

들풀거미 (*Agelena limbata*) 방적돌기와 토사관의 미세구조

문명진*, 강창수¹

단국대학교 첨단과학부 생물학전공

¹호서대학교 자연과학부 생명과학과

Ultrastructure of the Spinnerets and Spigots in the Funnel-web Spider, *Agelena limbata*

Myung-Jin Moon* and Chang-Soo Kang¹

Department of Biological Sciences, Dankook University, Cheonan 330-714, Korea

¹Department of Life Sciences, Hoseo University, Asan 336-795, Korea

(Received December 1, 2003; Accepted December 11, 2003)

ABSTRACT

The fine structural characteristics of the spinnerets and spigots of the silk producing apparatus in the adult funnel web spider, *Agelena limbata*, were analysed with the light and scanning electron microscopes. Silk producing apparatus of this spider was composed of three pairs of spinnerets (anterior, median, posterior) and four different types of spigots ampullates, tubuliforms, pyriforms and aciniforms. By the examination of their ultrastructural characteristics, it has been revealed that each spigot on the spinnerets are connected through the typical silk gland within abdominal cavity. Among the three pairs of spinnerets, the posterior pairs were highly elongated and has most characteristic features. Two pairs of large ampullates were connected to anterior spinneret and another two pairs of small ampullates to median spinnerets. Spigots of the tubuliforms were observed only in female and were connected both of median and posterior spinnerets respectively. While spigots of the pyriforms were connected on the anterior spinnerets but aciniforms on both of median and posterior spinnerets respectively.

Key words : *Agelena limbata*, Funnel web spider, Silk, Spigots, Spinnerets

서론

거미의 실크 분비장치는 배의 아래쪽 끝 부분에 위치한 방적기관(spinning apparatus)과 복부의 거의 대

부분을 차지하는 견사선(silk gland)으로 구성되어 있다(Kuechler, 1987). 거미의 방적돌기는 보통 세 쌍으로 위치에 따라 전, 중, 후 방적돌기로 구분되는데, 종에 따라 다양한 형태를 나타낸다. 방적돌기의 딸단부에는 방적면이 형성되어 있고, 방적면에는 복강의 견

* Correspondence should be addressed to Dr. Myung-Jin Moon, Department of Biological Sciences, Dankook University, Cheonan 330-714, Korea.
Ph.: (041) 550-3445, FAX: (041) 551-9229, E-mail moonmj@dankook.ac.kr
Copyright © 2003 Korean Society of Electron Microscopy

사선과 연결되어 실을 만들어 내는 토사관이 분포되어 있다. 이러한 토사관은 종에 따라 그 수와 모양이 매우 다양하며, 또한 같은 종이라고 하더라도 탈피의 횟수나 성별에 따라 상당한 변이를 보인다.

거미가 만들어 내는 실은 전자선 내의 액상의 투명한 젤리같은 실크물질이 전자선의 분비관을 통과하여 토사관의 끝에 있는 미세한 구멍으로 나오게 된다 (Knight & Vollrath, 1999, 2001). 거미줄을 만들어 내기 위한 물질을 합성하는 전자선은 왕거미과 (Araneidae)의 경우, 총 9종류가 보고되어 있으나 (Kovoor & Peters, 1988), 한 종의 거미가 항상 모든 전자선을 가지고 있지는 않으며, 거미의 종류와 암수의 구별, 개체의 성장 정도에 따라 다르다 (Nigam & Dave, 1994).

거미의 실크체계에 관한 연구는 왕거미과에서는 무당거미 (*Nephila clavata*)를 대상으로 Moon 등 (1989a, b)에 의한 보고와, 긴호랑거미 (*Arigiopie bruennichii*)를 대상으로 한 Moon (1998b) 등의 보고가 있으며, 늑대거미과 (Lycosidae)의 별늑대거미 (*Pardosa astrigera*)를 대상으로 한 Moon (1998a) 등에 의한 연구 보고가 있다.

본 연구에 사용된 들몰거미 (*Agelena limbata*)는 헤르실라상과 (Hersilioidea)의 가계거미과 (Agelenidae)에 속하며, 이 거미는 풀숲과 나뭇가지 사이에 깔때기 모양의 천과 같은 촘촘한 그물 (funnel web)을 치는 습성이 있다. 국내에서는 아직 가계거미과의 거미에 대한 연구가 미비되어 있으며, 실크 분비체계에 대한 연구는 최근 Park & Moon (2002)의 연구를 제외하면 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 들몰거미의 실크 분비장치에 있는 방적돌기와 토사관의 미세구조를 고배율의 전자현미경으로 관찰하고, 이를 토대로 가계거미과 거미류의 실크 분비체계를 밝히고자 본 연구를 시행하였다.

재료 및 방법

본 실험에 사용한 실험재료는 가계거미과의 들몰거미 (*Agelena limbata*)로서, 이들은 깔때기 모양의 그물을 치는 정주성 거미이다. 충청남도 천안시 안서동 일대에서 7월에서 10월 중 채집하여 사육통 속에서 갈

색거저리 유충을 먹이로 주면서 사육하였으며, 마지막 탈피가 끝난 성체를 선별하여 실험재료로 사용하였다. 암컷의 경우 산란 전의 성숙 개체를, 그리고 수컷은 생식기관이 성숙된 성체를 각 5개체씩 선별하여 실험에 사용하였다.

이산화탄소로 마취시킨 거미의 복부마디를 분리시킨 후, 거미 생리식염용액 (spider Ringer's solution: 160 mM NaCl, 7.5 mM KCl, 4 mM CaCl₂, 1 mM MgCl₂, 4 mM NaHCO₃, 20 mM glucose, pH 7.4, Groome et al., 1991) 속에서 해부하여 방적돌기와 전자선을 적출하였다. 적출된 각각의 방적돌기에서 방적면을 잘라내어 슬라이드 글라스 위에 올려놓은 후 그 위에 커버글라스를 덮었다. 커버글라스의 위를 알맞은 압력으로 눌러서 조직이 빛이 투과할 정도로 얇아지도록 하여, 광학현미경으로 방적돌기에 분포한 토사관을 저배율부터 고배율까지 관찰하였다.

주사전자현미경 관찰을 위한 시료는 2.5% paraformaldehyde-glutaraldehyde (4°C, pH 7.4, phosphate buffer, Karnovsky, 1965)의 혼합용액에서 전고정 (pre-fixation)을 하였으며, 완충용액 (4°C, pH 7.4, phosphate buffer)으로 세척한 후, 1% OsO₄ (4°C, phosphate buffer) 용액으로 후고정 (postfixation)하였다. 고정이 끝난 조직은 에탄올 농도 상승순으로 탈수하고 HMDS (Hexamethyldisilazane) 용액으로 처리한 후, 실온에서 건조시켰으며, gold-palladium 합금으로 20 nm의 두께로 이온 코팅한 후, JEM-840A형 주사전자현미경 (JEOL Co., Japan)으로 15 kV에서 관찰하였다.

결 과

들몰거미의 방적기관은 3쌍의 표면 방적돌기 (spinnerets)와 복강 속의 전자선 (silk glands)으로 구성되어 있다. 방적돌기의 마지막 마디 부분에는 방적면이 존재하고, 여기에 토사관이 분포되어 있다. 암컷과 수컷 모두 세 쌍의 방적돌기를 가지고 있는데 (Figs. 1A, 2A), 그 위치에 따라 전방적돌기 (anterior spinnerets), 중방적돌기 (median spinnerets), 후방적돌기 (posterior spinnerets)로 구분되며, 각각의 방적돌기는 1~2개의 마디로 되어있고 끝부분에 형성된 방적면에는 다양한

토사관들이 형성되어 있다. 세 쌍의 방적돌기들 중 후 방적돌기 한 쌍은 몸의 길이방향을 따라 뒤쪽으로 길게 신장된 특징을 가지고 있었으며, 전 및 후 방적돌기의 경우 모두 2개의 마디로 이루어져 있는 반면, 중 방적돌기는 단일 마디로 이루어져 있음이 관찰되었다 (Figs. 1A, 2A).

주사전자현미경으로 방적돌기의 방적면에 형성된 토사관을 관찰한 결과, 3쌍의 방적돌기에서 병상선, 관상선, 이상선, 포도상선 등 모두 4가지 종류의 토사관들이 확인되었으며, 이 중에서 관상선의 토사관들은 암컷에서만 관찰되었다. 전방적돌기에는 암수 모두 2쌍의 병상선 토사관이 관찰되었고, 이상선의 토사관은 암수에 따라 그 개수에 변이가 확연히 존재하여, 암컷의 경우 125~150쌍이, 그리고 수컷의 경우에는 110~114쌍이 확인되었다 (Figs. 1B, 2B).

병상선의 토사관은 이상선에 비해 대형이며 특히 말단마디가 비후되어 있었다. 전방적돌기 방적면의 가장자리에 2개가 나란히 형성되어 있었고 이를 중심으로 이상선의 토사관들이 호를 그리며 형성되어 있었다. 이상선의 토사관은 기저마디가 원통형으로 상당히 돌출되어 있었고, 말단마디는 기저마디에 비해 약 2배 정도의 길이였다. 특히 일부의 이상선의 토사관들은 병상선의 토사관을 중심으로 토사방향이 집중되는 경향을 보였으나, 주변부의 토사관들은 토사방향이 고루 분산된 형태로 관찰되었다 (Figs. 1C, 2C).

중방적돌기의 방적면은 다른 방적돌기들에 비해 상대적으로 좁고 그 위치도 말단부에 한정되어 있었다. 암수 성체 모두에서 2쌍의 병상선 토사관이 형성되어 있었지만, 관상선의 토사관은 암컷에서만 관찰되었고 수컷에서는 전혀 존재하지 않았다. 중방적돌기에 형성된 포도상선의 토사관도 암컷(20~26쌍)이 수컷(15~17쌍)에 비해 그 수가 많은 편이었다 (Figs. 3A, C).

중방적돌기에 형성된 병상선의 토사관은 전방적돌기의 것에 비해 크기는 약간 작은 편이나 기저마디와 말단마디의 두 마디로 이루어져 있고, 말단마디가 비후되어 있는 등, 동일한 형태적 특성을 지니고 있었다. 포도상선의 토사관은 말단마디가 바늘과 같은 구조로 매우 뾰족하여, 그 길이가 기저마디의 약 4배에 달하는 것으로 관찰되었는데, 이상선의 토사관과는 달리 기저마디가 원추형을 이루고 있음이 확인되었다. 암컷

에서만 관찰된 관상선의 토사관도 이상선과 비슷한 구조이나 말단마디가 상대적으로 짧고 휘어져 있는 형태로 관찰되었다 (Figs. 3B, D).

들뜰거미의 길게 신장된 후방적돌기에는 포도상선의 토사관들이 일정한 간격으로 분포되어 있었는데, 포도상선 토사관의 수는 중방적돌기에서와 마찬가지로 암컷(41~53쌍)이 수컷(27~32쌍)에 비해 월등히 많은 편이었다. 암컷에서만 관찰되는 관상선의 토사관도 후방적돌기에서 확인되었으며, 이들은 주로 후방적돌기의 기저부에 집중되어 분포하고 있었다 (Fig. 3E). 포도상선의 토사관들은 방적돌기의 말단방향을 향하여 일정한 각도로 굴곡되어 거미의 보행방향을 따라 뒤쪽으로 토사가 가능한 구조를 형성하고 있음이 확인되었다 (Figs. 3F, G).

고 찰

거미의 방적돌기는 배발생 단계에서 10번째 및 11번째 체절로부터 생겨 나오는 변형된 형태의 부속지인 것으로 파악되고 있으며 (Foelix, 1996), *Orathognatha* 등과 같은 일부 원시형 거미류 (Glatz, 1973)를 제외한 거의 대부분의 거미들은 3쌍의 방적돌기를 가지는 것으로 알려지고 있다 (Foelix, 1996). 방적돌기는 잘 발달되어 있는 근육 체계와 연결되어 매우 유동성이 있는 구조를 형성하고 있다 (Yu & Coddington, 1990).

들뜰거미는 새싹거미아목 (suborder Arachnomorphae)의 가계거미과에 속하는 거미의 일종으로, 분류학적으로 가계거미과의 거미들은 배회성거미인 늑대거미과의 거미들과 매우 유사한 개체군인 것으로 알려지고 있다 (Coddington & Levi, 1991). 여러 가지 외부 형태적인 특징이나 방적돌기 및 토사관과 같은 실크 분비체계 등으로 비교한 결과에 의하면 (Coddington, 1986), 가계거미류의 실크 분비체계는 늑대거미 (Moon, 1998a)나 깡충거미와 같은 다른 배회성거미 (Kovoor, 1987)의 특징과 매우 유사한 것으로 보고되고 있다.

신우아목에 속하는 거미들은 견사선의 종류가 종에 따라서 매우 다양하지만, 거의 모든 종에서 존재하는 종류는 병상선, 이상선 그리고 포도상선의 3종류인 것

으로 알려져 있다(Kovoor, 1987; Moon & Kim, 1988c; Kovoor, 1990). 정주성거미에 대해 보고된 바에 의하면, 병상선은 왕거미속(genus *Araneus*)이나(Mullen, 1969; Tillinghast & Townley, 1986; Townley et al., 1993) 무당왕거미속(genus *Nephila*)을 포함한(Tillinghast & Christenson, 1984; Moon et al., 1988a, b) 대부분의 둥근 그물을 치는 거미류에서 2쌍이 존재하는 것으로 알려지고 있으나(Peters, 1987), 본 실험에서 관찰된 들뜰거미의 경우에는 전방적돌기와 중방적돌기에서 총 4쌍의 병상선이 확인되었다.

먹이를 잡기 위해 거미줄을 사용하지 않는 배회성 거미 입에도 불구하고(Nossek & Rovner, 1984), 깡충거미과(Kovoor, 1987)나 늑대거미과(Moon, 1998a)에서도 4쌍의 병상선이 존재하였다는 보고로 미루어, 정주성거미의 가계거미과와 배회성거미의 늑대거미과와 깡충거미과 등이 다른 거미들에 비해 상대적으로 긴밀한 진화적 유연 관계를 유지하고 있다는 또 하나의 증거인 것으로 사료된다.

이상선은 병상선과 함께 전방적돌기를 통해 개구된 소형의 견사선으로서, 점착력이 강한 실을 분비하여 실과 실을 연결시키거나, 실을 다른 물체에 부착시키는 기능을 가지고 있다. 이상선이란 용어는 중간이 잘룩한 표주박형으로 되어 있는 선분비부의 형태에서 따온 것이지만, 이러한 형태가 일반적인 것은 아니며, 왕거미과나 납거미과(Uroctidae), 그리고 수리거미과(Gnaphosidae) 등에서는 선의 일부가 신장된 형태를 하고 있음이 보고된 바 있다(Kovoor, 1987). 본 실험에 사용된 들뜰거미의 경우도 전체적으로 팽대된 관의 형태로 관찰되었다.

이상선의 토사관은 암수 모두 100개 이상으로 전방적돌기의 방적면 대부분에 분포되어 있었다. 주사전자현미경으로 관찰한 토사관의 미세구조는 기저마디가 원통형으로 돌출되어 있었고, 말단마디는 기저마디에 비해 약 2배 정도로 신장되어 있음이 관찰되었다. Peakall (1965, 1969)은 견사선의 분비관이나 토사관이 길게 신장되어 있는 이유에 대해 수송의 기능 외에도 액체상의 견사물질을 고체상의 섬유로 변형시키기 위한 분자구조의 재배열 기능이 있음을 시사한 바 있다.

거미의 포도상선은 현재까지 보고된 바에 의하면 사관류에 속하는 정선거미과(Zoropsidae)나 주홍거미

과(Eresidae)를 제외한 거의 모든 종류의 거미에서 그 존재가 확인되고 있으며, 포도상선이 전혀 없는 주홍거미과의 거미들은 수가 많고 크기가 다양한 병상선이 이들의 기능을 대신하는 것으로 추측되고 있다(Kovoor, 1987). 실제로 납거미과, 깡충거미과(Salticidae), 염낭거미과(Clubionidae)의 포도상선에서 분비되는 물질은 병상선의 것과 비슷한 조직화학적 특성을 지니고 있으며(Kovoor, 1987), 먹이를 거미줄로 싸서 저장해두거나, 정교한 알그물을 만드는 염낭거미과나 왕거미과에 속하는 종들은 보편적으로 많은 수의 포도상선을 가지고 있는데, 여기서 생성되는 분비물의 조직화학적 성질은 관상선의 것과 비슷한 것으로 알려져 있다(Kovoor, 1987).

들뜰거미의 포도상선은 중방적돌기와 후방적돌기에서 확인되었는데, 포도상선의 토사관은 말단마디가 매우 길어서 기저마디의 4배에 달하였고, 이상선의 토사관은 달리 기저마디가 원추형을 이루고 있음이 확인되었다. 특히 후방적돌기의 토사관은 매우 길어서 기저마디의 4배에 달하는 것으로 측정되었는데, 이러한 구조적 특성으로 미루어 후방적돌기에 형성된 긴 토사관에서 보다 강력한 실을 분비할 것으로 추측되며, 두 종류의 포도상선으로부터 생성되는 실의 용도도 서로 다를 것으로 사료되나, 좀더 자세한 행동학적 연구가 필요할 것으로 생각된다.

관상선도 다른 견사선과 마찬가지로 거미의 종류에 따라서 그 갯수나 형태에 변이가 많은 것으로 알려져 있다. 보통 왕거미과, 잎거미과, 게거미과, 수리거미과 등에서는 3쌍이 형성되어 있고, 가계거미과와 비탈거미과에서는 4쌍, 늑대거미과, 농발거미과, 너구리거미과, 납거미과, 정선거미과, 주홍거미과, 웅달거미과 등에서는 12쌍 이상이 존재하고 있는 반면, 알집을 만들지 않는 가죽거미과, 돼지거미과, 유령거미과, 깡충거미과, 공주거미과, 염낭거미과 등에서는 체내에 관상선이 전혀 없는 것으로 알려져 있다(Kovoor, 1987). 들뜰거미의 경우도 관상선의 토사관은 암컷 개체에서만 존재하였고, 수컷에서는 관찰되지 않는 점으로 미루어 여기서 분비되는 실크가 산란시 알주머니를 만들는데 사용된다는 생태적 관찰과 일치하는 점을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- Coddington J: The monophyletic origin of the orb web. In: Shear WA (ed), Spiders: webs, behavior, and evolution. Stanford Univ Press, pp. 319-363, 1986.
- Coddington JA, Levi HW: Systematics and evolution of spiders (Araneae). *Ann Rev Ecol Syst* 22 : 565-592, 1991.
- Groome JR, Townley MA, de Tschaschell M, Tillinghast EK: Detection and isolation of proctolin like immunoreactivity in arachnids: possible cardioregulatory role for proctoline in the orb weaving spiders *Argiope* and *Araneus*. *J Insect Physiol* 37: 9-19, 1991.
- Foelix RF: Biology of Spiders (2nd ed). Oxford Univ Press, London, pp. 52-67, 1996.
- Glatz L: Der Spinnapparat der Orthognatha (Arachnida: Araneae). *Z Morph There* 75 : 1-50, 1973.
- Karnovsky MJ: A formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolality for use in electron microscopy. *J Cell Biol* 27 : 137A, 1965.
- Knight DP, Vollrath F: Liquid crystals and flow elongation in a spider's silk production line. *Proc R Soc Lond Ser B* 266 : 519-523, 1999.
- Knight DP, Vollrath F: Changes in element composition along the spinning duct in a *Nephila* spider. *Naturwissenschaften* 88 : 179-182, 2001.
- Kovoor J: Comparative structure and histochemistry of silk producing organs in Arachnids. In: Nentwig W (ed.) *Ecobiology of spiders*, Springer Verlag, Berlin, pp. 159-186, 1987.
- Kovoor J: The silk gland system in some *Tetragnathinae* (Araneae: Araneidae): Comparative anatomy and histochemistry. *Acta Zool Fenn* 190: 215-221, 1990.
- Kovoor J, Peters HM: The spinning apparatus of *Polonecia producta* (Araneae: Uloboridae): structure and histochemistry. *Zoomorphology* 108 : 47-59, 1988.
- Kuechler C: The spinning apparatus of *Ryuthela nishikirai* (Araneae: Mesothelae). *Zool Beitr* 31 : 33-48, 1987.
- Moon MJ: Fine Structural analysis of the silk producing apparatus in wolf spider, *Pardosa astrigera* (Araneae: Lycosidae). *Kor J Entomol* 28 : 187-195, 1998a.
- Moon MJ: Fine structure of the silk producing apparatus in the garden spider, *Argiope bruennichi*. *Kor J Entomol* 28 : 345-354, 1998b.
- Moon MJ, Kim CS, Kim WK: Ultrastructure of the ampullate gland in the orb web spider, *Nephila clavata* L. Koch: Excretory duct of the large ampullate gland. *Kor J Elect Microsc* 18 : 77-90, 1988a.
- Moon MJ, Kim CS, Kim WK: Ultrastructure of the ampullate gland in the orb web spider, *Nephila clavata* L. Koch: Sac and tail portion of the large ampullate gland. *Kor J Elect Microsc* 18 : 91-101, 1988b.
- Moon MJ, Kim WK: Distribution of the Spinning Apparatus and the orb web spider in *Nephila clavata* L. Koch. *Kor Arachnol* 4 : 1-13, 1988c.
- Mullen GR: Morphology and histology of the silk glands in *Araneus sericatus*. *Trans Amer Microsc Soc* 88 : 232-240, 1969.
- Nigam S, Dave PV: Comparative morphological study of silk glands in selected spiders. *J Ecobiol* 6 : 191-195, 1994.
- Nossek ME, Rovner JS: Agnostic behavior in female wolf spiders (Araneae: Lycosidae). *J Arachnol* 11: 417-422, 1984.
- Park JK, Moon MJ: Fine structure of the spinning apparatus in the funnel web spider, *Agelena limbata*. *Kor J Entomol* 32 : 223-232, 2002.
- Peakall DB: Regulation of the synthesis of silk fibroins of spiders at the glandular level. *Comp Biochem Physiol* 15 : 509-515, 1965.
- Peakall DB: Synthesis of silk mechanism and location. *Am Zool* 9: 71-79, 1969.
- Peters HM: Fine structure and function of capture threads. In: Nentwig W (ed), *Ecobiology of Spiders*. Springer Verlag, Berlin, pp. 187-202, 1987.
- Tillinghast EK, Christenson T: Observations on the chemical composition of the web of *Nephila clavipes* (Araneae: Araneidae). *J Arachnol* 12 : 69-74, 1984.
- Tillinghast EK, Townley MA: The independent regulation of protein synthesis in the major ampullate glands of *Araneus cavaticus* Keyserling. *J Insect Physiol* 32 : 117-123, 1986.
- Townley MA, Tillinghast EK, Cherim NA: Moulting related changes in ampullate silk gland morphology and usage in the araneid spider *Araneus cavaticus*. *Biol Sci* 340 : 25-38, 1993.
- Yu L, Coddington JA: Ontogenetic changes in the spinning fields of *Nuctenea cornuta* and *Neoscona theisi* (Araneae: Araneidae). *J Arachnol* 18 : 331-345, 1990.

< 국문초록 >

돌팔거미 (*Agelena limbata*) 실크 분비장치의 방적돌기와 토사관의 미세구조를 고배율의 전자현미경으로 관찰하고, 그 형태적 특성을 분석하였다. 세 쌍의 방적돌기 중에서 전 및 후방적돌기는 각각 2개의 마디로 구성되어 있는 반면, 중방적돌기는 단일 마디로 이루어져 있었으며, 특히 후방적돌기는 후방으로 매우 신장되어 있음이 관찰되었다. 방적돌기 표면에 형성된 토사관은 병상선 (ampullate gland), 관상선 (tubuliform gland), 이상선 (pyriform

gland), 포도상선 (aciniform gland) 등, 4종류로 구성되어 있었다. 병상선의 토사관은 전방적돌기와 중방적돌기 표면에 각 2쌍씩이 형성되어 있었고, 암컷에서만 관찰되는 관상선의 토사관은 중방적돌기와 후방적돌기에서 관찰되었다. 또한 이상선의 토사관은 전방적돌기에서 그리고 포도상선의 토사관은 중 및 후방적돌기에서 확인되었다. 방적돌기 방적면에 형성된 토사관은 공통적으로 기저마디와 말단마디로 구성되어 있었는데, 포도상선의 토사관은 기저마디에 비해 말단마디가 매우 신장된 특징을 지니고 있음이 확인되었다.

FIGURE LEGENDS

- Fig. 1.** Scanning electron micrographs of the silk apparatus of the female funnel-web spider, *Agelena limbata*. A. Among the three pairs of spinnerets—anterior (As), middle (Ms), and posterior (Ps)—the posterior pairs of both sexes are highly elongated along the body axis characteristically. B,C. Anterior spinnerets comprise 2 pairs of the ampullates (Am) 125 to 150 pairs of pyriforms (Py). The spigots of the ampullates are located at the end plate of this spinneret. The spigots of pyriforms are quite different from those of ampullates in size. Scale bars = 0.5 mm (A), 100 μ m (B), 20 μ m (C).
- Fig. 2.** Scanning electron micrographs of the silk apparatus of the male funnel-web spider, *Agelena limbata*. A. The anterior (As) and posterior pairs of spinnerets (Ps) consist of two segments, while the middle (Ms) of only a single segment. B,C. Anterior spinnerets comprise 2 pairs of the ampullates (Am) and 110 to 114 pairs of pyriforms (Py). The spigots of the ampullates (arrows) and pyriforms are quite different in both of size and shape. These spinning tubes do not show any peculiar arrangement except they are concentrated at the central plate of the spinnerets. Scale bars = 0.5 mm (A), 100 μ m (B), 20 μ m (C).
- Fig. 3.** A, B. Scanning electron micrographs of the median spinneret of the female spider. Two pairs of ampullates (Am), tubuliforms (Tu), and 20 to 26 pairs of aciniforms (Ac) are connected on this spinneret. C,D. Scanning electron micrographs of the median spinneret of the male spider. Another 2 pairs of ampullates (Am), and 15 to 17 pairs of aciniforms (Ac) are connected on this spinneret. The spigots connected tubuliforms are observed only in females. E,F,G. The posterior spinnerets are highly elongated along the body axis of this spider. In female, there are only two kinds of spigots—tubuliforms and aciniforms—are connected through their typical spinning tubes, respectively. Male spiders do not have those kinds of tubuliforms. The spinning tubes of the aciniforms are more slendered than those of tubuliforms. Scale bar = 50 μ m (B, D), 100 μ m (A, C, G), and 200 μ m (E, F).





