



## •研究报告•

# 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

焦 萌<sup>1#</sup> 李 晶<sup>1#\*</sup> 赵慧峰<sup>1</sup> 武春生<sup>2</sup> 张爱兵<sup>1\*</sup>

1 (首都师范大学生命科学学院, 北京 100048)

2 (中国科学院动物研究所动物进化与系统学重点实验室, 北京 100101)

**摘要:** 鳞翅目刺蛾科昆虫在全球范围内广泛分布, 是重要经济林、行道林的主要害虫。本研究通过对在线数据库中刺蛾科昆虫分布数据进行整理分析, 阐明其在全球范围内的物种多样性及分布格局, 并初步探讨造成其物种分布不均的原因, 从而为物种多样性保护及害虫防治提供科学依据。通过检索生物条形码数据库(Barcode of Life Data System V4, BOLD V4)和全球生物多样性信息数据库(Global Biodiversity Information Facility, GBIF)中记录的标本信息, 并结合部分地区鳞翅目昆虫名录及野外采集样本数据, 对刺蛾科昆虫的分布信息进行汇总分析并绘制分布图。统计得到具有明确地理坐标的刺蛾科昆虫分布信息61,947条, 共187属637种。结果表明, 在世界动物地理区系尺度上, 东洋区刺蛾科昆虫物种多样性最高, 共72属, 古北区31属, 澳新区及新热带区均为27属, 非洲热带区22属, 新北区19属。在国家尺度上, 中国存在刺蛾科昆虫123种, 越南116种, 其次为哥斯达黎加(75种)和澳大利亚(69种)。中低纬度地区具有较高的刺蛾科昆虫物种多样性和丰富度, 这有可能与该地区的气候历史条件及丰富的寄主植物资源有关。

**关键词:** 刺蛾科; 物种多样性; 动物地理区系; 全球分布

## Species diversity and global distribution of Limacodidae (Lepidoptera) using online databases

Meng Jiao<sup>1#</sup>, Jing Li<sup>1#\*</sup>, Huifeng Zhao<sup>1</sup>, Chunsheng Wu<sup>2</sup>, Aibing Zhang<sup>1\*</sup>

1 College of Life Sciences, Capital Normal University, Beijing 100048

2 Key Laboratory of Zoological Systematics and Evolution, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101

**Abstract:** Limacodidae (Lepidoptera) is a globally distributed insect and is classified as a pest destroying economic and roadway trees. The purpose of this study was to evaluate the species diversity and global distribution of Limacodidae and to explore the reasons for uneven distribution patterns, which could provide a scientific basis for biodiversity conservation and pest control. Detailed information was downloaded and analyzed from the Barcode of Life Data System V4 (BOLD V4) and the Global Biodiversity Information Facility (GBIF), as well as other local databases of Lepidoptera and related research. A total of 61,947 global distributional records of Limacodidae with explicit coordinates were gathered, including 187 genera and 637 species. At the biogeographic realm scale, 72 genera were recorded in Indomalayan realm, 31 in the Palearctic realm, 27 in the Australasian realm, 27 in the Neotropical realm, 22 in the Afrotropical realm, and 19 in the Nearctic realm. At the national scale, China has the highest species richness (123 species), followed by Vietnam (116 species), Costa Rica (75 species), and then Australia (69 species). The higher species diversity and richness of the Limacodidae in mid-low latitudinal regions may be related to stable climatic history and a vast number of host plants in these regions.

**Key words:** Limacodidae; species diversity; zoogeographic realms; global distribution

收稿日期: 2019-04-16; 接受日期: 2019-06-11

基金项目: 国家杰出青年基金(31425023)、国家自然科学基金(31772501)和北京市自然科学基金(5172005)

# 共同第一作者 Co-first authors

\* 共同通讯作者 Co-authors for correspondence. E-mail: lij@cnu.edu.cn; zhangab2008@cnu.edu.cn

刺蛾科隶属于鳞翅目双孔亚目斑蛾总科, 全世界已记载301属1,672种(van Nieukerken et al, 2011)。刺蛾科昆虫以其幼虫不同寻常的形态特征而闻名, 其背部具有各种类型的突起和背刺(Murphy et al, 2010), 当人接触刺蛾的背刺后, 皮肤会产生红肿、疼痛等症状, 严重时甚至会威胁生命, 因此刺蛾科幼虫被称为“痒辣子”、“火辣子”或“刺毛虫”(武春生, 2010)。刺蛾科幼虫食性广泛, 其寄主植物包括桃、杏、茶等重要经济林木(Duke, 2002; Murphy & Lill, 2010)和行道树(武春生, 2010)等, 其幼虫在5龄以后啃食叶片加剧, 严重影响植物的生长(武春生, 2010)。

刺蛾科昆虫物种丰富且与人类关系密切, 了解其在全球的动物地理区系和各国的物种多样性概况、分布格局、以及分布的异质性程度等问题都非常有意义, 尤其是在人类世(Anthropocene)的大背景下(Waters et al, 2016), 抗生素、农药(Palumbi, 2001; Tabashnik et al, 2014)等各类新型药品的开发、过度捕捞(Darimont et al, 2009)以及温室气体排放导致的气候变化, 都成为影响生物扩散和分布的重要因素(Stuart et al, 2014; Tabashnik et al, 2014), 物种灭绝速率受到前所未有的影响。然而, 目前针对刺蛾科昆虫的研究依然不足, 已有研究多集中于新种的发现与描述(Wu & Fang, 2009; Igbinsosa, 2010; Pan et al, 2013), 以及部分地区刺蛾科昆虫名录的编写(Chenon, 1982; Cock et al, 1987; Edwards et al, 1996; Solovyev & Witt, 2009)。

本文主要基于生物条形码数据库(Barcode of Life Data System V4, BOLD, <http://www.boldsystems.org/>)和全球生物多样性信息数据库(Global Biodiversity Information Facility, GBIF, <http://www.data.gbif.org/>)对刺蛾科昆虫分布信息进行分析, 在动物地理区系和国家两种不同尺度下, 明确该科昆虫的分布情况和全球分布格局, 同时分析其不同地理区域的物种多样性差异, 为刺蛾科昆虫的物种多样性研究和害虫防治提供理论依据和数据支撑。

## 1 研究方法

### 1.1 数据来源

刺蛾科昆虫的分布信息主要通过以下途径获取: (1)从BOLD和GBIF数据库下载属名、种名、采集国家及经纬度等信息, 整理成表, 未鉴定到物种的数据不予记录。(2)参考澳大利亚地区(<http://lepidoptera.butterflyhouse.com.au/lima/limacodidae.html>)和北美地区(<https://www.butterfliesandmoths.org/taxonomy/limacodidae>)刺蛾科数据网站。(3)参考东南亚地区(Cock et al, 1987)、澳大利亚(Edwards et al, 1996)、越南(Solovyev & Witt, 2009)、俄罗斯(Tshistjakov, 1995; Solovyev, 2008)等地的刺蛾名录, 以及《河南昆虫志》(武春生和方承莱, 2010)。(4)为进一步补充国内刺蛾科分布数据, 我们在北京、浙江、四川、湖南、湖北及广西等地, 进行了刺蛾科昆虫样品的野外补充采集。主要是在晚上19:00至次日凌晨2:00, 利用高压汞灯及黑光灯诱集昆虫, 并记录采集地点经纬度。获得成虫活体后, 取其腿部肌肉组织浸泡在装有无水乙醇的冻存管中, 用于DNA的提取, 剩余部分置于冻存管保存并带回。依据刺蛾的形态特征和COI条形码数据, 参考《河南昆虫志》(武春生和方承莱, 2010)将标本鉴定至物种级别。

刺蛾科昆虫扩散能力较弱, 本文从动物地理区系尺度(属级)和国家尺度(种级)上探讨其多样性和分布模式。

根据刺蛾科昆虫的分类学和经纬度信息, 统计不同动物地理区系中存在的所有属以及特有属, 以及各国刺蛾科昆虫的种类。绘制刺蛾科昆虫动物地理区系分布示意图以及国别水平上的物种多样性示意图。

根据刺蛾科昆虫分布经纬度, 以每10°为单位, 利用R语言中的ggplot计算物种数目与纬度间的相关性并绘图。

### 1.2 数据处理

刺蛾科昆虫扩散能力较弱, 本文从动物地理区系尺度(属级)和国家尺度(种级)上探讨其多样性和分布模式。

根据刺蛾科昆虫的分类学和经纬度信息, 统计不同动物地理区系中存在的所有属以及特有属, 以及各国刺蛾科昆虫的种类。绘制刺蛾科昆虫动物地理区系分布示意图以及国别水平上的物种多样性示意图。

根据刺蛾科昆虫分布经纬度, 以每10°为单位, 利用R语言中的ggplot计算物种数目与纬度间的相关性并绘图。

## 2 结果

### 2.1 刺蛾科昆虫全球分布及多样性

对网站数据进行整理筛选, 共获得数据61,947条, 具有有效名称的刺蛾科昆虫187属637种, 分布于83个国家。这些数据主要包括: (1)从BOLD数据库获得具经纬度信息的刺蛾科分布记录11,500条, 共198属299种, 分布于39个国家; (2)从GBIF数据库中获得具经纬度信息的刺蛾科分布记录46,391条, 共112属325种, 分布于76个国家; (3)澳大利亚数据库, 共117条记录, 30属45种; 北美数据库, 共3,939条记录, 27属34种; (4)东南亚23属104种; 澳大利亚26属69种; 越南45属116种; 俄罗斯12属17种; (5)野外采集共获得标本324头, 共31属62种。

中国是刺蛾科昆虫物种数最高的国家,绿刺蛾属(*Parasa*)、润刺蛾属(*Aphendala*)、汉刺蛾属(*Hampsonella*)、鳞刺蛾属(*Squamosa*)、环刺蛾属(*Birthosea*)等均有记录与描述。

## 2.2 刺蛾科昆虫动物地理区系分布格局

刺蛾科昆虫在世界动物地理区划中的分布以东洋区为主,共计72属,占统计总属数的38.5%;古北区次之,共计31属(16.58%);其次为澳新区及新热带区,均为27属(14.43%);非洲热带区共计22属(11.76%),新北区刺蛾科昆虫记录最少,共19属(10.16%) (图1,表1)。

在跨两个区系的共有属中,跨东洋区和古北区的最多,共计19属,占统计总属数的10.16%;其次是新北区和东洋区,共有属为9个,占统计总属数的4.81%;共有属最少的两个区系分别是东洋区和新北区,其共有属数仅为1,而在有记录的非洲热带区的刺蛾科昆虫中,不存在与其他任一区系的共有属(表2)。除此之外,刺蛾科昆虫还存在跨多个区系分布的现象,例如:球须刺蛾属(*Scopelodes*)和扁刺蛾属(*Thosea*)在澳新区 + 东洋区 + 古北区三界均有分布;伊刺蛾属(*Isa*)在古北区 + 新北区 + 新热带区三界均有分布;达刺蛾属(*Darna*)在东洋区 + 古北区 + 新北区三界均有分布;绿刺蛾属是刺蛾科昆虫中分布最为广泛的一个属,分布于东洋区 + 古北区 + 新北区 + 新热带区四界(表3)。

不仅如此,各区系均存在特有属(表1)。非洲热带区特有属比例最高,其22个属均为特有属;澳新区次之(23/27,约占该区总属数的85.19%);随后为东洋区和新热带区,所占比例分别为60.52%和55.56%。古北区占比最少,仅为16.13% (图2)。

## 2.3 物种多样性与纬度的相关性分析

从北半球来看:0°–10° N范围内,共有刺蛾科昆虫27属42种;10°–20° N共有29属178种;20°–30° N共有44属68种;30°–40° N共有28属54种;40°–50° N共有11属18种;50°–60° N共有3属3种;60°–70° N共有1属1种。从南半球来看:0°–10° S范围内,共有刺蛾科昆虫36属47种;10°–20° S共有36属69种;20°–30° S共有27属46种;30°–40° S共有13属21种;40°–50° S仅有1属1种。

刺蛾科昆虫物种数与纬度的相关性分析显示:全球范围内(南半球 + 北半球)刺蛾科昆虫物种多样性与纬度呈负相关( $R^2 = 0.257, P < 0.001$ ) (图3)。

## 2.4 刺蛾科昆虫物种多样性热点地区

全世界共有83个国家存在刺蛾科昆虫的分布记录(附录1, 2, 3),已有数据显示,中国是刺蛾科昆虫物种数最高的国家,共有45属124种,其次是越南,有45属116种;哥斯达黎加有22属75种、澳大利亚有26属69种、美国有23属52种、墨西哥有16属36种、印度尼西亚有19属28种、马来西亚有21属26种、巴西有12属23种(图4)。上述刺蛾科昆虫多样性较高

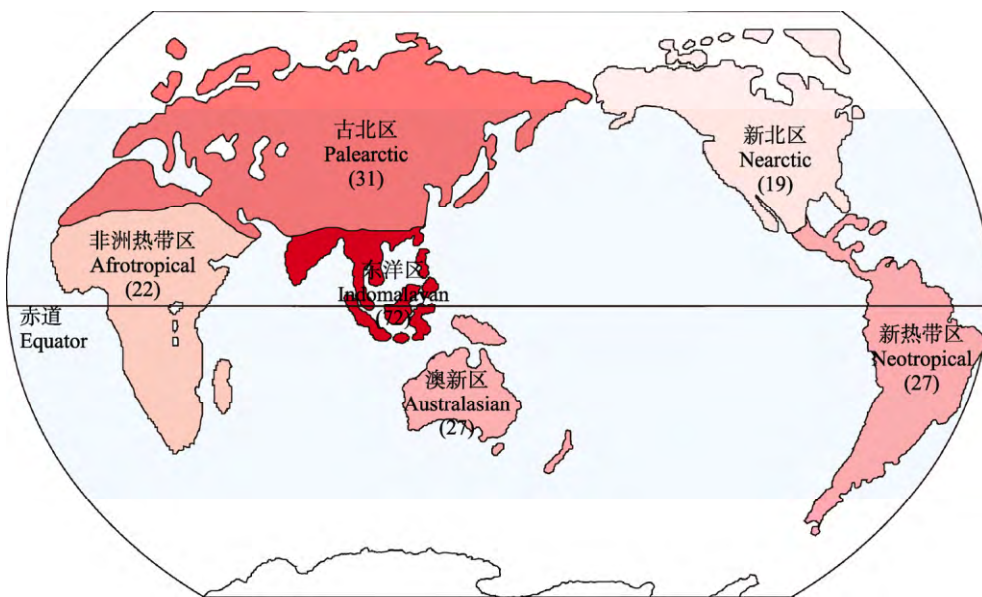


图1 刺蛾科昆虫动物地理区系分布图。图中数字代表属数。

Fig. 1 Global zoogeographical realms distribution of Limacodidae. Figures represent the number of genus.

表1 全球范围刺蛾科昆虫属级阶元动物地理区系统计

Table 1 Existing genera of Limacodidae in global zoogeographical realms

动物地理区系 Zoogeographical realms	区系存在属 Existing genera	总计 Sum
东洋区 Indomalayan	<i>Allothosea</i> , <i>Altha</i> , <i>Althonorosa</i> , <i>Aphendala</i> , <i>Arabessa</i> , <i>Atosia</i> , <i>Austrapoda</i> , <i>Avatara</i> , <b><i>Barabashka</i></b> , <b><i>Barisania</i></b> , <i>Belippa</i> , <b><i>Birhamula</i></b> , <i>Birthosea</i> , <i>Caelestomorpha</i> , <i>Caissa</i> , <i>Calauta</i> , <i>Cania</i> , <i>Ceratonema</i> , <i>Chalcoceles</i> , <i>Chalcoscelides</i> , <i>Cheromettia</i> , <i>Chibaraga</i> , <i>Darna</i> , <i>Demonarosa</i> , <i>Dudgeonea</i> , <i>Euphlyctinides</i> , <i>Flavinarosa</i> , <i>Griseothosea</i> , <i>Hampsonella</i> , <i>Heringarosa</i> , <i>Hindothosea</i> , <i>Hyphorma</i> , <i>Hyphormides</i> , <i>Iraga</i> , <i>Kitanola</i> , <i>Limacocera</i> , <i>Mahanta</i> , <i>Matsumurides</i> , <i>Miresa</i> , <i>Monema</i> , <i>Mummu</i> , <i>Nagodopsis</i> , <i>Narosa</i> , <i>Narosoideus</i> , <i>Neothosea</i> , <i>Nephelomorpha</i> , <i>Nirmides</i> , <i>Oxyplax</i> , <i>Parasa</i> , <i>Phlossa</i> , <i>Phocoderma</i> , <i>Polyphena</i> , <i>Praesetora</i> , <i>Prapata</i> , <i>Pretas</i> , <i>Pseudaltha</i> , <i>Pseudidonauton</i> , <i>Pseudocaissa</i> , <i>Pseudonirmides</i> , <i>Quasinarosa</i> , <i>Quasithosea</i> , <i>Rhamnosa</i> , <i>Sansarea</i> , <i>Scopelodes</i> , <i>Setora</i> , <i>Setothosea</i> , <i>Squamosa</i> , <i>Susica</i> , <i>Tanvia</i> , <i>Tennya</i> , <i>Thosea</i> , <i>Vipaka</i>	72
古北区 Palearctic	<i>Acraephnes</i> , <i>Altha</i> , <i>Aphendala</i> , <i>Apoda</i> , <i>Austrapoda</i> , <i>Belippa</i> , <i>Birthosea</i> , <i>Caissa</i> , <i>Ceratonema</i> , <i>Chalcoscelides</i> , <i>Chibaraga</i> , <i>Darna</i> , <i>Heterogenea</i> , <i>Iraga</i> , <i>Iragoides</i> , <i>Isa</i> , <i>Mahanta</i> , <b><i>Mediocampa</i></b> , <b><i>Microcampa</i></b> , <b><i>Microleon</i></b> , <i>Monema</i> , <i>Narosa</i> , <i>Narosoideus</i> , <i>Neothosea</i> , <i>Parasa</i> , <i>Phlossa</i> , <b><i>Phrixolepia</i></b> , <i>Rhamnosa</i> , <i>Scopelodes</i> , <i>Setora</i> , <i>Thosea</i>	31
澳新区 Australasian	<i>Anaxidia</i> , <i>Anepopsia</i> , <i>Apodecta</i> , <i>Birhamoides</i> , <i>Calcarifera</i> , <i>Chalcoceles</i> , <i>Comana</i> , <i>Comanula</i> , <i>Doratifera</i> , <i>Ecnomoctena</i> , <i>Elassoptila</i> , <i>Eloasa</i> , <i>Hedraea</i> , <i>Hydroclada</i> , <i>Hypselolopha</i> , <i>Lamprolepida</i> , <i>Limacochara</i> , <i>Mambara</i> , <i>Mecytha</i> , <i>Parasoidea</i> , <i>Pinzulenza</i> , <i>Praesusica</i> , <i>Pseudanapaea</i> , <i>Pygmaeomorpha</i> , <i>Scopelodes</i> , <i>Squamosa</i> , <i>Thosea</i>	27
新热带区 Neotropical	<i>Acharia</i> , <i>Alarodia</i> , <b><i>Blazia</i></b> , <b><i>Dichromapteryx</i></b> , <b><i>Epiperola</i></b> , <i>Euclea</i> , <b><i>Euphobetron</i></b> , <i>Euprosterina</i> , <b><i>Heureses</i></b> , <i>Isa</i> , <i>Isochaetes</i> , <b><i>Leucophobetron</i></b> , <i>Miresa</i> , <i>Monoleuca</i> , <i>Narosopsis</i> , <i>Natada</i> , <i>Parasa</i> , <b><i>Perola</i></b> , <i>Phobetron</i> , <i>Prolimacodes</i> , <b><i>Pseudovipsania</i></b> , <i>Semyra</i> , <i>Talima</i> , <i>Tanadema</i> , <i>Venadicodia</i> , <i>Vipsania</i> , <b><i>Vipsophobetron</i></b>	27
非洲热带区 Afrotropical	<b><i>Afrobirthama</i></b> , <i>Ambaliha</i> , <i>Andaingo</i> , <i>Birhamia</i> , <i>Chrysopoloma</i> , <i>Coenobasis</i> , <i>Cosuma</i> , <i>Crothaema</i> , <i>Ctenolita</i> , <i>Delorhachis</i> , <i>Hadrapphe</i> , <i>Halseyia</i> , <i>Hamartia</i> , <i>Latoia</i> , <i>Micraphe</i> , <i>Pantoctenia</i> , <i>Parapluda</i> , <i>Scotinochroa</i> , <i>Strigivenifera</i> , <i>Teinorhynca</i> , <i>Thliptocnemis</i> , <i>Uniserrata</i>	22
新北区 Nearctic	<i>Adoneta</i> , <i>Acharia</i> , <i>Alarodia</i> , <i>Apoda</i> , <b><i>Cryptophobetron</i></b> , <i>Darna</i> , <i>Euclea</i> , <i>Euprosterina</i> , <i>Heterogenea</i> , <i>Isa</i> , <i>Isochaetes</i> , <b><i>Lithacodes</i></b> , <i>Monoleuca</i> , <i>Natad</i> , <b><i>Packardia</i></b> , <i>Parasa</i> , <i>Phobetron</i> , <i>Prolimacodes</i> , <b><i>Tortricidia</i></b>	19

表中粗体字为特有属 Genera in bold represent endemic ones

表2 不同动物地理区系中刺蛾科昆虫的属数

Table 2 Number of genera of Limacodidae in global zoogeographical realms

动物地理区系 Zoogeographical realms	属数 No. of genera	占比 Proportion (%)
东洋区 Indomalayan	72	38.50
古北区 Palearctic	31	16.58
澳新区 Australasian	27	14.43
新热带区 Neotropical	27	14.43
非洲热带区 Afrotropical	22	11.76
新北区 Nearctic	19	10.16
东洋区 + 古北区 Indomalayan + Palearctic	19	10.16
新北区 + 新热带区 Nearctic + Neotropical	9	4.81
澳新区 + 东洋区 Australasian + Indomalayan	2	1.07
古北区 + 新北区 Palearctic + Nearctic	2	1.07
东洋区 + 新北区 Indomalayan + Nearctic	1	0.53
澳新区 + 东洋区 + 古北区 Australasian + Indomalayan + Palearctic	2	1.07
东洋区 + 古北区 + 新北区 Indomalayan + Palearctic + Nearctic	1	0.53
古北区 + 新北区 + 新热带区 Palearctic + Nearctic + Neotropical	1	0.53
东洋区 + 古北区 + 新北区 + 新热带区 Indomalayan + Palearctic + Nearctic + Neotropical	1	0.53

的国家均与目前公认的全球生物热点区域相一致。

### 3 讨论

本研究共获得刺蛾科昆虫187属637种。现有数

据显示, 全球范围内, 刺蛾科昆虫的区系成分比较复杂, 以东洋区、古北区分布为主, 但同时也具有以东洋区 + 古北区、新北区 + 新热带区为主的跨区系成分。各属的区系成分有所不同, 这可能与刺

表3 不同地理区系中刺蛾科共有属统计

Table 3 Shared genera of Limacodidae in global zoogeographical realms

属名 Genus	动物地理区系 Zoogeographical realms					
	澳新区 Australasian	东洋区 Indomalayan	古北区 Palearctic	新北区 Nearctic	新热带区 Neotropical	非洲热带区 Afrotropical
<i>Acharia</i>				+	+	
<i>Alarodia</i>				+	+	
<i>Altha</i>		+	+			
<i>Aphendala</i>		+	+			
<i>Apoda</i>			+	+		
<i>Austrapoda</i>		+	+			
<i>Belippa</i>		+	+			
<i>Birthosea</i>		+	+			
<i>Caissa</i>		+	+			
<i>Ceratonema</i>		+	+			
<i>Chalcocelis</i>	+	+				
<i>Chalcoscelides</i>		+	+			
<i>Chibaraga</i>		+	+			
<i>Darna</i>		+	+	+		
<i>Euclea</i>				+	+	
<i>Euprosterma</i>				+	+	
<i>Heterogenea</i>			+	+		
<i>Iraga</i>		+	+			
<i>Iragoides</i>		+	+			
<i>Isochaetes</i>				+	+	
<i>Isa</i>			+	+	+	
<i>Mahanta</i>		+	+			
<i>Miresa</i>		+			+	
<i>Monoleuca</i>				+	+	
<i>Monema</i>		+	+			
<i>Narosa</i>		+	+			
<i>Narosoideus</i>		+	+			
<i>Natada</i>				+	+	
<i>Neothosea</i>		+	+			
<i>Parasa</i>		+	+	+	+	
<i>Phlossa</i>		+	+			
<i>Phobetron</i>				+	+	
<i>Prolimacodes</i>				+	+	
<i>Rhamnosa</i>		+	+			
<i>Scopelodes</i>	+	+	+			
<i>Setora</i>		+	+			
<i>Squamosa</i>	+	+				
<i>Thosea</i>	+	+	+			
总计 Sum	4	26	26	14	12	0

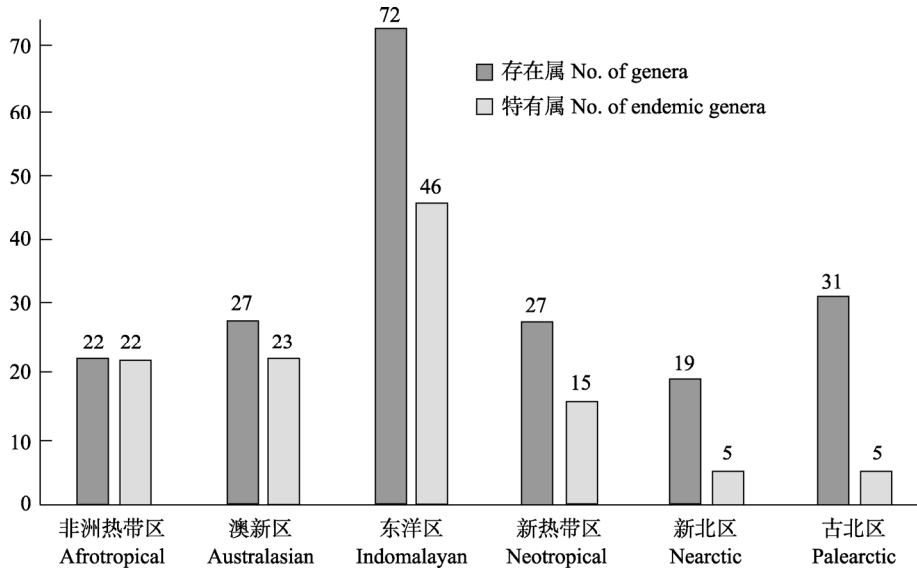


图2 不同动物地理区系刺蛾科昆虫存在属及特有属数目

Fig. 2 Number of existing genera and endemic genera of Limacodidae in each zoogeographical realm

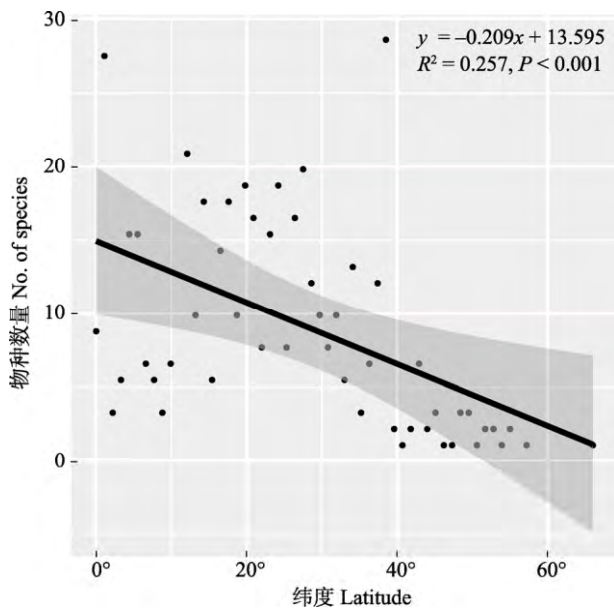


图3 全球尺度下物种数目与纬度相关性分析

Fig. 3 Correlation analysis between species richness and latitude

蛾科类群较弱的飞行扩散能力有关。值得注意的是, 绿刺蛾属是刺蛾科中分布最为广泛的类群, 其地理分布跨东洋区、古北区、新北区和新热带区4个地理区系, 造成这一结果的原因主要是该属包含较多的物种, 除该属之外, 大多数属跨2-3个区系分布(表3)。

对刺蛾科昆虫而言, 古北区 + 东洋区, 新热带区 + 新北区共有属最多, 分析其主要原因有两

个: 其一, 在地质历史上, 古北区和东洋区的连接时间不短于两亿年(Tapponnier & Molnar, 1976; Royden, 1997), 新热带区和新北区的连接时间不短于280万年(Gentry, 1982; Pinilla-Buitrago et al, 2018), 如此长的连接时间为刺蛾科昆虫的扩散提供了足够的机会; 其二, 两个区系间的连接地带为刺蛾科昆虫多样性较高的地区。秦岭为古北区和东洋区的分界地带(He & Jiang, 2013), 该地区刺蛾科昆虫物种丰富; 哥斯达黎加位于新热带区和新北区两区的交界附近, 分布着75种刺蛾科昆虫, 新热带区和新北区的共有属的81.82%存在于哥斯达黎加, 当然这一结果也可能与哥斯达黎加地区的调查强度高有关。非洲热带区虽与古北区有直接相连接的地区, 但在本研究中, 由于数据来源的局限, 目前该地区的刺蛾科昆虫记录多位于该区的西部及南部, 如几内亚、科特迪瓦以及南非等地, 而在阿尔及利亚、利比亚、沙特阿拉伯等区系的相连区域均无数据记录。

除在动物地理区系中的分布格局外, 在全球尺度上, 刺蛾科昆虫的物种多样性也与纬度呈现负相关(图3), 中低纬度具有更高的刺蛾科昆虫物种多样性。我们认为这与以下几点有关: (1)群落的物种多样性与其群落演化时间相关, 中低纬度地区温度和日照时长等自然条件相对稳定(Mccreadie et al, 2018), 受地质灾害的影响较少, 从而为保留更多较为古老的生物类群提供了可能; 相反, 高纬度地区

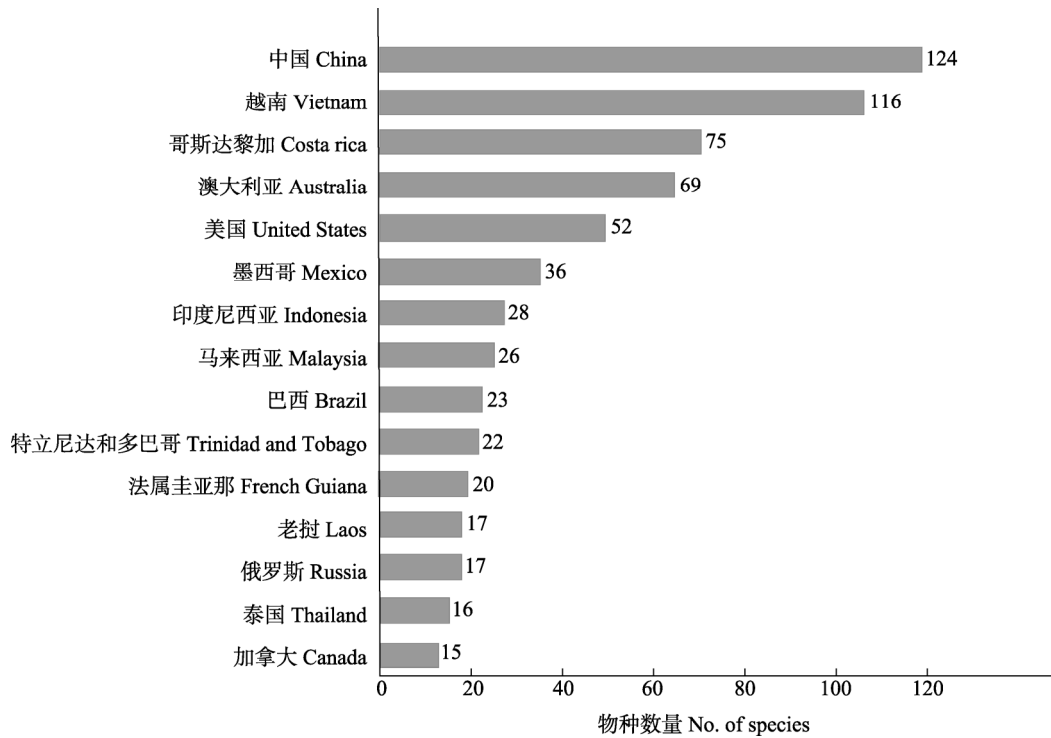


图4 刺蛾科昆虫物种数量排名前15的国家

Fig. 4 Top 15 countries of the richness of Limacodidae species

由于受到冰川南进北退的多次干扰, 群落发展时间相对较短(Goode et al, 2018), 因此物种多样性较低。(2)生境异质性的程度也是影响物种多样性的一个原因。南北半球随着纬度的降低, 生境复杂程度逐渐增加(Zhang et al, 2017), 动植物为减小种间竞争, 生态位不断分化, 从而为新物种的形成提供了条件。(3)适宜的气候为物种共存提供基础, 并为物种分化创造条件。在气候相对稳定的低纬度地区, 生物利用较少能量用于基础活动, 把更多能量投入到净生产当中, 这使其可以进行更精细的适应和特化。如鞘翅目拟步甲属(*Coleoptera*)、双翅目蚊科昆虫在分布上都存在中低纬度物种多样性更高的特点(李迪和任国栋, 2016; McCreddie et al, 2018)。

物种分布格局及多样性差异, 除了与以上所探讨的群落形成及生境条件有关外, 也受该物种食性及生活史特性影响(Jong & Ingemar, 1991; Kozlov, 1996)。刺蛾科昆虫中, 部分多食性物种分布范围较广, 如离远刺蛾(*Apoda limacodes*)分布在韩国、英国、捷克、丹麦、法国、荷兰6个国家; 巴线刺蛾(*Cania bandura*)分布在印度尼西亚、中国、越南3个国家, 其余种则以寡食性及单食性居多(武春生和方承莱, 2010), 仅在1个国家中存在分布记录。一些单

食性刺蛾是热带地区(Cock et al, 1987; Igbinsosa, 1988; Godfray & Chan, 1990)和温带地区(Heitzman & Heitzman, 1987)经济林木的主要防治害虫, 而其特殊的食性限制了自身分布范围, 如爪哇线刺蛾(*Cania javana*)的寄主植物只有香蕉(武春生, 2010), 其只在印度尼西亚的巴厘岛存在分布记录; 单色球须刺蛾(*Scopelodes unicolor*)喜食可可树属(*Theobroma*)、番樱桃属(*Eugenia*)、蓖麻属(*Ricinus*)等植物(武春生, 2010), 只在植物多样性极高(Iwata et al, 2003)的马来西亚的砂拉越地区(Sarawak)有分布记录。不仅如此, 生活史也是影响该类昆虫分布的另一个主要因素, 例如在我国, 已观测的刺蛾科昆虫每年至少发生1个世代, 最多4个世代, 且分布纬度越低, 世代数越多(武春生和方承莱, 2010)。窄黄缘绿刺蛾(*Parasa consocia*)在长江以北一年只发生1个世代, 而在长江以南一年发生2-3个世代。世代数增加, 为其物种多样性的形成及进化提供了更多可能性。

在国家尺度上, 本研究统计了全球各国刺蛾科昆虫分布情况, 其中8个刺蛾科物种数较高的国家都在全球生物多样性热点区域范围内, 这些热点地区同时也拥有世界上近60%的植物、鸟类、哺乳动物、爬行动物和两栖动物(马克平, 2016)。本研究基

于在线数据库中的刺蛾科数据,从鳞翅目昆虫角度对全球热点地区的物种多样性进行补充,发现在这些生物热点地区同样具有丰富的鳞翅目蛾类昆虫,这可能与该地区丰富的植物资源有关。从国内而言,中国刺蛾科昆虫分布的热点地区主要集中在秦岭-淮河一带,包括河南、四川、甘肃、云南等地。秦岭山脉两侧气候及生境异质性差异鲜明(He & Jiang, 2014),且秦岭-淮河线是一个重要的干旱-潮湿气候边界(Fang et al, 2002),因此它被认为是古北界和东洋界的边界。地形、气候的变化为昆虫提供了更为丰富的生境异质性(Myers et al, 2000),复杂的气候和地形条件也使得在不同的海拔和坡度上(Yao et al, 2010)存在各样的植被类型(李锡文和李捷, 1993),为刺蛾科昆虫的生存和取食提供了有利条件。

目前国内外学者对刺蛾科昆虫的研究非常有限,分类学、系统学以及生物地理学的研究均非常薄弱,这样的背景也限制了本研究的数据来源,因此所获得的结果具有一定的局限性。未来随着更多的刺蛾科昆虫的分类学成果和分布地信息的发布,相信能够更加完善我们对全球刺蛾科昆虫的分布格局的结论。

**致谢:** 感谢首都师范大学博士生杨采青在数据分析中提供的帮助。

## 参考文献

- Cai RQ (1983) Research and new species records of the genus *Parasa* in China (Lepidoptera, Limacodidae). *Acta Entomologica Sinica*, 26, 437–451. (in Chinese) [蔡荣权 (1983) 我国绿刺蛾属的研究及新种记述(鳞翅目: 刺蛾科). *昆虫学报*, 26, 437–451.]
- Chenon R (1982) *Latoia (Parasa) lepida* (Cramer) Lepidoptera Limacodidae, a coconut pest in Indonesia. *Oléagineux*, 37, 177–183.
- Cock MJW, Godfray HCJ, Holloway JD (1987) Slug and Nettle Caterpillars: The Biology, Taxonomy and Control of the Limacodidae of Economic Importance on Palms in Southeast Asia. Centre for Agricultural Bioscience International, Wallingford, UK.
- Darimont CT, Carlson SM, Kinnison MT, Paquet PC, Reimchen TE, Wilmers CC (2009) Human predators outpace other agents of trait change in the wild. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 106, 952–954.
- Duke NC (2002) Sustained high levels of foliar herbivory of the mangrove *Rhizophora stylosa* by a moth larva *Doratifera stenosa* (Limacodidae) in north-eastern Australia. *Wetlands Ecology and Management*, 10, 403–419.
- Edwards ED, Nielsen ES, Rangsi TV (1996) Checklist of the Lepidoptera of Australia. *Monographs on Australian Lepidoptera*, 4, 1–529.
- Fang JY, Song YC, Liu HY, Piao SL (2002) Vegetation-climate relationship and its application in the division of vegetation zone in China. *Acta Botanica Sinica*, 44, 1105–1122.
- Gentry AH (1982) Neotropical floristic diversity: Phylogeographical connections between Central and South America, Pleistocene climatic fluctuations, or an accident of the Andean orogeny? *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 69, 557–593.
- Godfray HCJ, Chan MS (1990) How insecticides trigger single-stage outbreaks in tropical pests. *Functional Ecology*, 4, 329–337.
- Goode JD, Barefoot CR, Hart JL, Dey DC (2018) Disturbance history, species diversity, and structural complexity of a temperate deciduous forest. *Journal of Forestry Research*, 9(2), 1–18.
- Heitzman JR, Heitzman JE (1987) *Butterflies and Moths of Missouri*. Missouri Department of Conservation, Jefferson City.
- He K, Jiang X (2014) Sky islands of southwest China. I. An overview of phylogeographic patterns. *Chinese Science Bulletin*, 59, 585–597.
- Igbinosa IB (1988) Parasites of the immature stages of *Latoia viridissima* Holland (Lep., Limacodidae), a pest of palms in Nigeria. *Journal of Applied Entomology*, 106, 527–530.
- Igbinosa IB (2010) Studies on the biology of *Latoia (Parasa) viridissima* Holland (Lep., Limacodidae), a pest of palms in West Africa. *Journal of Applied Entomology*, 99, 260–266.
- Iwata T, Inoue M, Nakano S, Miyasaka H, Covich DAP (2003) Shrimp abundance and habitat relationships in tropical rain-forest streams, Sarawak, Borneo. *Journal of Tropical Ecology*, 19, 387–395.
- Jong J, Ingemar A (1991) Factors affecting the distribution pattern of bats in Uppland, Central Sweden. *Ecography*, 14, 92–96.
- Kozlov M (1996) Patterns of forest insect distribution within a large city: Microlepidoptera in St. Peterburg, Russia. *Journal of Biogeography*, 23, 95–103.
- Li D, Ren GD (2016) Comparison of darkling beetles in latitudinal distribution between Taiwan, China and Japan (Tenebrionidae, Coleoptera). *Journal of Environmental Entomology*, 38, 1134–1144. (in Chinese with English abstract) [李迪, 任国栋 (2016) 中国台湾和日本拟步甲在纬度分布上的比较研究. *环境昆虫学报*, 38, 1134–1144.]
- Li XW, Li J (1993) A preliminary floristic study on the seed plants from the region of Hengduan Mountain. *Acta Botanica Yunnanica*, 15, 217–231. (in Chinese with English abstract) [李锡文, 李捷 (2013) 横断山脉地区种子植物区系的初步研究. *云南植物研究*, 15, 217–231.]
- Ma KP (2016) New trends for biodiversity conservation from the World Conservation Congress. *Biodiversity Science*, 24, 1091–1092. (in Chinese) [马克平 (2016) 从世界自然保护



- 大会看生物多样性保护的新趋势. 生物多样性, 24, 1091–1092.]
- Mccreadie JW, Williams RH, Stutsman S, Finn DS, Adler PH (2018) The influence of habitat heterogeneity and latitude on gamma diversity of the Nearctic Simuliidae, a ubiquitous group of stream-dwelling insects. *Insect Science*, 25, 712–720.
- Murphy SM, Leahy SM, Williams LS, Lill JT (2010) Stinging spines protect slug caterpillars (Limacodidae) from multiple generalist predators. *Behavioral Ecology*, 21, 153–160.
- Murphy SM, Lill JT (2010) Winter predation of diapausing cocoons of slug caterpillars (Lepidoptera: Limacodidae). *Environmental Entomology*, 39, 1893–1902.
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, Fonseca GABD, Kent J (2000) Biodiversity hotspot for conservation priorities. *Nature*, 403, 853–858.
- van Nieukerken EJ, Kaila L, Kitching J, Kristensen NP, Lees DC, Minet J, Mitter C, Mutanen M, Regier JC, Simonsen TJ, Wahlberg N, Yen SH, Zahiri R, Adamski D, Baixeras J, Bartsch D, Bengtsson BÅ, Brown JW, Bucheli SR, Davis DR, Prins JD, Prins WD, Epstein ME, Gentili-Poole P, Gielis C, Hättenschwiler P, Hausmann A, Holloway JD, Kallies A, Karsholt O, Kawahara AY, Koster S, Kozlov MV, Lafontaine JD, Lamas G, Landry JF, Lee S, Nuss M, Park KT, Penz C, Rota J, Schintlmeister A, Schmidt BC, Sohn JC, Solis MA, Tarmann GM, Warren AD, Weller S, Yakovlev RV, Zolotuhin VV, Zwick A (2011) Animal Biodiversity: An outline of higher classification and survey of taxonomic richness. *Zootaxa*, 314, 212–221.
- Pan Z, Zhu CD, Wu CS (2013) A review of the genus *Monema* Walker in China (Lepidoptera, Limacodidae). *ZooKeys*, 306(6), 23–36.
- Palumbi SR (2001) Humans as the world's greatest evolutionary force. *Science*, 293, 1786–1790.
- Pinilla-Buitrago GE, Escalante T, Ana GV, Reyes-Castillo P, Rojas-Soto OR (2018) Areas of endemism persist through time: A palaeoclimatic analysis in the Mexican Transition Zone. *Journal of Biogeography*, 45, 952–961.
- Royden LH (1997) Surface deformation and lower crustal flow in eastern Tibet. *Science*, 276, 788–790.
- Solovyev AV (2008) The Limacodid moths (Lepidoptera: Limacodidae) of Russia. *Eversmannia*, 15(4), 17–43.
- Solovyev AV, Witt TJ (2009) The Limacodidae of Vietnam. *Entomofauna*, 16(Suppl.), 313–321.
- Stuart YE, Campbell TS, Hohenlohe PA, Reynolds RG, Revell LJ, Losos JB (2014) Rapid evolution of a native species following invasion by a congener. *Science*, 346, 463–466.
- Tabashnik BE, Mota-Sanchez D, Whalon ME, Hollingworth RM, Carrière Y (2014) Defining terms for proactive management of resistance to *Bt* crops and pesticides. *Journal of Economic Entomology*, 107, 496–507.
- Tapponnier P, Molnar P (1976) Slip-Line field theory and large-scale continental tectonics. *Nature*, 264, 315–324.
- Tshistjakov YA (1995) A review of the Limacodidae (Lepidoptera) of the Russian Far East. *Far East Entomologist*, 7(2), 1–12.
- Waters C, Zalasiewicz J, Summerhayes C, Barnosky AD, Poirier C, Gatuszka A, Cearreta A, Edgeworth M, Ellis EC, Ellis M, Jeandel C, Leinfelder R, McNeill JR, Richter DD, Steffen W, Syvitski J, Vidas D, Waples M, Williams M, Zhi SA, Grinevald J, Odada E, Oreskes N, Wolfe AP (2016) The anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the holocene. *Science*, 351, 137–147.
- Wu CS, Fang CL (2009) A taxonomic study of the genus *Hampsonella* Dyar in China (Lepidoptera, Limacodidae). *Acta Zootaxonomica Sinica*, 34, 49–50.
- Wu CS (2010) Analysis on the host plant diversity of slug caterpillar moths in China. *Forest Pest and Disease*, 29(2), 1–4. (in Chinese with English abstract) [武春生 (2010) 中国刺蛾科幼虫的寄主植物多样性分析. *中国森林病虫*, 29(2), 1–4.]
- Wu CS, Fang CL (2010) *Insect Fauna of Henan*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [武春生, 方承莱 (2010) *河南昆虫志*. 科学出版社, 北京.]
- Yao Y, Zhang B, Han F, Pang Y (2010) Diversity and geographical pattern of altitudinal belts in the Hengduan Mountains in China. *Journal of Mountain Science*, 7, 123–132.
- Zhang YH, He NP, Loreau M, Pan Q, Han X (2017) Scale dependence of the diversity-stability relationship in a temperate grassland. *Journal of Ecology*, 106, 1227–1285.

(责任编辑: 黄晓磊 责任编辑: 闫文杰)

## 附录 Supplementary Material

### 附录1 BOLD数据库刺蛾科昆虫物种信息表

Appendix 1 Information of Limacodidae species downloaded from Barcode of Life Data System V4 (BOLD V4)  
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2019132-1.pdf>

### 附录2 GBIF数据库刺蛾科昆虫物种信息表

Appendix 2 Information of Limacodidae species downloaded from Global Biodiversity Information Facility (GBIF)  
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2019132-2.pdf>

### 附录3 补充数据

Appendix 3 Supplementary data  
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2019132-3.pdf>