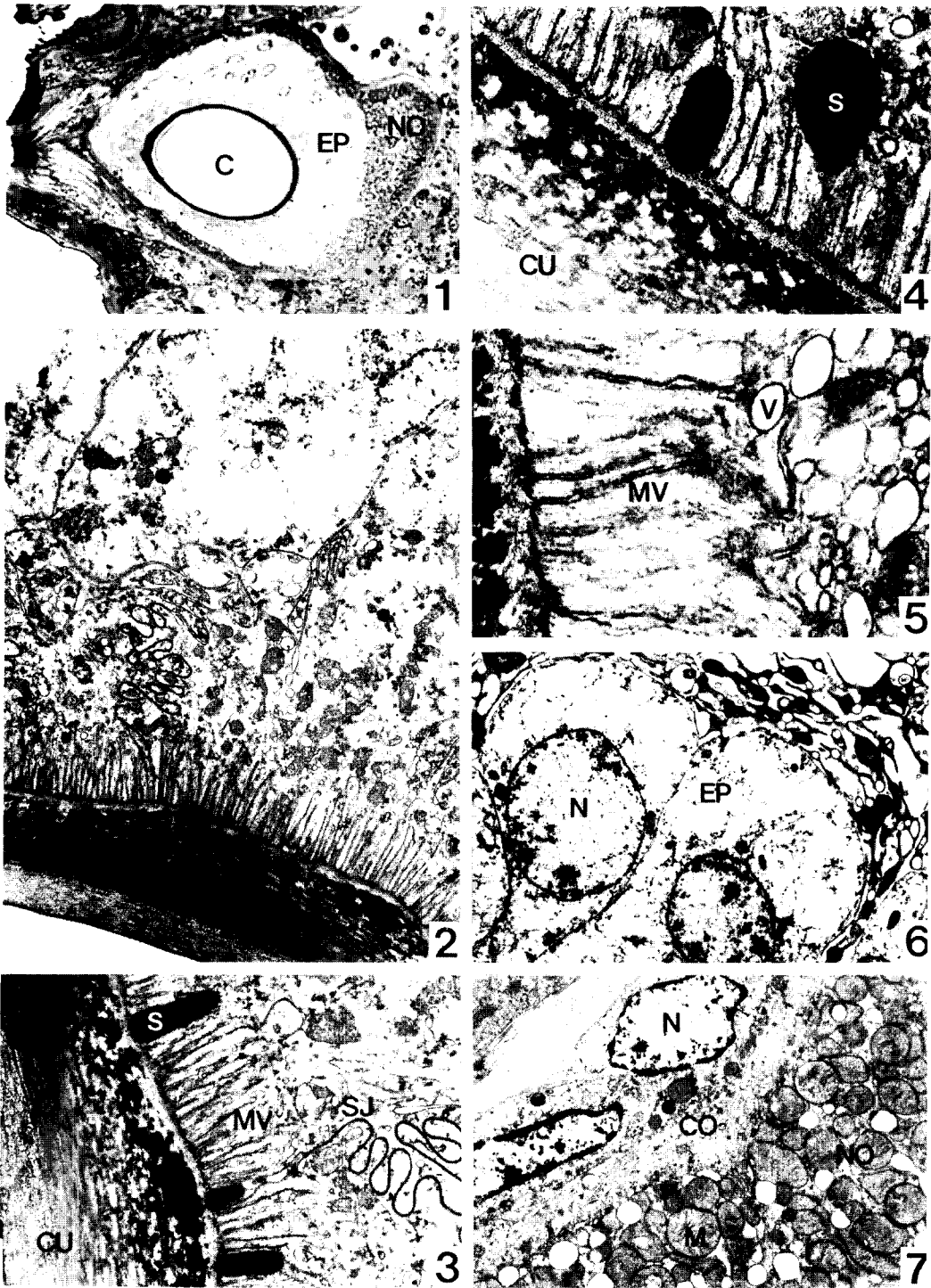


PLATE 2

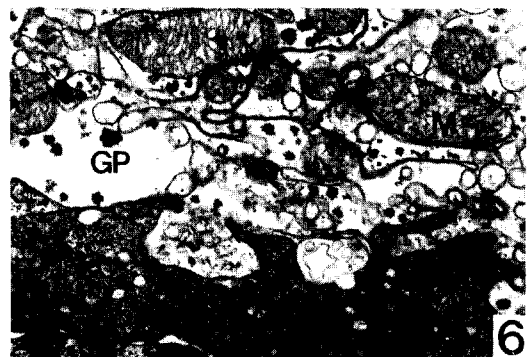
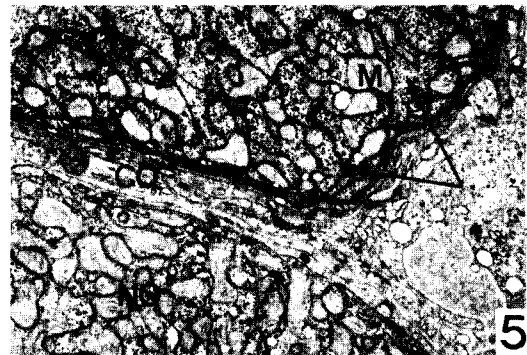
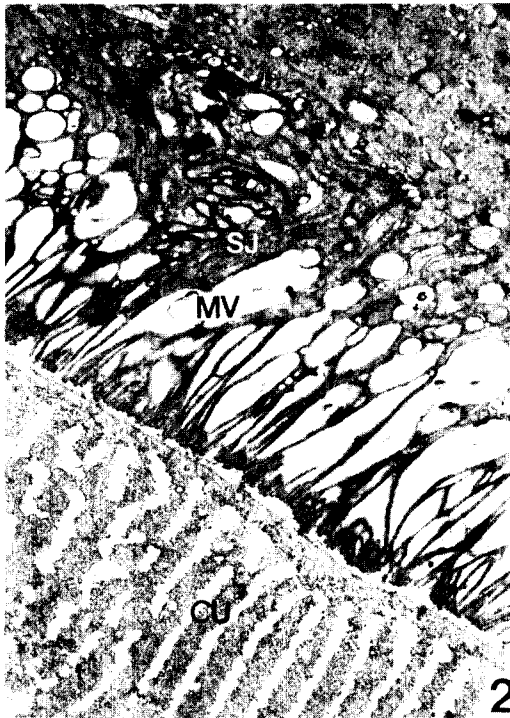
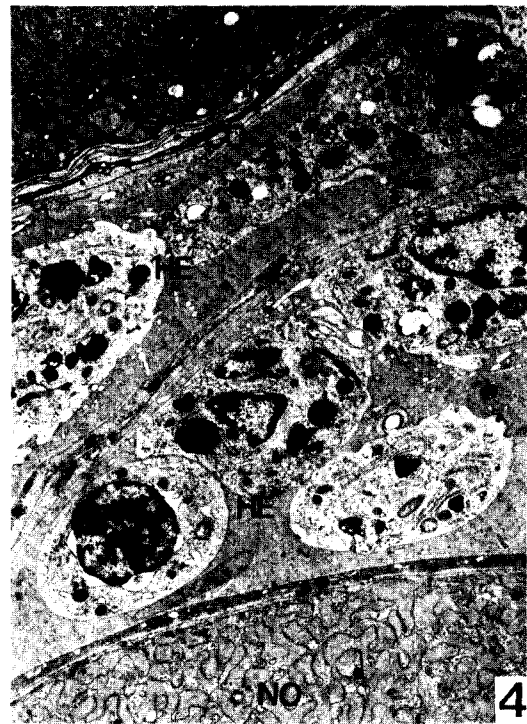
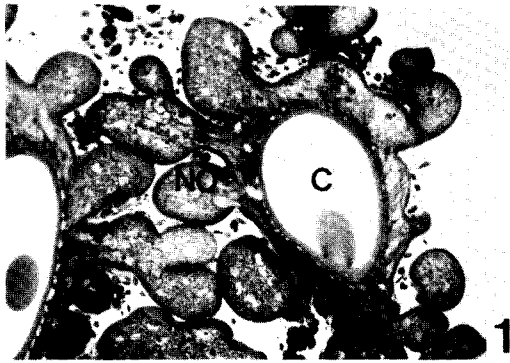


PLATE 3

