环境昆虫学报 2022，44（1）：221－228
Journal of Environmental Entomology
http：//hjkcxb. alljournals. net
doi：10. 3969/j. issn. 1674－0858. 2022. 01. 25

杨乐乐，段琛媛，李晶，孟凡华，曹瑛，代先东，张爱兵，范崇旭. 褐边绿刺蛾幼虫刺毛结构及蛰伤机制初探[J]. 环境昆虫学报，2022，44（1）：221－228.

褐边绿刺蛾幼虫刺毛结构及蛰伤机制初探

杨乐乐[1]，段琛媛[2]，李　晶[2]，孟凡华[1]，曹　瑛[1]，代先东[1]，张爱兵[2*]，范崇旭[1*]

（1. 军事科学院防化研究院，北京 102205；2. 首都师范大学生命科学学院，北京 100048）

摘要： 刺蛾科幼虫是我国常见的农林业害虫之一，其体表长有防御性的有毒刺毛，会伤害接触者，使其产生瘙痒、刺痛、丘疹、红肿、皮炎等症状。本研究利用体视显微镜、扫描电镜对褐边绿刺蛾 *Parasa consocia* 末龄幼虫的刺毛形态结构进行了观察，将不同刺毛提取物进行小鼠足底皮下注射，测试刺激活性，并使用 SDS-PAGE 电泳对提取物成分进行了初步分析。结果表明，褐边绿刺蛾幼虫具有 4 种结构的刺毛，分别为体刺、棒状体刺、修饰刚毛和微球刺；体刺和修饰刚毛的提取物均能引起小鼠疼痛和红肿反应，修饰刚毛提取物还能引起流涕、分泌眼屎等过敏症状；SDS-PAGE 电泳显示提取物的主要成分为蛋白和多肽化合物。研究表明褐边绿刺蛾幼虫刺毛造成的伤害除机械伤害外，还存在沾染、刺入注射、刺入携带毒液 3 种化学毒害方式，机械伤害与化学伤害协同作用。

关键词： 褐边绿刺蛾；毛虫；修饰刚毛；体刺；生物毒素

中图分类号： Q968. 1；S433　　**文献标识码：** A　　**文章编号：** 1674－0858（2022）01－0221－08

Preliminary study on the hair structure and sting mechanism of the larva of *Parasa consocia*

YANG Le-Le[1], DUAN Chen-Yuan[2], LI Jing[2], MENG Fan-Hua[1], CAO Ying[1], DAI Xian-Dong[1], ZHANG Ai-Bing[2*], FAN Chong-Xu[1*] (1. Institute of Chemical Defense, Beijing 102205, China; 2. College of Life Sciences Capital Normal University, Beijing 100048, China)

Abstract: The larvae of Limacodidae are one of the common agriculture and forestry pests in China. They have evolved urticating hairs on their back to resist predator attacks. Contacting with them can cause symptoms such as itching, pain, pimples, redness, swelling and dermatitis. In this work, the structure of urticating hairs of mature larvae of *Parasa consocia* was observed using a stereo microscope and scanning electron microscope. Extracts of different hairs were injected subcutaneously into the hind paw of mice to test the irritative activity, and preliminary analysis of the extract components was carried out using SDS-PAGE electrophoresis. The results showed that the mature larvae grow four types of urticating hairs: Spines, rod-like spines, modified setae and microspheric setae; the extracts of both spines and modified setae caused redness and pain in mice, furthermore the extracts of modified setae also caused allergic symptoms such as runny nose and secretion of eye gunk. It was found that in addition to mechanical

基金项目： 国家自然科学基金（31772501，32170421）

第一作者： 杨乐乐，男，1998 年生，硕士研究生，研究方向为天然产物化学，E－mail：yll_980205@163. com

[*] **共同通讯作者** Author for correspondence：范崇旭，男，博士，研究员，研究方向生物有机化学，E－mail：chongxu_fan@hotmail. com；张爱兵，男，博士，教授，研究方向分子生态学，E－mail：zhangab2008@cnu. edu. cn

收稿日期 Received：2021－11－09；**接受日期** Accepted：2021－11－27

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

injury, there was a synergistic mode of chemical poisoning by the larvae in three ways: Contamination, injection and sting-carrying toxin, which provided a reference for the treatment of injury.

Key words: *Parasa consocia*; caterpillar; modified seta; spine; biotoxin

鳞翅目 Lepidoptera 为昆虫纲 Insecta 第二大目，我国鳞翅目昆虫物种资源丰富，鳞翅目幼虫（俗称：毛虫）不仅是重要的农林叶害虫，同时部分鳞翅目幼虫由于其体表分布含有毒素的体刺或刚毛而对人类健康造成影响（李朝品等，1999; Seldeslachts *et al.*，2020）。近年来，伴随我国农业产业结构的调整，经济林木和城市绿化林木种植面积不断扩大，造成以该类植物为重要寄主植物的鳞翅目幼虫与人类的接触机会增加，人类皮肤接触毛虫刺毛而造成的皮炎等问题频发，其中以刺蛾科 Limacodidae 幼虫造成的过敏性皮炎最为常见（韩方岸等，2005）。刺蛾科昆虫是重要的植食性害虫，在全球范围内广泛分布，共有 301 属，1 600 余种，在我国分布的有 200 余种（武春生，2010; van Nieukerken *et al.*，2011; 焦萌等，2019）。由于刺蛾科幼虫生长周期较长（一般为 6 ~ 8 龄），易受到鸟类等捕食者的攻击。因此其演化出伪装、警戒色、有毒刺毛等多种防御策略（Greeney *et al.*，2012）。其中有毒刺毛既是刺蛾科幼虫有力的防御武器，也可作为重要的形态分类依据。

褐边绿刺蛾 *Parasa consocia* Walker 是我国华北及华中地区最为常见的刺蛾科昆虫。其幼虫颜色鲜艳，一般呈蛞蝓型，有许多枝刺和毒毛，因此也被称为杨刺子（王凤等，2006）。寄主植物以蔷薇科果树、农作物叶子为主，是华北地区重要的经济林业害虫之一。当人接触到幼虫枝刺和毒毛时会造成蛰伤，症状包括瘙痒、刺痛、丘疹、红肿、皮炎等。虽然大多数刺蛾科幼虫体表具有枝刺和毒毛，但不同物种在刺毛结构、着生部位以及毒素成分等方面存在一定差异（Hossler，2009）。目前对于鳞翅目幼虫体表形态特征的研究较少，因此本研究以褐边绿刺蛾幼虫为研究对象，对其体表的枝刺和毒毛形态结构进行分析，明确其毒素储存部位。同时，对其毒素化学成分进行了研究，并对蛰伤机制进行初步探讨。这一研究对于今后探究鳞翅目幼虫的防御机制和人类社会公共健康提供了理论依据。

1 材料与方法

1.1 幼虫采集

利用震布法在河北省沧州市南大港湿地自然保护区（38.35°N，117.15°E）采集褐边绿刺蛾幼虫约 600 头，放置于冻存管中带回实验室进行保存。

1.2 利用扫描电镜进行体表毒毛形态分析

挑选末龄幼虫在体视显微镜下观察其体表枝刺和毒毛形态，将体表刺毛按照表型进行初步分类。用解剖剪将幼虫背部第三簇（由头部向尾部方向）簇状枝刺、侧部带有橘色末端刺团状枝刺以及尾部带有黑色修饰刚毛的刺团取下后，置于 2.5% 戊二醛固定液中常温固定 4 h。之后用 0.1 mol/L PBS 缓冲液漂洗 3 次（15 min/次），随后用 1% 锇酸 - 0.1 mol/L PBS 固定液再次进行固定（30 min），然后用 0.1 mol/L PBS 缓冲液进行漂洗。接着依次用 50%、70%、80%、90%、95%、100%、100% 的酒精脱水，每次 15 min。再加入乙酸异戊酯置换 10 ~ 20 min，随后进行临界点干燥。最后将处理后样品组织用导电胶粘贴在标本台上（观察面朝上），喷金后利用扫描电镜（HITACHI U8010）进行观察拍照。

1.3 刺毛组织切片

为进一步研究褐边绿刺蛾幼虫体表体刺的结构，利用组织切片技术对其结构进行研究。用解剖剪分别取下幼虫背部整簇体刺和尾部整个刚毛团，用 75% 酒精进行清洗后投入到 4% 多聚甲醛中固定 24 ~ 48 h，即可进行石蜡包埋操作。然后进行石蜡切片，并将切片利用苏木精-伊红染色（HE 染色）法进行染色。制作完成后的切片使用全景扫描仪（3D HISTECH Pannoramic MIDI）进行拍照观察。

1.4 幼虫修饰刚毛和体刺粗毒素提取

为了研究褐边绿刺蛾修饰刚毛和体刺中毒液的成分，进行了粗毒素的提取。选取 200 头幼虫进行研究，将其体表体刺和修饰刚毛取下后分别放入液氮中冷冻 5 min 后，转移至研钵中进行研磨。研磨后所得粉末转移至离心管中，加入 20 mL 浓

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

度为 0.1% 乙酸水溶液进行超声震荡 20 min，产物利用冷冻离心机在 4℃ 下 10 000 g 离心10 min，收集上清液；残渣重复上述操作 2 次，合并上清液并进行冷冻干燥后得到体刺和修饰刚毛的粗毒素提取物。

1.5　小鼠致痛活性实验

本研究采用小鼠舔爪实验模型进行致痛活性评价实验（Yao *et al.*，2019），实验小鼠选用 23 ~ 25 g 雄性 C57BL/6J 品系小鼠。将修饰刚毛和体刺粗毒素提取物分别配制成浓度 0.1 mg/mL 的溶液，采用生理盐水作为空白对照组，500 mM 辣椒素溶液作为阳性对照组。将所得的粗毒素提取物稀释液和对照样品分别取 10 μL 从足底皮下各注射 3 只实验小鼠右后爪，观察并记录小鼠反应。

1.6　毒液化学成分分析

采用聚丙烯酰胺凝胶电泳（SDS-polyacrylamide gel electrophoresis，SDS-PAGE）技术进行毒液化学成分分析（Sambrook *et al.*，1989）。使用上样缓冲液分别将修饰刚毛提取物和体刺提取物配制成不同浓度溶液（8 mg/mL、5 mg/mL、2 mg/mL），于沸水中加热 3 min 后进行 10 000 g 离心，取 8 μL 上清液进行 SDS-PAGE 检测（分离胶浓度 15%），电泳结束后使用考马斯亮蓝快速染液对凝胶进行染色并拍照。

2　结果与分析

2.1　刺毛结构与形态

褐边绿刺蛾末龄幼虫体长约 20 ~ 25 mm，体表布有 40 簇绿色丛状体刺（图 1-a），其中背部两列各 10 簇；双侧各一列 10 簇。背部两列靠近头部的第 3 簇和靠近尾部的第 2 簇体型稍大，其余相差不大。每簇刺丛有 20 ~ 35 根体刺（图 1-b）。体刺长约 2 mm，直径 100 ~ 150 μm，刺尖呈棕黑色，刺身呈绿色，刺尖与刺身之间具有明显边界（图 1-b）。背部两列体刺从头部第 3 簇至尾部第 10 簇，在外皮凸起的最顶部长有至少 1 枝没有明显尖端的棒状体刺（图 1-c），其远体端呈棕黑色，有圆形开口，偶见液体分泌物排出。体侧两列体刺从头部第 3 簇至尾部第 10 簇，在外皮凸起的顶部长有 1 枚

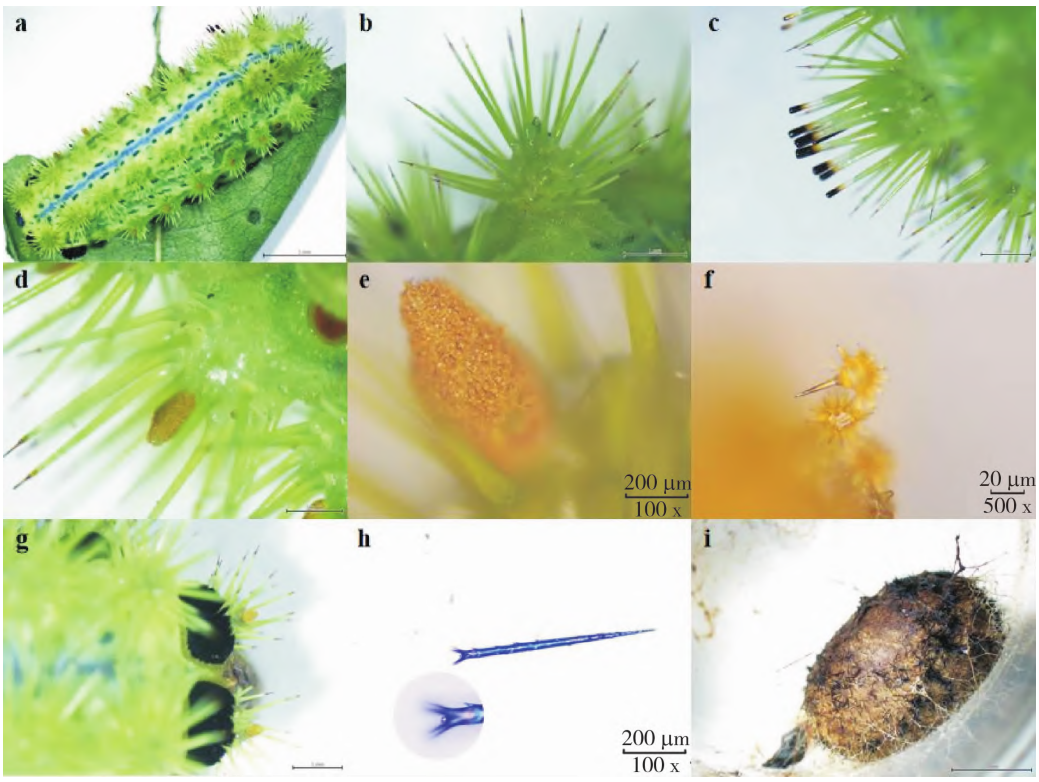


图 1　褐边绿刺蛾幼虫及刺毛

Fig. 1　Larva and urticating hairs of *Parasa consocia*

注：a，褐边绿刺蛾幼虫；b，体刺；c，棒状刺；d 和 e，橘黄色刺团；f，微球刺；g，黑色刚毛团；h，修饰刚毛及其底部；i，茧。Note: a, Larva; b, Spines; c, Rod-like spines; d and e, Orange hairs; f, Microspheric setae; g, Black modified setae; h, Modified seta and base of modified seta; i, Cocoon.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

橘黄色橄榄状的刺团（图 1-d，e），刺团长径约 750 μm，短径约 380 μm，刺团表面附着一层橘黄色微球刺（图 1-f），微球刺直径约 20 μm，表面长满小刺，刺长 15 ~ 20 μm，每个微球刺有 1 根主刺，刺长约 25 μm。微球刺触碰易脱落，脱落后暴露出内部的外皮凸起。据估算每个刺团表面覆有约 300 个微球刺，每头幼虫共有 16 个刺团，估算约为 4 800 个微球刺（图 1-f）。此外，幼虫尾部长有 4 团黑色刚毛（图 1-g），这种刚毛属于修饰刚毛，长约 700 μm，直径约 30 μm，刚毛通体长有倒刺，底部有 3 ~ 5 个似支架的倒刺（图 1-h），底部中心有一个小凸起与外皮相连，黑色刚毛触碰易脱落。根据组织切片估计刚毛的密度约为 300 根/mm^2，每团黑色刚毛半径约 1 mm，因此每头幼虫长有 3 500 ~ 4 000 根黑色刚毛。在结茧时，修饰刚毛会被留在茧表面（图 1-i）。

扫描电镜结果显示，褐边绿刺蛾体表体刺由刺身和刺尖两部分组成（图 2-a，b，c），刺身和刺尖连接处呈环状。开口的棒状体刺顶端平齐，上小下大，上部开口有填充物（图 2-d）。微球刺表面均匀分布约 60 根刺，刺长 15 ~ 20 μm 不等，除此之外，微球刺长有一根主刺，主刺与球状刺身连接处呈环状。微球刺脱落后的虫体部位存在明显凸起（图 2-e，f），该凸起应该与微球刺某个部位连接。尾部的修饰刚毛表面可见明显倒刺，并未发现表面存在开口。修饰刚毛（图 2-g）是由底部中心的凸起与虫体相连，当修饰刚毛脱落后，虫体与其连接处出现明显的小洞（图 2-h，i）。

组织切片结果表明，体刺、微球刺和修饰刚毛均为中空结构（图 3-a，c，d），且均有内容物填充，其中体刺刺壁较厚（图 3-a，b），约 7 ~ 9 μm。修饰刚毛经 HE 染色结果表明刺壁可分为内外两部分（图 3-d），其中外壁染色为黑色，内壁为黄褐色。

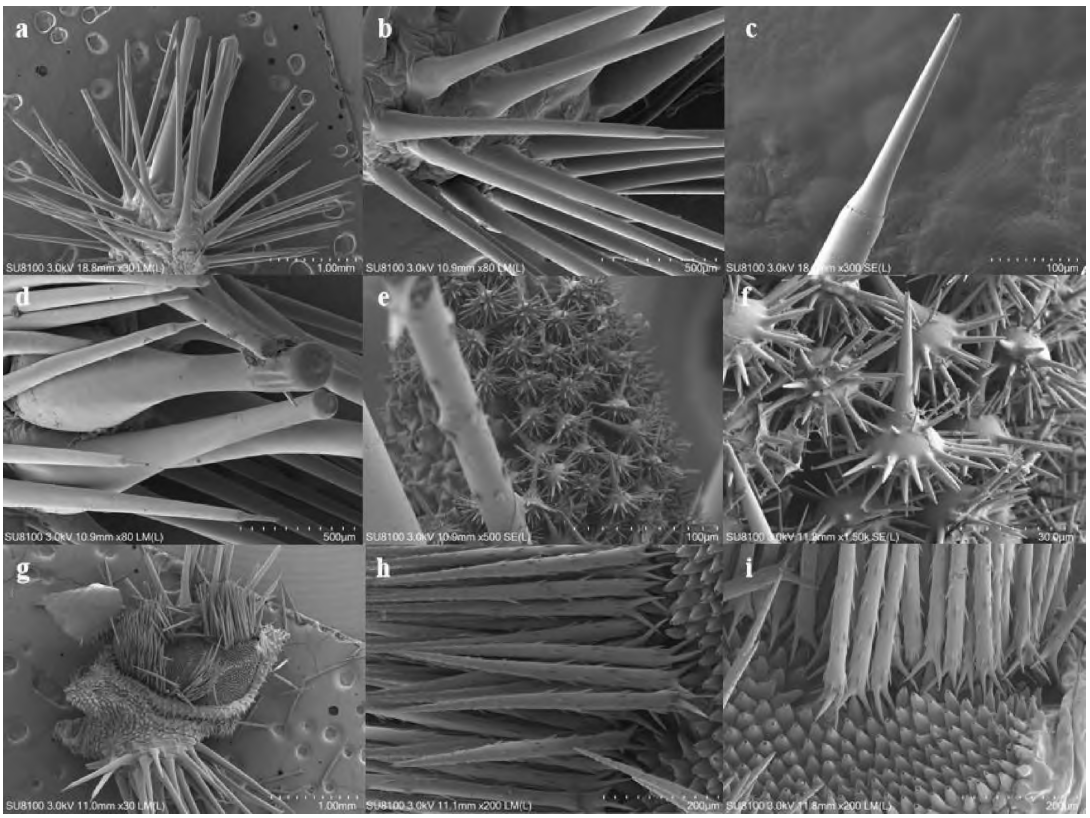


图 2 褐边绿刺蛾幼虫刺毛电镜照片

Fig. 2 Photos of urticating hairs of *Parasa consocia* larva by scanning electron microscope

注：a，体刺及棒状刺；b，体刺；c，体刺的尖端；d，棒状刺；e 和 f，微球刺；g，黑色刚毛团；h，修饰刚毛；i，修饰刚毛的近体端与虫体连接处。 Note: a, Spines and rod-like spines; b, Spines; c, Spine tip; d, Rod-like spines; e and f, Microspheric setae; g, Black setae; h, Modified setae; i, Joint of the proximal end of modified setae and integument.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

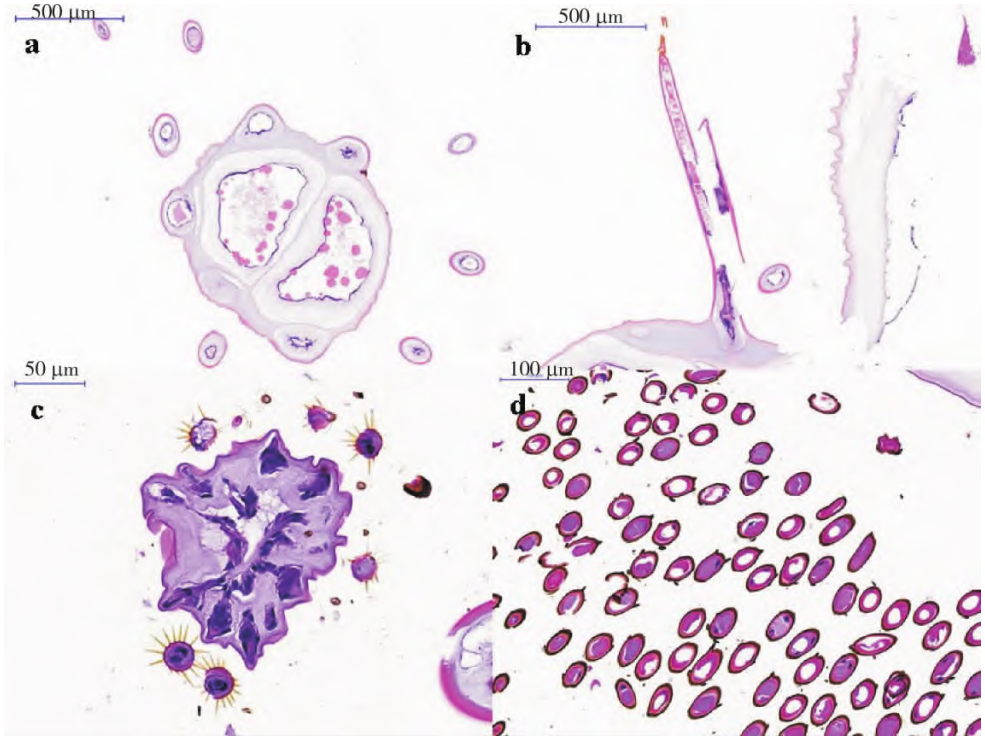


图 3　褐边绿刺蛾幼虫刺毛切片图片

Fig. 3　Section of urticating hairs stained with hematoxylin-eosin of *Parasa consocia* larva

注： a，体刺横切图；b，体刺纵切图；c，微球刺；d，修饰刚毛横切图。Note: a, Cross section of spines; b, Longitudinal section of spines; c, Microspheric setae; d, Cross section of modified setae.

2.2　毒素的提取

将 200 头褐边绿刺蛾幼虫体表的修饰刚毛与体刺中的粗毒素用 0.1% 醋酸水溶液进行提取，冷冻干燥后共得到体刺提取物约 79 mg 和修饰刚毛提取物约 39 mg。

2.3　致痛活性评价

为了验证体刺与修饰刚毛提取物是否具有致痛活性，在 C57BL/6J 品系小鼠的右后足底部注射 10 μL 体刺或修饰刚毛提取物溶液，每组进行 3 次平行实验，观察并记录小鼠反应情况。当浓度为 0.1 mg/mL 时，体刺及修饰刚毛提取物溶液使小鼠表现出相似的症状，受试小鼠均很快出现舔爪行为，在 1 h 的观察时间内该症状未消失。当浓度为 1 mg/mL 时，体刺及修饰刚毛提取物溶液使小鼠表现出不同的症状。体刺提取物溶液仅使受试小鼠出现舔爪行为，频率较上一实验组明显提高。修饰刚毛提取物溶液使受试小鼠在前 20 min 症状与体刺提取物类似，约 20 min 小鼠开始出现频繁的扭体现象，运动活力下降，舔爪频率降低。30 min 左右小鼠口鼻开始出现分泌物，并逐渐增多。40 min 小鼠眼部出现白色分泌物，并很快覆盖眼球。在 1 h 观察时间结束时，上述症状均未缓解。次日，小鼠基本恢复正常。

2.4　毒素成分研究

为进一步探究两种提取物中活性成分的组成，对不同浓度的体刺和修饰刚毛提取物进行 SDS-PAGE 电泳分析（图 4）。结果表明两种提取物均含有蛋白质和多肽，体刺提取物中蛋白分子量分布更广，且总数量多于修饰刚毛提取物。修饰刚毛提取物中蛋白分子量主要分布在 25 kDa 以下，但在 20 kDa、14 kDa 附近，以及 6.5 kDa 以下条带明显与体刺提取物有区别。

3　结论与讨论

目前对于鳞翅目成虫的研究较多，对幼虫的研究主要集中在种类描述阶段，对于其生物学特征的研究较少（James，2017）。国内关于毛虫的出版物，最全面的就是由朱弘复等编著、科学出版社出版的《蛾类幼虫图册》（一），共计述了 210 种毛虫，隶属 15 科（朱弘复等，1979）。国外对于鳞翅目幼虫的研究相对较早，英国学者 Hinton 对鳞翅目幼虫刚毛的同源性进行了研究（Hinton，1946），日本的一色周知等和白水隆等编著了日本

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

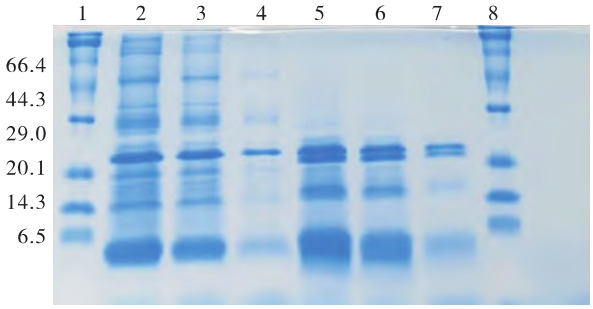


图 4 褐边绿刺蛾幼虫体刺和修饰刚毛提取物 SDS-PAGE 电泳图

Fig. 4 Spines and modified setae extract of *Parasa consocia* larva monitored by SDS-PAGE

注：第 1 和第 8 泳道，混合蛋白标准液；第 2 ~ 4 泳道，体刺提取物溶液（浓度分别为 8，5，2 mg/mL）；第 5 ~ 7 泳道，修饰刚毛提取物溶液（浓度分别为 8，5，2 mg/mL）。 Note: Lane 1 and lane 8, Premixed protein marker; lane 2 ~ 4, Spines extract solution (concentration: 8, 5 and 2 mg/mL); lane 5 ~ 7, Modified setae extract solution (concentration: 8, 5 and 2 mg/mL).

鳞翅目幼虫图鉴（一色周知等，1977；白水隆和原章，1979）。

对于鳞翅目幼虫有毒刺毛的研究，Gilmer 将具有刺激性的刺毛分为毛（hair）和体刺（spine）两类，进而又将每类分为两个亚型（Gilmer，1925）。Maschwitz 等将所有的刺毛分为 4 类（Maschwitz and Kloft，1971），分别为：普通毛、远端结构特殊的刺激性毛、以尖端为基部的刺激性毛以及有毒体刺。Kawamoto 等对鳞翅目幼虫体表刺毛的结构开展了研究，并对刺激性刺毛进行了初步分类（Kawamoto and Kumada，1984），将刺激性毛分成了两大类 11 型，其中一类为针毛（spicule）7 型、另一类为体刺（spine）4 型。Battisti 等在总结前人分类的基础上，将刺激性刺毛大致分为三类（Battisti *et al.*，2011），分别为真刚毛（true seta）、修饰刚毛（modified seta）和体刺（spine）。真刚毛长度大约在 100 ~ 500 μm 左右，直径 3 ~ 7 μm，表面长有倒刺，尖端插在幼虫体表的凹槽内，极易从虫体脱落，一般在虫体密度可到达 10 000 ~ 12 000 根/mm^2。修饰刚毛长度一般比真刚毛长（<1 mm），表面长有倒刺，尖端朝外，粗的底部与虫体相连，受到刺激后易脱落，与真刚毛相比，其密度要小得多。体刺包含多种特殊的细胞，具有分泌功能。从外形来看体刺由两部分组成，分别是刺尖和刺身。刺身坚硬不易破裂，刺尖尖锐易破裂。体刺内部具有中空结构，充满分泌物。刺入皮肤后刺尖破裂，刺身中的内容物（毒液）会流出，造成不良反应。本文在研究中采用了该分类方法。

褐边绿刺蛾幼虫体表 4 种不同形态的刺毛中 2 种为体刺，图 1-b 是普通体刺，与其它种类毛虫的体刺结构类似，只是尺寸上的差异；而顶端开口的棒状体刺（图 1-d）则不多见。Kawamoto 曾研究过褐边绿刺蛾幼虫的刺毛，但没有提到这种结构的体刺，只描述了普通体刺，而且强调体刺没有开口（Kawamoto，1978）。Maschwitz 在刺毛分类中提到过 *Megalopyge operculari* 和 *Automeris io* 幼虫长有类似的体刺，毒液可以从棒状体刺顶端的开口处排出（Maschwitz and Kloft，1971）。褐边绿刺蛾的刚毛为典型的修饰刚毛，通体长有倒刺，尖部在远体端，易脱落。另一种是微球刺（microspheric setae），这是笔者给出的命名。Kawamoto 等在分类中提到类似的刺毛，称作星形毛（star-like hair），将其分类为针毛 5 型，既没有说明大小尺寸，也没有给出种属来源，无法判断是否与本文观察到的微球刺为相同的刺毛（Kawamoto and Kumada，1984）。他在研究褐边绿刺蛾时也没有指出这种刺毛（Kawamoto，1978）。Maschwitz 在综述中描述刺蛾科幼虫长有这种刺毛（Maschwitz and Kloft，1971），由于和体刺长在一起，所以没有单独分类，而是放在有毒体刺中一起描述。笔者认为这种微球刺应该属于刚毛的一种，至于它属于真刚毛还是修饰刚毛需要进一步确定。

像褐边绿刺蛾幼虫长有 4 种结构刺毛的情况还未见文献报道。刺蛾科幼虫通常长有 1 ~ 2 种不同结构的刺毛。比如黄刺蛾 *Cnidocampa flavescens*、扁刺蛾 *Thosea sinensis* 幼虫只有 1 种体刺；多数绿刺蛾属幼虫长有 1 种体刺和 1 种刚毛。褐边绿刺蛾幼虫的 4 种刺毛在大小尺寸和数量上存在很大差异。体刺长度约 2 mm，基部直径 150 μm，总数约 1 200 根，其中开口的棒状体刺更粗壮，只有 20 余根；修饰刚毛长度约 700 μm，直径约 30 μm，总数约 4 000 根；而微球刺直径约为 20 μm，总数约 4 800 个。推测不同的刺毛可以产生协同的作用。普通体刺通过刺入皮肤释放毒液，开口的棒状体刺只要轻微的接触就能沾染毒液；修饰刚毛长有倒刺，内部含有毒液，刺入皮肤产生机械伤害的

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

同时还能产生化学伤害。修饰刚毛在脱落离开虫体后很长一段时间仍具有伤害能力，这可以解释为什么幼虫在死后仍具有蛰伤能力。而且，在脱落的修饰刚毛能到达的地方都存在蛰伤的可能。幼虫结茧时，修饰刚毛会被转移到茧的表面起到保护作用（图 1-i）；而微球刺特别容易脱落，对于捕食者的眼睛等敏感部位能够产生伤害。至于尺寸上的巨大差异，可能是用来抵御不同体型的捕食者。总之，褐边绿刺蛾幼虫 4 种结构的刺毛，能产生沾染、刺入注射、携带刺入三种毒液的施用模式，形成协同的伤害模式。

两种刺毛毒素成分的初步研究表明，褐边绿刺蛾幼虫的体刺和修饰刚毛都含有毒素，能引起小鼠舔爪、过敏等症状。初步的成分分析显示产生致痛作用的主要化学成分是蛋白质和多肽，这与最近关于鳞翅目幼虫有毒刺毛成分研究的结果是一致的（Mitpuangchon *et al.*，2021；Walker *et al.*，2021）。两种刺毛的化学成分和生物活性存在一定的差异，可能是因为两种刺毛的使用方式不同，需要有不同毒素进行协同作用；也可能是因为体刺中存在上皮细胞或血淋巴，其毒液成分中可能含有一些虫体正常代谢产生的蛋白质等成分（Spadacci-Morena *et al.*，2016），这需要进一步的实验证据。

对于刺蛾科幼虫刺毛防御策略的了解，有助于我们应对和处理其造成的伤害。目前，对于刺蛾科幼虫蜇伤事件通常采用的处理方法较为简单，一般是将偏碱性的液体抹于患处，以缓解患处疼痛。这对于由修饰刚毛引起的机械性疼痛并无作用，并且反复接触患处可能会加重修饰刚毛带来的不良反应。对于褐边绿刺蛾幼虫蛰伤，首先使用胶带将患处残留的体刺尖端及刚毛粘下，再进行对症治疗。

本研究初步探讨了褐边绿刺蛾幼虫的刺毛结构和蜇伤机制，对毒液中的具体活性成分还有待进一步研究，进而从分子水平阐述毒液的伤害机制。

参考文献（References）

Battisti A，Holm G，Fagrell B，*et al.* Urticating hairs in arthropods：Their nature and medical significance [J]. *Annual Review of Entomology*，2011，56：203 – 220.

Gilmer PM. A comparative study of the poison apparatus of certain lepidopterous larvae [J]. *Annals of the Entomological Society of America*，1925，18（2）：203 – 239.

Greeney HF，Dyer LA，Smilanich AM. Feeding by lepidopteran larvae is dangerous：A review of caterpillars´ chemical，physiological，morphological，and behavioral defenses against natural enemies [J]. *Invertebrate Survival Journal*，2012，9（1）：7 – 34.

Han FA，Hu Y，Lu RZ. Study on dermatitis of pathogenicity lepidoptera euileidae caterpillar and its clinic experiment [J]. *Chinese Journal of Public Health*，2005，2：39 – 40. [韩方岸，胡云，陆荣柱. 致病性鳞翅目刺蛾幼虫致皮炎及防制研究 [J]. 中国公共卫生，2005，2：39 – 40]

Hinton HE. Concealed phases in the metamorphosis of insects [J]. *Nature*，1946，157：552 – 553.

Hossler EW. Caterpillars and moths [J]. *Dermatol Therapy*，2009，22（4）：353 – 366.

James DG. The Book of Caterpillars：A Life – size Guide to Six Hundred Species from Around the World [M]. Chicago：The University of Chicago Press，2017：34 – 639.

Jiao M，Li J，Zhao HF，*et al.* Species diversity and global distribution of Limacodidae（Lepidoptera）using online databases [J]. *Biodiversity Science*，2019，27（7）：778 – 786. [焦萌，李晶，赵慧峰，等. 基于在线数据库的鳞翅目刺蛾科昆虫物种多样性及其全球分布格局 [J]. 生物多样性，2019，27（7）：778 – 786]

Kawamoto F. Studies on the venomous spicules and spines of moth caterpillars. III. Scanning electron microscopic examination of spines and moth caterpillar，*Parasa consocia*，and some properties of pain producing substances in their venoms [J]. *The Japanese Journal of Sanitary Zoology*，1978，29（2）：185 – 196.

Kawamoto F，Kumada N. Biology and venoms of Lepidoptera. In：Tu AT，ed. Handbook of Natural Toxins. Volume 2 Insect Poisons，Allergens and Other Invertebrate Venoms [C]. New York：Marcel Dekker，INC.，1984：291 – 332.

Li CP，Liu QH，Qin ZH. Experimental observation on the pathogenicity of toxigenic spine of eucleid caterpillar [J]. *Chinese Journal of Vector Biology and Control*，1999，3：56 – 59. [李朝品，刘群红，秦志辉. 刺蛾幼虫毒刺毛毒力的实验观察 [J]. 中国媒介生物学及控制杂志，1999，3：56 – 59]

Maschwitz U，Kloft W. Chapter 44 – morphology and function of the venom apparatus of insects – bees，wasps，ants，and caterpillars. In：Bucherl W，Buckley EE，eds. Venomous Animals and Their Venoms [C]. Pittsburgh：Academic Press，1971：38 – 56.

Mitpuangchon N，Nualcharoen K，Boonrotpong S，*et al.* Identification of novel toxin genes from the stinging nettle caterpillar *Parasa lepida*（Cramer，1799）：Insights into the evolution of lepidoptera toxins [J]. *Insects*，2021，12（5）：396.

Sambrook J，Fritsch EF，Maniatis T. Molecular Cloning：A Laboratory Manual [M]. New York：Cold Spring Harbor Laboratory Press，1989：880 – 887.

Seldeslachts A，Peigneur S，Tytgat J. Caterpillar venom：A health hazard of the 21st century [J]. *Biomedicines*，2020，8（6）：143.

Spadacci – Morena DD，Soares MA，Moraes RH，*et al.* The urticating apparatus in the caterpillar of *Lonomia obliqua*（Lepidoptera：Saturniidae）[J]. *Toxicon*，2016，119：218 – 224.

Syuti I. Early Stages of Japanese Moths in Colour [M]. Osaka：

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Hoikusha Publishing CO., LTD., 1977. [一色周知. 原色日本蛾类幼虫图鉴 [M]. 大阪: 日本保育社, 1977]

Takashi S, Akira H. Early Stages of Japanese Butterflies in Colour [M]. Osaka: Hoikusha Publishing Co., LTD., 1979. [白水隆, 原章. 原色日本蝶类图鉴 [M]. 大阪: 日本保育社, 1979]

van Nieukerken EJ, Kaila L, Kitching IJ, *et al*. Order Lepidoptera Linnaeus, 1758. In: Zhang ZQ, ed. Animal biodiversity: An outline of higher - level classification and survey of taxonomic richness [C]. *Zootaxa*, 2011, 3148: 212 - 221.

Walker AA, Robinson SD, Paluzzi JV, *et al*. Production, composition, and mode of action of the painful defensive venom produced by a limacodid caterpillar, *Doratifera vulnerans* [J]. *PNAS*, 2021, 118 (18): e2023815118.

Wang F, Ju RT, Du YZ, *et al*. Comparison of the bionomics of five species of Limacodidae in city virescence [J]. *Forest Pest and Disease*, 2006, 5: 11 - 15. [王凤, 鞠瑞亭, 杜予州, 等. 绿化植物五种刺蛾生物学特性比较 [J]. 中国森林病虫, 2006, 5: 11 - 15]

Wu CS. Analysis on the host plant diversity of slug caterpillar moths in China [J]. *Forest Pest and Disease*, 2010, 29 (2): 1 - 4. [武春生. 中国刺蛾科幼虫的寄主植物多样性分析 [J]. 中国森林病虫, 2010, 29 (2): 1 - 4]

Yao ZH, Kamau PM, Han YL, *et al*. The *Latoia consocia* caterpillar induces pain by targeting nociceptive ion channel TRPV1 [J]. *Toxin*, 2019, 11: 695.

Zhu HF, Wang LY, Fang CL. Catalogue of Moth Larva (Ⅰ) [M]. Beijing: Science Press, 1979: 13 - 76. [朱弘复, 王林瑶, 方承莱. 蛾类幼虫图册 (一) [M]. 北京: 科学出版社, 1979: 13 - 76]

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net