



彭洁凝, 李淑慧, 彭静, 蔡雨洋, 于帅. 羽祝蛾属昆虫(鳞翅目: 祝蛾科)世界地理分布及中国适生区预测[J]. 环境昆虫学报, 2026, 48 (2): 481-488. PENG Jie-Ning, LI Shu-Hui, PENG Jing, CAI Yu-Yang, YU Shuai. Global geographical distribution and prediction of suitable areas in China of the genus *Nosphistica* Meyrick (Lepidoptera: Lecithoceridae) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2026, 48 (2): 481-488.

羽祝蛾属昆虫(鳞翅目: 祝蛾科)世界地理分布及中国适生区预测

彭洁凝, 李淑慧, 彭静, 蔡雨洋, 于帅*

(聊城大学农业与生物学院, 山东聊城 252000)

摘要:【目的】羽祝蛾属是昆虫纲鳞翅目祝蛾科的重要类群之一。本研究旨在阐述该类群昆虫地理分布现状及其在中国的适生范围。【方法】通过收集整理该属昆虫已发表资料, 对羽祝蛾属物种世界地理分布进行了直观性标注。同时, 采用最大熵模型对其进行了适生区预测及区域划分。【结果】羽祝蛾属昆虫世界已知22种, 中国记录17种, 泰国记录2种, 斯里兰卡、印度、日本、越南各记录1种。在我国主要分布在以长江为界的南方地区; 物种多样性总体呈现出由北向南递增的趋势。适生区预测结果表明: 其适生区域主要集中在 18°N ~ 32°N 之间, 高适宜生境主要集中于我国横断山脉以东、长江中下游以南地区; 昼夜温差月均值与降雨量是影响羽祝蛾属适生分布的主要因素。【结论】羽祝蛾属昆虫主要在我国分布且集中于南方地区。研究结果有助于揭示该类群的地理分布面貌, 增加对该类群的广泛认识。

关键词: 物种名录; 祝蛾亚科; 形态特征; 最大熵模型; 环境因子

中图分类号: Q968.1

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2026) 02-0481-08

Global geographical distribution and prediction of suitable areas in China of the genus *Nosphistica* Meyrick (Lepidoptera: Lecithoceridae)

PENG Jie-Ning, LI Shu-Hui, PENG Jing, CAI Yu-Yang, YU Shuai* (College of Agriculture and Biology, Liaocheng University, Liaocheng 252000, Shandong Province, China)

Abstract: 【Aim】 *Nosphistica* is one of the important genera of the family Lecithoceridae (order Lepidoptera, class Insecta). This study aims to clarify the current geographical distribution of this genus and its suitable habitat range in China. 【Methods】 Based on published data of *Nosphistica*, the global geographical distribution of its species was visually mapped. Meanwhile, the Maximum Entropy (MaxEnt) model was employed to predict and zone its suitable habitats. 【Results】 A total of 22 *Nosphistica* species are known worldwide, 17 of which are recorded in China, 2 in Thailand, and 1 each in Sri Lanka, India, Japan, and Vietnam. In China, the genus is mainly distributed in southern regions, broadly demarcated by the Yangtze River, with species diversity generally exhibiting an increasing trend from north to south. Prediction results of suitable areas indicate that the suitable areas are mainly concentrated between 18°N and 32°N , and the high habitat suitability areas are primarily located east of the Hengduan Mountains and south of the middle and lower reaches of the Yangtze River in China. The monthly mean diurnal temperature range and precipitation are the main factors affecting the suitable distribution of *Nosphistica*. 【Conclusion】 *Nosphistica* is mainly distributed in China and concentrated in southern regions. This

基金项目: 山东省自然科学基金青年基金 (ZR2022QD130)

作者简介: 彭洁凝, 女, 山东临沂人, 本科生, E-mail: 975281716@qq.com

*通讯作者 Author for correspondence: 于帅, 男, 博士, 硕士生导师, 主要研究方向为昆虫分类, E-mail: yushuai088@163.com

收稿日期 Received: 2024-09-03; 修回日期 Revision received: 2024-11-27; 接受日期 Accepted: 2024-11-28

study's results contribute to revealing the geographical distribution pattern of this genus and enhancing broader understanding of it.

Key words: Species checklist; Lecithocerinae; morphological characteristics; MaxEnt model; environmental factors

生物多样性与生态保护是当前科学研究热点之一，受到国际社会普遍关注（张凤春等，2015）。我国地域广阔，地理生态环境多样、物种资源丰富。通过对重点关注物种的地理分布与环境数据的分析，可从宏观角度上了解该类群的多样性情况、分布特性、潜在适生区等，对该物种类群的深入研究、资源利用策略等具有重要的理论和实践意义（谢春平等，2024）。

生态位模型（Ecological niche models, ENMs）是一种基于物种存在或丰富度数据以及与环境因子数据相结合的数学模型（Elith and Leathwick, 2009），利用物种已知的地理分布数据及相对应的自然环境变量，通过一定的算法推算目标物种的生态需求，再将结果投射到其他空间、时间，最终得到物种潜在地理分布。其中，最大熵模型（Maximum entropy model, MaxEnt）作为生态位模型的一种，具有样本需求量少，运算结果稳定、预测精度更为准确等优点，目前已被广泛应用于保护生物学、入侵生物学、有害生物风险评估、气候变化对生物多样性的影响等研究中（齐国君等，2015；李晓辰等，2022；许莹等，2024）。

昆虫作为最繁盛的生物类群，占动物界物种数超过一半，是自然界最重要的物种类群之一（Zhang, 2011；Stork, 2018）。祝蛾科 Lecithoceridae 昆虫是我国南方地区鳞翅目昆虫的常见类群，物种多样性和丰度高，部分地区日采集可高达数百头，其幼虫具食腐性。羽祝蛾属 *Nosphistica* 是祝蛾科中较为特殊的类群之一，目前归属于祝蛾亚科 Lecithocerinae，但已有研究表明（Park, 2002；Yu and Wang, 2019），该类群无独立的抱器背桥（Costal bar）（图1-B），明显不同于祝蛾亚科其他类群。再者，该属昆虫在系统发育关系上没有亚科水平上的倾向，很可能为一新亚科（Wang and Li, 2020）。当前，羽祝蛾属昆虫的研究主要集中于形态分类学，对于地理分布特征以及适生区等内容尚未见涉及。本研究在整理完成羽祝蛾属世界名录的基础上，结合南开大学昆虫标本室和聊城大学标本馆收藏的大量羽祝蛾属昆虫标本，汇集所有已知标本材料信息与环境数据，

开展羽祝蛾属地理分布特性以及潜在适生区地理预测研究，预期结果有助于对该类群的广泛认识，为该类群的标本采集与资源利用提供指导依据。

1 材料与方法

1.1 研究材料

本研究标本材料主要来源于采集自1999–2023年间的保存于南开大学昆虫标本室与聊城大学标本馆的羽祝蛾属标本。采集标签包括经纬度、采集地点、采集日期、采集方式、采集人等一系列信息。物种分布地经纬度数据主要依据标本采集标签获取，国外物种如无经纬度信息，则依据原始文献记载地点在经纬度拾取网站（<https://api.map.baidu.com/lbsapi/getpoint/index.html>）中检索相应经纬度信息，用于分布地点标记。经纬度数据在Google Earth中对地点信息进行标准化处理，均采用WGS84地理坐标系，共整理出126条分布记录。

1.2 预测软件和地图数据

本文采用MaxEnt 3.3.2生态位模型软件（<http://www.cs.princeton.edu/schapiere/maxent/>），制图软件为ArcGIS 9.3软件（美国ESRI公司开发的地理信息系统平台），地图地形来源于自然资源部标准地图服务系统（<http://bzdt.ch.mnr.gov.cn/>）下载的1:1600万标准中国地图，审图号是GS（2019）1816号，通过ArcGIS空间分析工具获取3个地形因子（海拔、坡向和坡度）。

基于羽祝蛾属物种分布的经纬度数据，应用最大熵算法模型（MaxEnt 3.3.2），根据物种的地理分布数据，首先获得它们的地理分布图层文件（ASC II 格式），再应用地理信息系统 ArcGIS 9.3 软件，进行图层格式转换栅格文件，执行重分类后，预测羽祝蛾属在中国的潜在地理分布。在充分整理现有羽祝蛾属地理分布信息的基础上，预测结果与羽祝蛾属实际地理分布情况进行比较，判断羽祝蛾属地理分布预测结果是否符合实际情况。

1.3 环境因子

环境气候数据来源于WorldClim（version 2.0:

http://www.worldclim.org/version2) 2.5 arc-min 精度的数据集（详见网络版增强出版材料附表1），主要是1950–2000年这50年间的气温、降水和海拔。为保障所使用的中国及周边国家环境变量的空间范围大小一致，本研究通过ArcGIS 10.2软件的掩膜提取功能（Extract by mask）从世界环境数据中提取了中国行政区内相应的环境变量。

1.4 预测评估判断标准

整理得到了羽祝蛾属126条国内分布的经纬度。将文件保存为.csv格式，导入最大熵模型MaxEnt软件。以126个分布点作为分析样本输入，以25%的随机分布点作为测试集，输出的预测结果为关于适生概率的中国数据（ASC II）。

最大熵模型MaxEnt软件内置的受试者工作特征曲线（Receiver operating characteristic curve, ROC）分析法可用于评价物种潜在分布预测模型的精准度（Phillips and Dudik, 2008）。通过ROC曲线的面积（Area under curve, AUC）判断预测结果的精度，AUC值越大表示与随机分布相距越远，环境变量与预测的物种地理分布模型之间相关性越大，即模型预测效果越好。当AUC在0.7以下时，说明该模型预测失败；当AUC在0.7~0.9之间时，说明该模型预测结果一般；当AUC在0.9以上时，说明该模型预测结果非常好。

1.5 适生区分布预测等级划分

运行MaxEnt模型得到结果为ASC II格式的栅格图层，利用ArcGIS的格式化工具（Conversion tools）将软件得到的ASC II格式文件转换成Raster格式，将这个模拟结果与中国地图叠加，再利用分析工具（Analysis tools）的再分类（Reclassify）功能对其进行适生等级的划分，获得可视化适生区梯度分级，并使用不同颜色表示，反映各物种在不同地区的适生程度。本研究各物种的适生等级划分为：高适生区（0.50~1.00）、中适生区（0.25~0.50）、低适生区（0.05~0.25）和非适生区（0~0.05），分别以红色、黄色、绿色和白色表示（赵健等，2019）。

2 结果与分析

2.1 羽祝蛾属形态特征分析

成虫特征（图1-A）：触角等长于前翅，雄性触角腹缘被纤毛，雌性正常。下唇须上举过头顶，

第2节加粗，第3节细长。前翅近矩形，外缘略凹入，常具有各种花纹或斑点。后翅宽于前翅，梯形，顶角突出，外缘凹入或曲状，3A脉与腹缘间区域色深。腹部背板具刺列。

雄性外生殖器（图1-B）：爪形突多样。颚形突基板多样，中突鹰嘴状。抱器背桥部分游离。抱器端通常具纤毛；抱器腹狭长。阳茎基环尾突形态差异较大。基腹弧宽。阳茎管状；角状器针状或无。

雌性外生殖器（图1-C）：后表皮突长于前表皮突。导管端片膜质或弱骨化。导精管发自囊导管后端或近中部。交配囊圆形或椭圆形；囊突1枚或多枚。

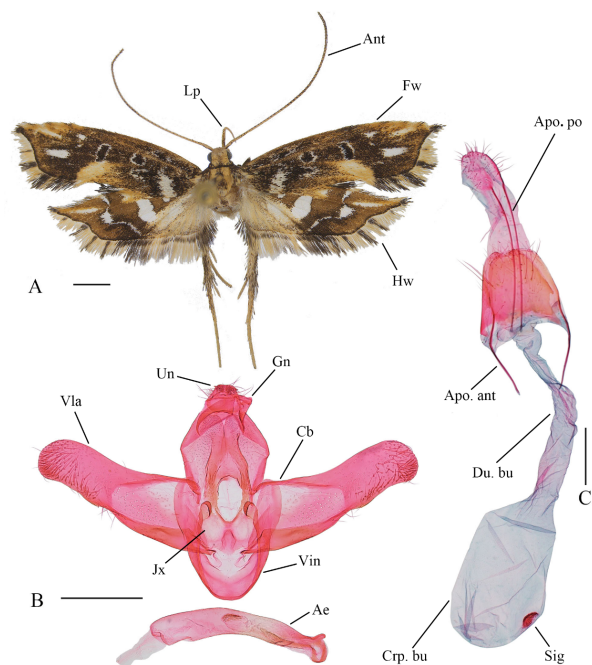


图1 美羽祝蛾形态特征

Fig. 1 Morphological characteristics of *Nosphestica eculla*

Yu & Wang, 2024

注：A，成虫；B，雄性外生殖器；C，雌性外生殖器。Ant，触角；Fw，前翅；Hw，后翅；Lp，下唇须；Un，爪形突；Gn，颚形突；Vla，抱器瓣；Cb，抱器背桥；Jx，阳茎基环；Vin，基腹弧；Ae，阳茎；Apo. po，后表皮突；Apo. ant，前表皮突；Du. bu，囊导管；Crp. bu，交配囊；Sig，囊突。比例尺：A=2.0 mm；B，C=0.5 mm。

Note: A, Adult; B, Male genitalia; C, Female genitalia. Ant, Antenna; Fw, Forewing; Hw, Hindwing; Lp, Labial palpus; Un, Uncus; Gn, Gnathos; Vla, Valva; Cb, Costal bar; Jx, Juxta; Vin, Vinculum; Ae, Aedeagus; Apo. po, Apophyses posteriores; Apo. ant, Apophyses anteriores; Du. bu, Ductus bursae; Crp. bu, Corpus bursae; Sig, Signum. Scales: A=2.0 mm; B, C=0.5 mm.

2.2 羽祝蛾属研究历史与世界物种名录

羽祝蛾属最早于1911年由Meyrick根据斯里兰卡物种 *Nosphistica erratica* Meyrick 为模式种建立, 随后很长一段时间该类群无进一步报道。韩国学者 Park (2002) 将 *Philoptila* Meyrick, 1918 作为羽祝蛾属的次异名, 并将该属物种 *Ph. effrenata* Meyrick, 1935、*Ph. metalychna* Meyrick, 1935、*Ph. fenestrata* Gozmány, 1978 移入羽祝蛾属, 与此同时将长貂祝蛾 *Athymoris paramecola* Wu, 1996 移入该属; 该篇文章还记述了5新种: 双曲羽祝蛾 *N. bisinuata* Park, 2002、黑鳞羽祝蛾 *N. fuscolepis* Park, 2002、太鲁阁羽祝蛾 *N. tarokoensis* Park, 2002、尖羽祝蛾 *N. acriella* Park, 2002 与波羽祝蛾 *N. undulata* Park, 2002。Park (2005) 补充2新种: 东方羽祝蛾 *N. orientana* Park, 2005 与新月羽祝蛾 *N. owadai* Park, 2005。Oku 等 (2018) 依据日本采集标本描述了一新种, *N. fermata* Oku & Sakamaki, 2018。Yu & Wang (2019, 2024) 依据大量中国新增标本描述羽祝蛾9新种, 详见名录。截至目前, 世界上羽祝蛾属已报道22种, 中国记录17物种。羽祝蛾属物种名录如下:

羽祝蛾属 *Nosphistica* Meyrick, 1911

Nosphistica Meyrick, 1911, *Journ. Bombay nat. Hist. Soc.*, 20: 733. Type species: *Nosphistica erratica* Meyrick, 1911.

Philoptila Meyrick, 1918, *Exotic Microlep.*, 2: 111. Type species: *Philoptila effrenata* Meyrick, 1918.

1) 富羽祝蛾 *Nosphistica abunda* Yu & Wang, 2019

Nosphistica abunda Yu & Wang, 2019, *Zootaxa*, 4664 (4): 505. Type locality (TL): China (Hainan). Type depository (TD): NKU.

分布: 中国 (广东、海南)。

2) 尖羽祝蛾 *Nosphistica acriella* Park, 2002

Nosphistica acriella Park, 2002, *Zool. Stud.*, 41: 256. TL: Thailand (Nakhon Nayok Province). TD: ZMC.

分布: 中国 (云南)、泰国。

3) 白斑羽祝蛾 *Nosphistica albimaculata* Yu & Wang, 2019

Nosphistica albimaculata Yu & Wang, 2019, *Zootaxa*, 4664 (4): 515. TL: China (Hainan). TD: NKU.

分布: 中国 (海南)。

4) 端尖羽祝蛾 *Nosphistica apiculata* Yu & Wang, 2019

Nosphistica apiculata Yu & Wang, 2019, *Zootaxa*, 4664 (4): 506. TL: China (Hainan). TD: NKU. 分布: 中国 (海南)。

5) 双曲羽祝蛾 *Nosphistica bisinuata* Park, 2002
Nosphistica bisinuata Park, 2002, *Zool. Stud.*, 41: 257. TL: China (Taiwan). TD: KNA.

分布: 中国 (海南、香港、台湾、浙江)。

6) 缙羽祝蛾 *Nosphistica effrenata* (Meyrick, 1918)

Philoptila effrenata Meyrick, 1918, *Microlep. Pal.*, 2: 111. TL: India (Kanara). TD: NHMUK.

Nosphistica effrenata (Meyrick), Park, 2002, *Zool. Stud.*, 41: 255.

分布: 印度。

7) 椭圆羽祝蛾 *Nosphistica elliptica* Yu & Wang, 2019

Nosphistica elliptica Yu & Wang, 2019, *Zootaxa*, 4664 (4): 509. TL: China (Guangxi). TD: NKU.

分布: 中国 (广西)。

8) *Nosphistica erratica* Meyrick, 1911

Nosphistica erratica Meyrick, 1911, *Journ. Bombay Nat. Hist. Soc.*, 10: 733. TL: Sri Lanka. TD: NHMUK.

分布: 斯里兰卡。

9) 美羽祝蛾 *Nosphistica eucalla* Yu & Wang, 2024

Nosphistica albimaculata Yu & Wang, 2024, *Zootaxa*, 5410 (3): 318. TL: China (Yunnan). TD: LCU.

分布: 中国 (云南)。

10) 窗羽祝蛾 *Nosphistica fenestrata* (Gozmány, 1978)

Philoptila fenestrata Gozmány, 1978, *Microlep. Pal.*, 5: 189. TL: China (Fujian). TD: ZMHB (originally as MGAB).

Nosphistica fenestrata (Gozmány): Park, 2002, *Zool. Stud.*, 41: 252.

分布: 中国 (福建、广东、广西、河南、河北、陕西、四川、台湾、天津、云南、浙江)。

11) *Nosphistica fermata* Oku & Sakamaki, 2018
Nosphistica fermata Oku & Sakamaku, 2018, *Lepid. Sci.*, 69(3/4): 108. TL: Japan. TD: KGU.

分布: 日本。

12) 黑鳞羽祝蛾 *Nosphistica fuscolepis* Park, 2002

Nosphistica fuscolepis Park, 2002, *Zool. Stud.*, 41: 256. TL: China (Taiwan). TD: USNM.

分布: 中国(台湾)。

13) 梭羽祝蛾 *Nosphistica fusioidea* Yu & Wang, 2019

Nosphistica fusioidea Yu & Wang, 2019, *Zootaxa*, 4664 (4): 511. TL: China (Fujian). TD: NKU.

分布: 中国(福建、广东、广西、贵州、海南、云南)。

14) 长爪羽祝蛾 *Nosphistica grandiuca* Yu & Wang, 2019

Nosphistica grandiuca Yu & Wang, 2019, *Zootaxa*, 4664 (4): 512. TL: China (Yunnan). TD: NKU.

分布: 中国(贵州、云南)。

15) 长棒羽祝蛾 *Nosphistica longiclavata* Yu & Wang, 2024

Nosphistica albimaculata Yu & Wang, 2024, *Zootaxa*, 5410 (3): 320. TL: China (Shaanxi). TD: NKU.

分布: 中国(陕西)。

16) 灯羽祝蛾 *Nosphistica metalychna* (Meyrick, 1935)

Philoptila metalychna Meyrick, 1935, *Gelechiidae*, In: Caradja & Meyrick, *Mater. Microlepid. Fauna Chin. Prov. Kiangsu, Chekiang und Hunan*: 73. TL: China (Jiangsu). TD: ZMHB (originally as MGAB).

Nosphistica metalychna (Meyrick): Park, 2002, *Zool. Stud.*, 41: 258.

分布: 中国(江苏、浙江、贵州)。

17) 东方羽祝蛾 *Nosphistica orientana* Park, 2005

Nosphistica orientana Park, 2005, *Journ. Asia-Pacific Entomol.*, 8: 124. TL: China (Guangdong). TD: NSMT.

分布: 中国(重庆、广东、广西、贵州、河北、四川、浙江)。

18) 新月羽祝蛾 *Nosphistica owadai* Park, 2005

Nosphistica owadai Park, 2005, *Journ. Asia-Pacific Entomol.*, 8: 123. TL: Vietnam (Cao Bang). TD: NSMT.

分布: 越南。

19) 长羽祝蛾 *Nosphistica paramecola* (Wu, 1996)

Athymoris paramecola Wu, 1996, *Entomol. Sin.*,

3 (2): 307. TL: China (Hainan). TD: IZCAS.

Nosphistica paramecola (Wu): Park, 2002, *Zool. Stud.*, 41: 254.

分布: 中国(广西、海南、台湾、浙江)。

20) 矩羽祝蛾 *Nosphistica subrectangula* Yu & Wang, 2019

Nosphistica subrectangula Yu & Wang, 2019, *Zootaxa*, 4664 (4): 508. TL: China (Hainan). TD: NKU.

分布: 中国(广东、海南)。

21) 太鲁阁羽祝蛾 *Nosphistica tarokoensis* Park, 2002

Nosphistica tarokoensis Park, 2002, *Zool. Stud.*, 41: 258. TL: China (Taiwan). TD: KNA.

分布: 中国(台湾)。

22) 波羽祝蛾 *Nosphistica undulata* Park, 2002

Nosphistica undulata Park, 2002, *Zool. Stud.*, 41: 259. TL: Thailand (Leoi). TD: ZMC.

分布: 泰国。

2.3 地理分布分析

在已报道的22种羽祝蛾属昆虫中, 中国记录分布17种, 占比超过3/4, 表明该属昆虫在中国的物种丰富度非常高, 泰国记录2种, 斯里兰卡、印度、日本、越南各记录1种(图2、图3)。

中国羽祝蛾属地理分布上总体呈现出由北向南物种多样性和丰度逐渐递增的趋势。结果表明, 长江是羽祝蛾属昆虫地理分布的重要界线, 长江以南地区, 物种多样性高, 为16种; 其中, 海南岛物种多样性最高, 为7种; 广东、广西、台湾次之, 为5种。长江以北地区分布4种, 分布在四川、江苏、陕西和天津等地, 其中仅长棒羽祝蛾1种为北方地区特有。天津市为目前已记录的最北省份, 分布有窗羽祝蛾。东北地区、新疆等地无分布记录。窗羽祝蛾、东方羽祝蛾在我国分布范围最广, 分别涉及我国11省市与7省市。黑鳞羽祝蛾、太鲁阁羽祝蛾仅记录于我国台湾。

2.4 地理预测结果与分析

2.4.1 预测结果评估

在对羽祝蛾属生境适应性的预测效果中, 训练数据的AUC值为0.965, 测试数据的AUC值0.978, 均大于0.960, 表明本次试验预测是有规律的非随机性的存在, 最大熵模型对羽祝蛾属在中国的潜在分布区的预测结果可信(详见网络版增强出版材料附图1)。

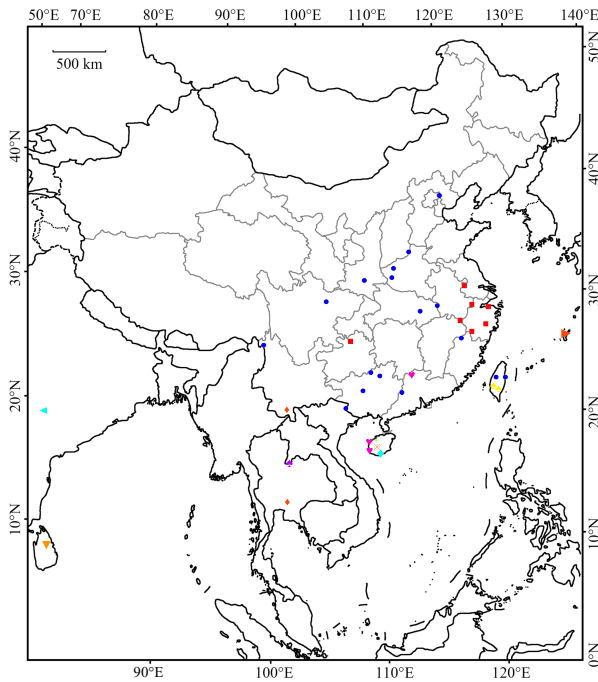


图2 世界羽祝蛾属 *Nosphistica* Meyrick, 1911 地理分布 I

Fig. 2 Geographical distribution of *Nosphistica* Meyrick, 1911
注: 该图基于自然资源部标准地图服务系统下载的审图号为GS (2019) 1816号的标准地图制作。下同。●窗羽祝蛾 *N. fenestrata*; ■灯羽祝蛾 *N. metalychna*; ♀黑磷羽祝蛾 *N. fuscolepis*; ◆尖羽祝蛾 *N. acriella*; ♀波羽祝蛾 *N. undulata*; ▼*N. erratica*; ◀缙羽祝蛾 *N. effrenata*; ▶*N. fermata*; ♥矩羽祝蛾 *N. subrectangula*; +端尖羽祝蛾 *N. apiculata*; ✱富羽祝蛾 *N. abunda*; ◆白斑羽祝蛾 *N. albimaculata*. Note: The drawing was based on the standard map with drawing No. GS (2019) 1816 downloaded by the standard map service system of the Ministry of Natural Resources. The same below.

2.4.2 适生区分布与预测

2.4.2.1 适生区分布预测与分析

经过最大熵模型 MaxEnt 软件运算处理, 得到羽祝蛾属在中国境内的适生分布区。羽祝蛾属在中国各地区的生境适生概率 p 取值范围在 0~1 之间, 图中颜色越明亮表明分布概率越高, 蓝色则表示无分布。利用 ArcGIS 将模拟结果与 1 : 4 000 000 标准中国行政区划地图叠加, 获得可视化适生区梯度分级, 并用不同颜色表示, 反映羽祝蛾属在不同地区的适生程度 (图 4)。

2.4.2.2 可视化适生区梯度分级结果分析

预测结果表明, 羽祝蛾属类群适生区域主要集中在 $18^{\circ}\text{N}\sim 32^{\circ}\text{N}$ 之间, 其中羽祝蛾属高适宜生境面积为 17.93 万 km^2 , 占我国陆地总面积的 1.87%。

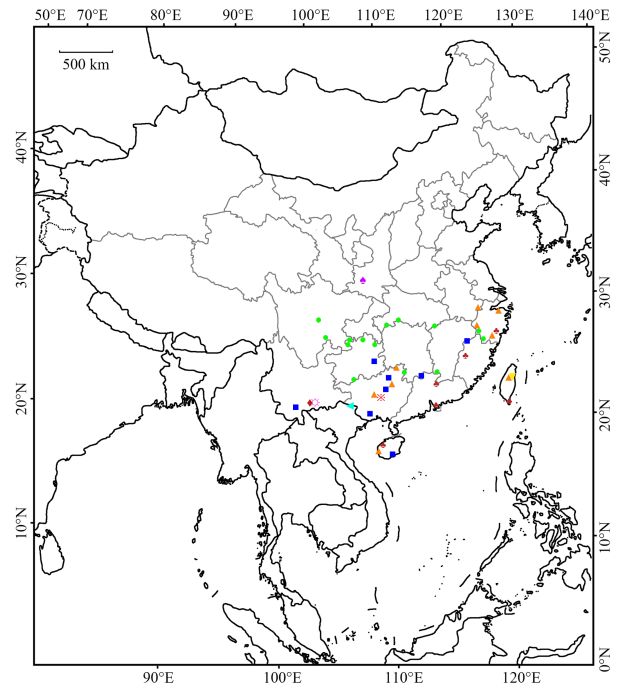


图3 世界羽祝蛾属 *Nosphistica* Meyrick, 1911 地理分布 II

Fig. 3 Geographical distribution of *Nosphistica* Meyrick, 1911
注: ●东方羽祝蛾 *N. orientana*; ■梭羽祝蛾 *N. fusoides*; ♀双曲羽祝蛾 *N. bisinuata*; ◆长爪羽祝蛾 *N. grandiuca*; ♀长棒羽祝蛾 *N. longiclavata*; ▼太鲁阁羽祝蛾 *N. tarokoensis*; ✱椭羽祝蛾 *N. elliptica*; ☆美羽祝蛾 *N. eucalla*; ▲长羽祝蛾 *N. paramecola*; ◀新月羽祝蛾 *N. owadai*.

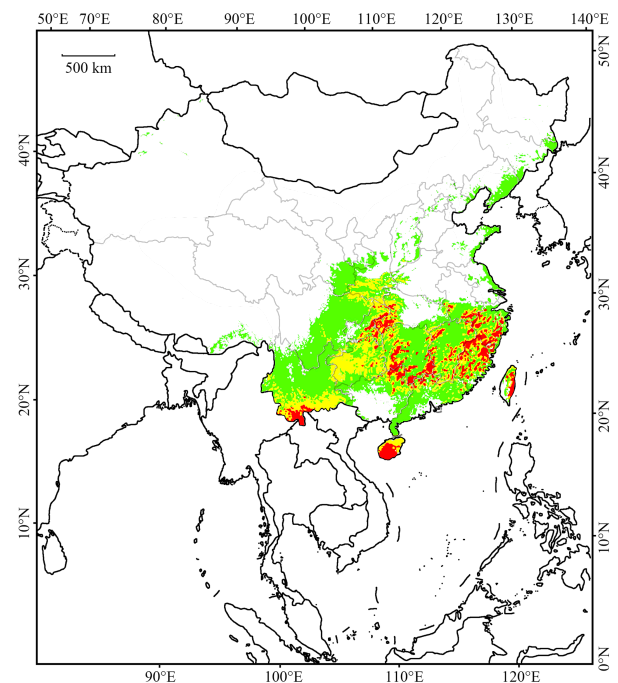


图4 羽祝蛾属在中国境内的适生区域划分

Fig. 4 The division of suitable areas for *Nosphistica* Meyrick, 1911 in China

中适宜生境面积为 47.20 万 km²，占我国陆地总面积的 4.91%。低适宜生境面积为 153.51 万 km²，占我国陆地总面积的 15.99%。非适宜生境面积为 741.36 万 km²，占我国陆地总面积的 77.23%。高适宜生境主要集中于中国横断山脉以东、长江中下游以南地区，特别是海南、福建、浙江和台湾。中适宜生境分布范围包括海南北部、云南南部、湖北南部、贵州等地区。低适宜生境区分布范围主要为中高适生区的外围地区。中国北部及东部大部分地区为非适宜生境，具体划分见网络版增强出版材料附表 2。

2.4.3 适生区预测主要影响因素

采用最大熵模型软件刀切法分别对 20 个环境影响因子进行缺失分析，以筛选出影响羽祝蛾属在中国分布的主要环境因子。结果表明：年均降雨量（BIO12）、昼夜温差月均值（BIO2）、最湿月份降雨量（BIO13）、最湿季度雨量（BIO16）等 4 个环境因子的增益值分别为 1.30、1.25、1.24、1.24，为主要环境影响因子，对该类群的潜在分布影响最大。等温性（BIO3）、最湿季度平均温度（BIO8）这两个环境影响因子的增益值分别为 0.13、0.25，影响较小（详见网络版增强出版材料附图 2）。

3 结论与讨论

中国是羽祝蛾属昆虫的主要分布地，占该属世界记录物种的 3/4 以上，且丰度较高，在南方地区在南方地区较为常见。本文研究人员还发现，该属昆虫物种多样性仍有待充分发掘，部分保存于南开大学和聊城大学的雌性标本处于未鉴定状态，部分新物种有待发表。地理分布上，羽祝蛾属昆虫主要分布在长江以南的广大地区。羽祝蛾属在我国北方分布相对匮乏，推测主要原因在于该区域整体气候偏干旱，不适宜偏好湿润环境的腐食性祝蛾类群生存繁衍。浙江该类群物种丰度较高，可能与研究者在该地区的采集频次与采集密度有关；湖南、江西、西藏、澳门等地区种类较少或目前未有记录，也有采集次数相对较少的因素。

本研究利用最大熵模型对羽祝蛾属在中国适生区域范围进行了预测，研究结果与现有分布区生态环境条件具有很好的吻合性。羽祝蛾属适生区受多种环境因素共同作用，各因素对羽祝蛾属

适生区影响存在差异，昼夜温差月均值（BIO2）、最湿月份降雨量（BIO13）、最湿季度雨量（BIO16）等 4 个环境因子对该类群的潜在分布影响最大，其中 3 个因素都与降雨量相关，说明降雨量是影响羽祝蛾属适生分布的重要因素。

有研究报道，部分祝蛾科昆虫幼虫为食腐性昆虫。Common（1990）记录澳大利亚祝蛾属 *Lecithocera* 几种曾以桉树凋落叶等喂养；Komai（2011）报道祝蛾亚科两种以及瘤祝蛾亚科 3 种以日本的几种阔叶树凋落叶喂养。Gozmány（1978）的研究也表明，祝蛾昆虫利于加速降解死亡的植物组织，具有较高的生态学价值。羽祝蛾属昆虫生物学信息尚未有研究报道，推测其生活习性为食腐性，这能够解释该类群昆虫喜湿的习性。

由于本研究数据信息主要来自多年采集的干制标本，未能够综合考虑其他环境因子以及人类活动干扰等因素的影响，预测结果可能存在一定偏差。徐强等（2023）也表明，由于生物发生点的数量和代表性对最大熵模型的预测结果影响较大，随着未来发生点的变化，预测的地理分布适生区范围也具有变化的可能性。也有研究表明，适生区域的预测结果仅表明该地区适合该类昆虫发生，并不意味着事实上发生了（雷仲仁等，2007）。因此，本研究结果对羽祝蛾属地理分布预测具有阶段性参考价值，但仍能够为后期羽祝蛾属昆虫的标本采集工作提供指导性帮助。

祝蛾科昆虫在中国南方地区，物种丰富度与丰度高，本文研究人员采集过程中发现云南、西藏等部分地区该类群昆虫甚至为优势类群。但目前国内对祝蛾认识甚少，这一方面可能与其相对较小的体型有关，另一方面是该类群的物种鉴定存在一定困难。本研究结果将有助于昆虫研究人员和昆虫爱好者对羽祝蛾属乃至祝蛾昆虫的了解。

参考文献（References）

- Common IFB. Checklist of the Lepidoptera of Australia. In: Nielsen ES, Edwards ED, Rangsi TV, eds. Monographs on Australian Lepidoptera, vol.4 [M]. Canberra: CSIRO Division of Entomology, 1990, 1–529.
- Elith J, Leathwick JR. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time [J]. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2009, 40 (1): 677–697.

- Gozmány L. Microlepidoptera Palaearctica V [M]. Vienna: Georg Fromme & Co., Wien, 1978, 1–306.
- Komai F, Yoshiyasu Y, Nasu Y, *et al.* A Guide to the Lepidoptera of Japan [M]. Kanagawa: Tokai University Press, 2011, 1–1308.
- Lei ZR, Yao JM, Zhu CJ, *et al.* Prediction of suitable areas for *Liriomyza trifolii* (Burgess) in China [J]. *Plant Protection*, 2007, 33 (5): 100–103. [雷仲仁, 姚君明, 朱灿健, 等. 三叶斑潜蝇在中国的适生区预测 [J]. 植物保护, 2007, 33 (5): 100–103]
- Li XC, Gong L, Wei B, *et al.* Effects of climate change on potential distribution and niche differentiation of *Picea schrenkiana* in Xinjiang [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, 42 (10): 4091–4100. [李晓辰, 贡璐, 魏博, 等. 气候变化对新疆雪岭云杉潜在适宜分布及生态位分化的影响 [J]. 生态学报, 2022, 42 (10): 4091–4100]
- Meyrick E. Descriptions of Indian Micro-lepidoptera [J]. *Journal of the Bombay Natural History Society*, 1911, 20: 706–736.
- Meyrick E. Exotic Microlepidoptera II [M]. Wilts: Marborough, 1918: 97–224.
- Meyrick E. List of Microlepidoptera of Chekiang, Kiangsu, Hunan. In: Caradja A, Meyrick E, eds. Materialien zu einer Microlepidoptera-fauna der Chinesischen Provinzen Kiangsu, Chekiang und Hunan [M]. Berlin: R. Friedlander & Sohn, 1935: 44–96.
- Oku J, Sakamaki Y, Yagi S. A new species of the genus *Nosphistica* Meyrick (Lepidoptera, Lecithoceridae) from Japan [J]. *Lepidoptera Science*, 2018, 69 (3/4): 107–112.
- Park KT. A revision of the genus *Nosphistica* Meyrick (Lepidoptera, Lecithoceridae) [J]. *Zoological Studies*, 2002, 41 (3): 251–262.
- Park KT. Two new species of the genus *Nosphistica* Meyrick (Lepidoptera, Lecithoceridae) from China and Vietnam [J]. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 2005, 8: 123–125.
- Phillips SJ, Dudik M. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation [J]. *Ecography*, 2008, 31 (2): 161–175.
- Qi GJ, Chen T, Gao Y, *et al.* Potential geographic distribution of *Planococcus minor* and *P. lilacinus* in China based on MaxEnt [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37 (2): 219–223. [齐国君, 陈婷, 高燕, 等. 基于 Maxent 的大洋臀纹粉蚧和南洋臀纹粉蚧在中国的适生区分析 [J]. 环境昆虫学报, 2015, 37 (2): 219–223]
- Steven J, Phillips MD. Modeling of species distributions with MAXENT: new extensions and a comprehensive evaluation [J]. *Ecography*, 2008, 31 (2): 161–175.
- Stork NE. How many species of insects and other terrestrial arthropods are there on earth? [J]. *Annual Review of Entomology*, 2018, 63: 31–45.
- Wang QY, Li HH. Phylogeny of the superfamily Gelechioidea (Lepidoptera: Obectomera) with an exploratory application on geometric morphometrics [J]. *Zoologica Scripta*, 2020: 1–22.
- Wu CS. A study of the Chinese *Athymoris* Meyrick, 1935 and descriptions of two new species (Lepidoptera: Lecithoceridae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1996, 39 (3): 306–309.
- Xie CP, Chen L, Liu DW, *et al.* Geographical distribution and potential distribution area prediction of *Cephalotaxus oliveri* Mast. in China [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University* (Natural Science Edition), 2024, 39 (1): 1–9. [谢春平, 陈林, 刘大伟, 等. 篦子三尖杉在中国的地理分布及潜在分布区预测 [J]. 云南农业大学学报 (自然科学版), 2024, 39 (1): 1–9]
- Xu Q, Gu YJ, Li PP, *et al.* Potential geographic distribution of the little fire ant, *Wasmannia auropunctata* (Hymenoptera: Formicidae) in China based on MaxEnt model [J]. *Plant Protection*, 2023, 49 (4): 101–107. [徐强, 顾渝娟, 李盼畔, 等. 基于最大熵模型预测小火蚁在中国的适生区 [J]. 植物保护, 2023, 49 (4): 101–107]
- Xu Y, Wang JS, He X, *et al.* Potential suitability of the European Woodwasp (*Sirex noctilio*) in the context of climate change [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2024, 46 (2): 405–417. [许莹, 王继山, 和霞, 等. 气候变化背景下松树蜂的潜在适生区模拟 [J]. 环境昆虫学报, 2024, 46 (2): 405–417]
- Yu S, Wang SX. Taxonomic study of the genus *Nosphistica* Meyrick, 1911 (Lepidoptera: Lecithoceridae) from China, with descriptions of seven new species [J]. *Zootaxa*, 2019, 4664 (4): 497–517.
- Yu S, Wang SX. Two new species of the genus *Nosphistica* Meyrick (Lepidoptera, Lecithoceridae, Lecithocerinae) from China, with a checklist of the world [J]. *Zootaxa*, 2024, 5410 (3): 317–324.
- Zhang FC, Liu WH, Li JS. Current Situation and Countermeasures of Biodiversity Mainstreaming in China [J]. *Environment and Sustainable Development*, 2015, 40 (2): 13–18. [张凤春, 刘文慧, 李俊生. 中国生物多样性主流化现状与对策 [J]. 环境与可持续发展, 2015, 40 (2): 13–18]
- Zhao J, Li ZW, Zhang HW, *et al.* Prediction of potential distribution of tobacco whitefly *Bemisia tabaci* in China based on MaxEnt niche model and GIS [J]. *Journal of Plant Protection*, 2019, 46 (6): 1292–1300. [赵健, 李志鹏, 张华纬, 等. 基于 MaxEnt 模型和 GIS 技术的烟草粉虱适生区预测 [J]. 植物保护学报, 2019, 46 (6): 1292–1300]
- Zhang ZQ. Animal biodiversity: an outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness [J]. *Zootaxa*, 2011, 3148: 1–237.

附录：附表 1 用于 MaxEnt 模型中的 20 个生物气候变量

附表 2 中国羽祝蛾属的适宜性生境的面积和主要分布

附图 1 羽祝蛾属适生区分布预测精度

附图 2 “中间类群”预测中刀切法计算环境因子的增益值

详细数据见网络版增强出版材料 (<http://hjkcxb.alljournals.net/>)

附表 1 用于 MaxEnt 模型中的 20 个生物气候变量

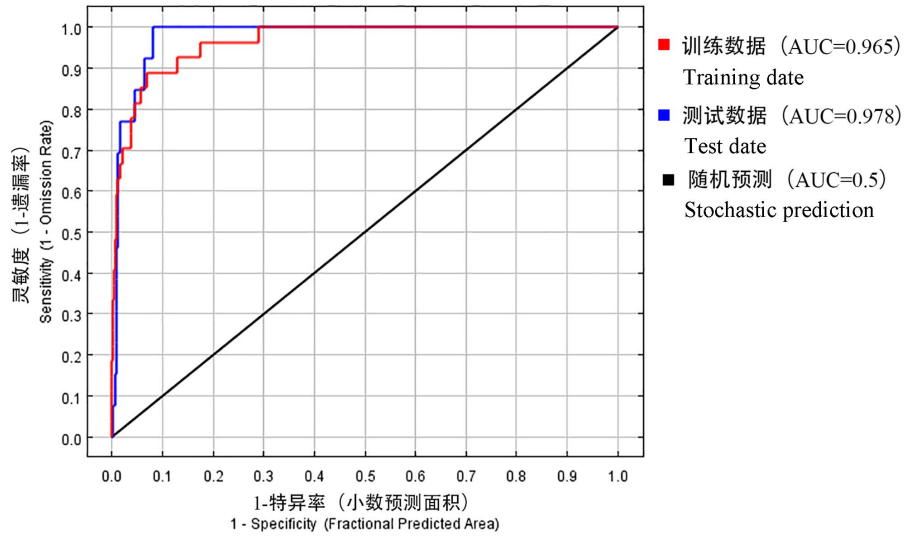
Appendix Table 1 20 bioclimatic variables used in the MaxEnt model

环境因子 Environmental Factor	变量 Variable
Alt	海拔 Altitude
BIO1	年平均温度 Annual Mean Temperature
BIO2	昼夜温差月均值 Mean Diurnal Range (Mean of monthly (max temp-min temp))
BIO3	等温性 Isothermality(BIO2/BIO7) (* 100)
BIO4	温度季节变化方差 Temperature Seasonality (standard deviation *100)
BIO5	最热月份最高温 Max Temperature of Warmest Month
BIO6	最冷月份最低温 Min Temperature of Coldest Month
BIO7	年温度变化范围 Temperature Annual Range (BIO5-BIO6)
BIO8	最湿季度平均温度 Mean Temperature of Wettest Quarter
BIO9	最干季度平均温度 Mean Temperature of Driest Quarter
BIO10	最暖季度平均温度 Mean Temperature of Warmest Quarter
BIO11	最冷季度平均温度 Mean Temperature of Coldest Quarter
BIO12	年均降雨量 Annual Precipitation
BIO13	最湿月份降雨量 Precipitation of Wettest Month
BIO14	最干月份降雨量 Precipitation of Driest Month
BIO15	降雨季节变异系数 Precipitation Seasonality (Coefficient of Variation)
BIO16	最湿季度雨量 Precipitation of Wettest Quarter
BIO17	最干季度雨量 Precipitation of Driest Quarter
BIO18	最暖季度平均雨量 Precipitation of Warmest Quarter
BIO19	最冷季度平均雨量 Precipitation of Coldest Quarter

附表 2 中国羽祝蛾属的适宜性生境的面积和主要分布

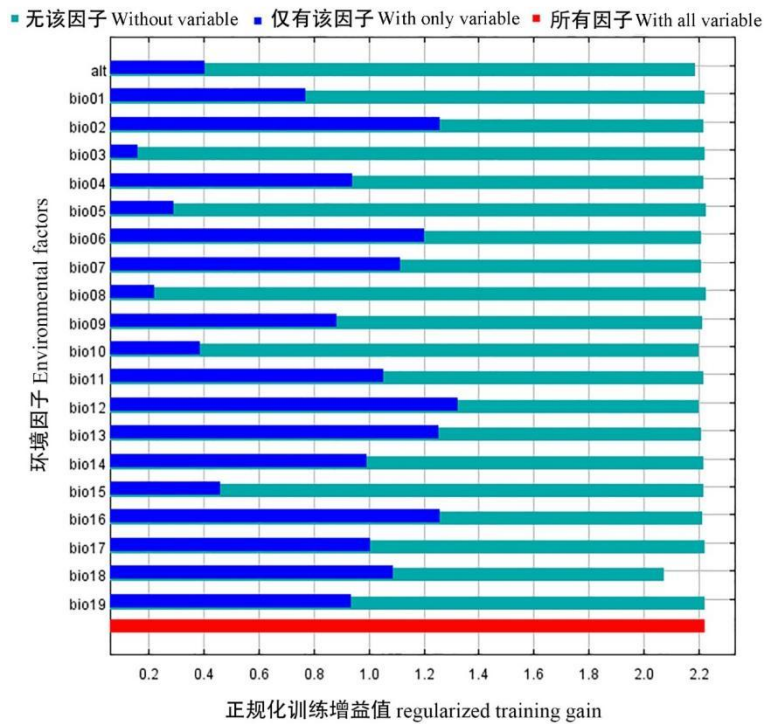
Appendix Table 2 The highly suitable habitats of the genus *Nosphistica* Meyrick, 1911

适生区间 Suitable range	面积 (万 km ²) Acreage	占国土面积百分比 (%) Percentage	适生区域 Main distribution
高适生区 High habitat suitability area	17.93	1.87	台湾; 重庆; 海南南部; 广西桂林市; 广东: 清远市、连州市; 云南: 景洪市、普洱市; 福建: 南平市、宁德市、三明市; 江西: 宜春市、抚州市、上饶市; 湖南: 怀化市、郴州市; 浙江: 丽水市、台州市、衢州市; 安徽: 安庆市、黄山市; 湖北宜昌市 Taiwan; Chongqing; Southern Hainan; Guangxi: Guilin; Guangdong: Qingyuan, Lianzhou; Yunnan: Jinghong, Pu'er; Fujian: Nanping, Ningde, Sanming; Jiangxi: Yichun, Fuzhou, Shangrao; Hunan: Huaihua, Chenzhou; Zhejiang: Lishui, Taizhou, Quzhou; Anhui: Anqing, Huangshan; Hubei: Yichang
中适生区 Moderate habitat suitability area	47.20	4.91	海南; 广西东北部; 贵州中北部; 广东北部; 云南南部; 福建中北部; 湖南西部及东南部; 浙江中南部; 安徽东南部; 湖北西南部; 陕西南部 Hainan; Northeast Guangxi; North-central Guizhou; Northern Guangdong; Southern Yunnan; Center and northern Fujian; Western and south-central Hunan; South-central Zhejiang; Southeast Anhui; Northwestern Hubei; Southern Shaanxi
低适生区 Low habitat suitability area	153.51	15.99	广西; 贵州; 云南; 福建; 江西; 湖南; 浙江; 湖北; 山东; 山西; 四川东部及南部; 安徽南部; 江苏东部; 河南西部; 河北东北部; 陕西中南部; 甘肃南部; 辽宁南部; 吉林东北部; 西藏南部 Guangxi; Guizhou; Yunnan; Fujian; Jiangxi; Hunan; Zhejiang; Hubei; Shandong; Shanxi; Eastern and southern Sichuan; Southern Anhui; Eastern Jiangsu; West Henan; Northeast Hebei; Southeast Shaanxi; Southern Gansu; Southern Liaoning; Northeast Jilin; Southern Tibet
非适生区 Unsuitable habitat area	741.30	77.23	新疆; 青海; 内蒙古; 宁夏; 黑龙江 Xinjiang; Qinghai; Inner Mongolia; Ningxia; Heilongjiang



附图 1 羽祝蛾属适生区分布预测精度

Appendix Fig. 1 Prediction accuracy of suitable area distribution of *Nosphistica* Meyrick, 1911



附图 2 “中间类群”预测中刀切法计算环境因子的增益值

Appendix Fig. 2 The “Intermediate taxa” calculates the gain value of environmental factors in the prediction

by cutting method