



澳大利亚外来昆虫组成及区系

段旭¹ 彭硕¹ 李志红¹ 赵紫华^{1,2*}

(1. 中国农业大学植物保护学院, 农业农村部植物检疫性有害生物监测防控重点实验室, 北京 100193;

2. 三亚中国农业大学研究院, 海南 三亚 572025)

摘要: 为明确澳大利亚外来昆虫物种组成及入侵区系, 以在线数据库、公开发表文献以及图书等资料为数据源集成澳大利亚外来昆虫数据集, 对其物种组成、原产地、空间分布、传入途径进行统计分析。结果显示, 收集的澳大利亚外来昆虫数据集共包括382种, 隶属于8目78科277属。鞘翅目昆虫的种类最多, 有325种, 其中象甲科昆虫最多, 有74种, 其次是隐翅甲科和叶甲科昆虫, 分别有27种和20种。澳大利亚外来昆虫主要来源于亚洲, 占外来昆虫原产地总记录频次的28.47%, 其次是欧洲和非洲, 占比分别为19.79%和16.32%。整体上来看, 澳大利亚外来昆虫丰富度呈现东高西低的空间分布格局, 密度呈现东南密西北疏的格局; 从传入途径来看, 无意传入的昆虫占91.89%, 有意传入的昆虫占8.11%, 且主要通过运输污染物和运输偷运物2种途径无意传入。基于澳大利亚外来昆虫现状, 考虑我国在全球气候变化背景下面临的跨境生物入侵威胁, 建议我国在外来物种入侵防控工作中加大口岸检疫监管力度, 规范引种管理, 同时加强防范入侵的宣传教育。

关键词: 澳大利亚; 外来昆虫; 物种组成; 原产地; 空间分布格局; 传入途径

The species composition and realms of alien insects in Australia

Duan Xu¹ Peng Shuo¹ Li Zhihong¹ Zhao Zihua^{1,2*}

(1. Key Laboratory of Surveillance and Management for Plant Quarantine Pests, Ministry of Agriculture and Rural Affairs,

College of Plant Protection, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. Sanya Institute

of China Agricultural University, Sanya 572025, Hainan Province, China)

Abstract: To clarify the species composition and invasion realms of alien insects in Australia, this research conducted a statistical analysis on the species composition, origins, spatial distribution and introduction pathways based on online databases, public documents, and books. The results revealed a total of 382 alien insect species across eight orders, 78 families, and 277 genera in the databases. Coleoptera was the largest group, comprising 325 alien species, with Curculionidae playing a key role with 74 species. Following that, Staphylinidae and Chrysomelidae were the next largest groups with 27 and 20 alien species, respectively. The main origin of alien insects in Australia was Asia, accounting for 28.47% of the total recorded frequency, followed by Europe and Africa at 19.79% and 16.32%, respectively. The spatial pattern indicated higher species richness in the eastern region and lower species richness in the west. Southeast regions exhibited higher species density compared to northwest regions. Regarding pathways, 91.89% of alien insects were introduced through unintentional pathways, while 8.11% were intentionally introduced. Transport-containment and transport-stowaway were the two dominant unintentional pathways. Considering the current situation of alien insects in Australia and recognizing the threat of biological invasion faced by China in the context of global environmental changes, it is sug-

基金项目: “十四五”国家重点研发计划(2021YFC2600400)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: zhzhao@cau.edu.cn

收稿日期: 2023-09-06

gested that the Chinese government strengthen port quarantine supervision, standardize the introduction process, and enhance public education to prevent biological invasions.

Key words: Australia; alien insects; species composition; origin; spatial distribution pattern; pathway

外来物种是指出现在其过去或现在自然分布范围及扩散潜力以外(即在无直接、间接引入或人类照顾之下而不能分布)的物种、亚种或以下的分类单元,包括其所有可能存活、继而繁殖的部分、配子或繁殖体(万方浩等,2015)。外来物种不断扩散可进一步发展成为入侵物种,严重威胁土著生物多样性,破坏当地的生态系统,进而影响人类健康并阻碍经济社会发展(胡淑恒等,2003;夏大庆等,2005;赵紫华等,2019)。当前,外来物种入侵已经成为世界性的重要环境问题及热点议题。全球化进程促进了外来物种的跨境传入、定殖适生和扩散暴发,致使外来入侵物种的记录在全球范围内呈指数级增长,但远未饱和(Mormul et al., 2022)。外来物种入侵是全球生物多样性丧失的主要驱动因素,仅次于人类对栖息地的破坏,对全球生态安全和经济社会发展构成了巨大威胁(Bellard et al., 2017; Pyšek et al., 2020)。此外,外来物种也是导致岛屿物种灭绝的重要因素,其入侵热点也更倾向于岛屿地区(Dawson et al., 2017)。在外来物种的所有类群中,昆虫因其独特的生物学特性以及多样化的传播途径成为了最具入侵性的生物类群之一,且入侵成功率最高(齐国君和吕利华,2016; Seebens et al., 2017)。澳大利亚与其他大陆重洋相隔,地理位置上较孤立,生态系统脆弱,是全世界遭受外来物种入侵危害和全球生物多样性减少最严重的国家之一(黄波等,2022)。

独特的地理环境、气候条件和动植物进化过程使得澳大利亚具有特殊的生物多样性,特有昆虫约占昆虫总数的80%~90%(高正文,2006)。自18世纪以来,130余种外来物种随欧洲移民进入澳大利亚,导致了严重的生物入侵,造成了巨大的生态破坏及经济损失(黄波等,2022)。据统计,过去的200多年里,澳大利亚有50%的雨林、30%以上的森林和林地遭到毁灭,大量无脊椎动物灭绝,每年应对外来物种入侵的花费约为其国内农业生产总值的48%(吴金泉和Michael, 2010; 黄波等,2022)。据澳大利亚联邦科学与工业研究组织(Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, CSIRO)报告表明,若澳大利亚对入侵物种不采取任何行动,到2050年将面临新一轮土著物种灭绝浪潮。

基于澳大利亚外来物种入侵现状以及其带来的

严重威胁,掌握澳大利亚外来物种组成信息及入侵模式至关重要,尤其是有严重入侵后果的重要类群,在全球变化背景下,这也有助于我国应对伴随经济贸易及交通运输而来的愈加严峻的生物入侵威胁。当前关于外来物种的区系组成及其影响因素和管理措施的研究主要集中在植物(Groves, 2002; Murray & Phillips, 2012)、鸟类(Mironov et al., 2003)和海洋生物(Koehn & Mackenzie, 2004; 战晓薇, 2015; García-Díaz et al., 2018),对外来昆虫的相关研究较少。基于此,本研究通过查询在线数据库和文献资料集成澳大利亚外来昆虫名录,补充入侵相关信息,并对其物种组成、原产地、空间分布以及传入途径进行系统分析,掌握其入侵区系和入侵模式,以期各国共同应对生物入侵后果提供参考信息,也为我国外来昆虫预防措施的制订提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

数据来源:以澳大利亚境内所有外来昆虫为研究对象,在相关数据库和文献库输入“澳大利亚”“外来物种”“入侵物种”、外来昆虫的拉丁学名和中文学名等关键词进行搜集,并采用统一的研究指标整理数据,研究指标共有8项,分别为外来昆虫的拉丁学名、中文学名、分类信息、出现记录、原产地、空间分布、传入途径以及栖息地。外来昆虫拉丁学名参考全球入侵物种资料库(global invasive species database, GISD)(<http://www.iucngisd.org/gisd/>)、《全球引进和入侵物种登记册——澳大利亚》及Seebens et al.(2020)文献,中文学名、原产地、传入途径及栖息地数据采集自国际应用生物科学中心入侵物种纲要(CABI compendium invasive species, CABI-CIS)(<https://www.cabidigitallibrary.org/product/qi>)、BugGuide.Net(<https://bugguide.net/node/view/15740>)和GISD等,以国门生物安全基础数据信息资源平台(<http://www.pestchina.com/#/>)和中国生物志库·动物(<https://species.sciencereading.cn/biology/v/botanyIndex/122/DW.html>)作为补充。澳大利亚外来昆虫的空间分布格局和出现记录等通过全球生物多样性信息网络(global biodiversity information facility, GBIF)(<https://www.gbif.org/>)和澳大利亚生物多样

性数据库(<https://www.ala.org.au/>)进行查询。在此基础上,利用图书馆馆藏信息资源包括中国知网、万方知识数据服务平台、Web of Science和纸质书籍等对基础信息不全的外来昆虫进行信息查询和补充,以“0-1”标注方式将数据储存在Excel中。

供试软件:Origin Pro 2021由中国农业大学植物保护学院植物检疫与入侵生物学实验室提供。

1.2 方法

1.2.1 澳大利亚外来昆虫数据库建立及物种组成分析

使用Excel建立澳大利亚外来昆虫名录,删除名录中有明显错误的学名后,基于Excel去重复功能对收集到的外来昆虫学名进行初步的去重复,然后采用R 4.3.0语言的rgbif包进行物种状态查询,保留“Accepted”状态的物种,对“Doubtful”以及“Synonym”物种进行进一步校正,校正后再次进行去重复,确定外来昆虫清单,合并重复物种关联数据。基于该外来昆虫名单中的标准学名,使用R 4.3.0软件的rgbif包补充其目、科、属的分类信息,完成澳大利亚外来昆虫数据集的构建。同时,基于出现频次统计澳大利亚外来昆虫的物种组成情况。

1.2.2 澳大利亚外来昆虫的原产地分析

针对收集到的原产地信息,依据GISD所包含的国家和地区进行分类,将其标准化至全球7个大洲,部分外来昆虫的原产地不只局限于某一大洲,因此以频次为单位进行原产地的统计分析,即某一物种在某地区出现的频次(龚治等,2021;严靖等,2021)。针对原产于特殊区域的外来昆虫,基于文献制订统一标准,将其归类于所涉及大洲,如将原产地为地中海地区和古北界的外来昆虫计为原产于欧洲、亚洲和非洲,原产地为热带美洲的外来昆虫计为原产于北美洲和南美洲,原产地为旧世界热带的外来昆虫计为原产于亚洲、非洲和大洋洲,原产地为加勒比海地区和中美洲的外来昆虫计为原产于北美洲(宋昱东等,2022)。基于统计的频次计算澳大利亚外来昆虫的原产地数据,利用Origin Pro 2021软件将澳大利亚外来昆虫的原产地数据可视化。

1.2.3 澳大利亚外来昆虫的空间分布格局分析

对于澳大利亚外来昆虫的分布信息,以物种丰富度进行表征,并以其行政区划进行区分,包括西澳大利亚州、北领地、昆士兰州、南澳大利亚州、新南威尔士州、维多利亚州和塔斯马尼亚州7个州,因首都地区被新南威尔士州包围且占地面积较小,为方便统计,将分布在首都地区的外来昆虫统一归为分布于新南威尔士州。利用单位面积的物种丰富度即物

种密度来分析外来昆虫在澳大利亚的空间分布格局,排除各行政区划面积大小对物种丰富度的影响(Liu et al., 2019),使用Origin Pro 2021软件绘制双Y轴柱状-点线图将物种丰富度和物种密度数据可视化。

1.2.4 澳大利亚外来昆虫的传入途径分析

外来入侵物种的传入途径一般分为释放、逃逸、运输污染物、运输偷运物、廊道和自然扩散6种途径(Hulme et al., 2008; Wilson et al., 2009; CBD, 2014),其中向大自然的释放属于有意的引进,而其余5种途径一般指无意的引进。栖息地分为淡水、陆地、海洋和盐地(Molnar et al., 2008; Panov et al., 2009),在Excel里以各传入途径和栖息地类型为列,采用“0-1”方式进行标注,涉及到的传入途径标记为“1”,不涉及的标记为“0”。在已有的澳大利亚外来昆虫传入途径数据的基础上,使用Origin Pro 2021软件绘制雷达图实现传入途径数据的可视化。

2 结果与分析

2.1 澳大利亚外来昆虫的物种组成

澳大利亚外来昆虫数据集中共包含382种,隶属于8目78科277属。从目的组成来看,鞘翅目是第1大类群,有325种外来昆虫,占澳大利亚外来昆虫总数的85.08%;其次是膜翅目,有23种外来昆虫,占比为6.02%;双翅目和半翅目的外来昆虫数量相近,分别有14种和10种;鳞翅目、弹尾目、蜚蠊目和缨翅目的外来昆虫数量均低于10种,其中蜚蠊目和缨翅目仅有1种。从科的组成来看,象甲科是澳大利亚外来昆虫最主要的类群,有74种外来昆虫,占澳大利亚外来昆虫总数的19.37%;包含20~30种外来昆虫的科有隐翅甲科和叶甲科,分别有27种和20种,占澳大利亚外来昆虫总数的7.07%和5.24%;包含10~19种外来昆虫的科有拟步甲科、天牛科、皮蠹科、露尾甲科、阎甲科、长蠹科、蚁科和蛛甲科8科,以上科与象甲科、隐翅甲科及叶甲科共同构成澳大利亚外来昆虫的主体,共计231种,超过其外来昆虫总数的一半,达到60.47%;包含2~9种外来昆虫的有28科,为金龟科、实蝇科、水龟甲科、甲科、叩甲科、椰象鼻虫科、缨甲科、吉丁科、瓢甲科、蚊形甲科、蜜蜂科、长角象甲科、薪甲科、扁谷盗科、木蓍甲科、蚊科、拟天牛科、蚜科、肖叶甲科、卷蛾科、三锥象甲科、瘦蚊科、紫跳科、谷盗科、锯谷盗科、螺赢科、窃蠹科和胡蜂科;仅包含1种外来昆虫的有角甲科、缘蝽科、细蛾科、粉虱科和花萤科等39科。

在已有出现记录的182种外来昆虫中,记录次数超过1 000次的共有5种,分别为鞘翅目的九星瓢虫 *Coelophora inaequalis* 和斑圆头犀金龟甲 *Cyclocephala signaticollis*、膜翅目的西方蜜蜂 *Apis mellifera* 和德国黄胡蜂 *Vespula germanica* 以及双翅目的昆士兰果蝇 *Bactrocera tryoni*,其中西方蜜蜂记录

次数高达18 460次。记录次数介于500至1 000次的有3种,分别是长角立毛蚁 *Paratrechina longicornis*、扎氏果实蝇 *Bactrocera jarvisi* 和柳褐毛萤叶甲 *Pyrrhalta luteola*。记录次数超过300次但低于500次的有9种(表1),介于50至300次之间的有35种,其余的130种外来昆虫的记录次数均低于50次。

表1 澳大利亚出现记录次数超过300次的外来昆虫名单

Table 1 List of alien insects recorded over 300 times in Australia

物种名 Species	目 Order	科 Family	记录次数 Number of records	国内是否分布 Domestic distribution or not
西方蜜蜂 <i>Apis mellifera</i>	膜翅目 Hymenoptera	蜜蜂科 Apidae	18 460	是 Yes
九星瓢虫 <i>Coelophora inaequalis</i>	鞘翅目 Coleoptera	瓢虫科 Coccinellidae	2 744	是 Yes
德国黄胡蜂 <i>Vespula germanica</i>	膜翅目 Hymenoptera	胡蜂科 Vespidae	2 081	是 Yes
斑圆头犀金龟甲 <i>Cyclocephala signaticollis</i>	鞘翅目 Coleoptera	金龟子科 Scarabaeidae	1 511	否 No
昆士兰果蝇 <i>Bactrocera tryoni</i>	双翅目 Diptera	果蝇科 Tephritidae	1 047	否 No
长角立毛蚁 <i>Paratrechina longicornis</i>	膜翅目 Hymenoptera	蚁科 Formicidae	571	是 Yes
扎氏果实蝇 <i>Bactrocera jarvisi</i>	双翅目 Diptera	实蝇科 Tephritidae	555	否 No
柳褐毛萤叶甲 <i>Pyrrhalta luteola</i>	鞘翅目 Coleoptera	叶甲科 Chrysomelidae	502	否 No
香蕉果实蝇 <i>Bactrocera musae</i>	双翅目 Diptera	实蝇科 Tephritidae	481	否 No
地中海实蝇 <i>Ceratitidis capitata</i>	双翅目 Diptera	实蝇科 Tephritidae	466	否 No
褐肩果实蝇 <i>Bactrocera neohumeralis</i>	双翅目 Diptera	实蝇科 Tephritidae	456	否 No
欧洲熊蜂 <i>Bombus terrestris</i>	膜翅目 Hymenoptera	蜜蜂科 Apidae	435	否 No
欧洲根小蠹 <i>Hylastes ater</i>	鞘翅目 Coleoptera	象甲科 Curculionidae	398	否 No
阿根廷蚁 <i>Linepithema humile</i>	膜翅目 Hymenoptera	蚁科 Formicidae	356	否 No
桃蛀螟 <i>Conogethes punctiferalis</i>	鳞翅目 Lepidoptera	草螟科 Crambidae	344	是 Yes
烟粉虱 <i>Bemisia tabaci</i>	半翅目 Hemiptera	粉虱科 Aleyrodidae	331	是 Yes
纺星花金龟 <i>Protaetia fusca</i>	鞘翅目 Coleoptera	金龟子科 Scarabaeidae	315	是 Yes

2.2 澳大利亚外来昆虫的原产地分布

数据集中共有187种外来昆虫可以检索到其原产地信息,共记录到288次,其中,亚洲是澳大利亚外来昆虫最主要的来源地,记录频次为82次,占澳大利亚外来昆虫原产地总记录频次的28.47%。欧洲是澳大利亚外来昆虫的第2大来源地,记录频次为57次,占比为19.79%。之后依次为非洲、北美洲、大洋洲(不包含澳大利亚)和南美洲,记录频次分别为47、43、32和27次,占比分别为16.32%、14.93%、11.11%和9.38%(图1)。

2.3 澳大利亚外来昆虫的空间分布格局

澳大利亚382种外来昆虫中,通过查询得到空间分布信息的有208种。从外来昆虫丰富度来看,丰富度较高的地区主要是昆士兰州和新南威尔士州,两者均超过100种,分别为118种和109种。随后依次是维多利亚州、南澳大利亚州、西澳大利亚州以及北领地,丰富度分别为94、73、71和54种。丰富度最低的地区是塔斯马尼亚州,只有37种,占澳大利亚外来昆虫总数的9.69%。从外来昆虫密度来

看,密度最高的地区是塔斯马尼亚州,维多利亚州和新南威尔士州次之,密度相对较低的地区是昆士兰州、北领地及西澳大利亚州(图2),表明东部地区是澳大利亚外来昆虫的主要分布地。

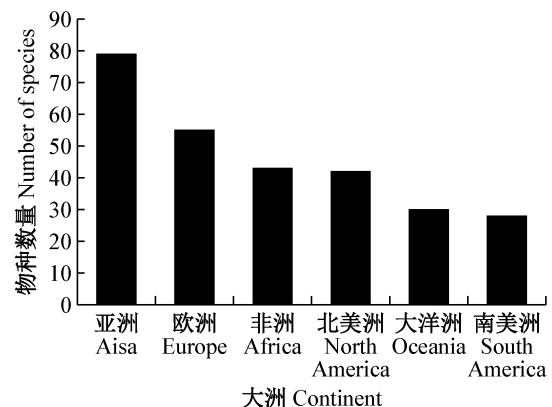


图1 澳大利亚外来昆虫的原产地分布

Fig. 1 The origin of alien insects in Australia

2.4 澳大利亚外来昆虫的传入途径

数据集中共有37种外来昆虫获得传入途径信

息,其中通过运输污染物的方式进入到澳大利亚的外来昆虫数量最多,有28种,占澳大利亚已知传入途径外来昆虫总数的75.68%;通过运输偷运物的方式进入的外来昆虫较多,有17种,占比为45.95%;通过释放、逃逸、廊道及自然扩散进入的外来昆虫较少,均不足5种,占比分别为8.11%、8.11%、2.70%和2.70%(图3)。总体上看,无意传入所占比例超过了有意传入,两者占比分别为91.89%和8.11%。

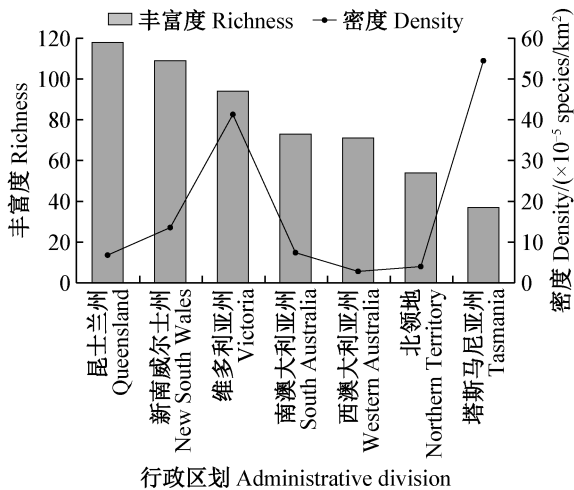


图2 澳大利亚外来昆虫的空间分布格局

Fig. 2 Spatial distribution patterns of alien insects in Australia

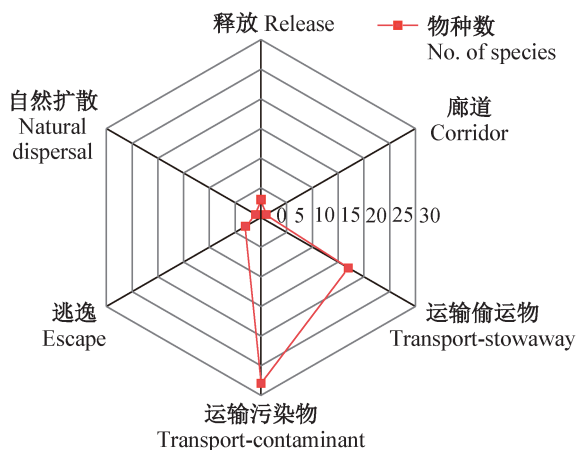


图3 澳大利亚外来昆虫的传入途径

Fig. 3 The pathways of alien insects in Australia

3 讨论

中生代末期的地壳运动使得澳大利亚成为了一座孤岛,其在生物进化历程中相对独立,有自己非常完整且独特的生态系统,独特的生物地理特征也带来了生态系统的脆弱性,极易受到外来物种的入侵。本研究共收集到澳大利亚外来昆虫382种,物种多样性丰富,具有明显的优势科现象,其中象甲科为优势科,其次是隐翅甲科、叶甲科和拟步甲科,均

属于昆虫纲乃至动物界种类最多、分布最广的鞘翅目(梁振等,2017)。鞘翅目作为外来昆虫的优势类群主要是由其生物学特性决定的,鞘翅目昆虫的适应性强,可以在除海洋外的沙漠、洞穴以及海岸地带等各式各样的生态环境中生活(梁振等,2017)。此类昆虫食性复杂且广泛,包括植食性的象甲科和叶甲科、腐食性的阎甲科以及兼具腐食性、捕食性和寄生性的隐翅甲科等,具有较强的食物利用能力(施宗伟和姚文国,2004)。此外,鞘翅目昆虫体壁坚实,前翅的鞘翅一定程度上能够抵御天敌的进攻,后翅的膜翅可以远距离飞翔,进而加快其扩散速率。因此,鞘翅目昆虫更能在澳大利亚先天优越的地理环境中定殖扩散,进一步入侵为害。

分析澳大利亚外来昆虫的原产地可知,亚洲、欧洲和非洲是其主要原产地。一方面,亚洲南部的热带季风气候、热带雨林气候、热带沙漠气候,非洲的热带草原气候、热带沙漠气候以及地中海地区周围大陆的地中海气候与澳大利亚气候类型几乎一致,气候匹配使得来自亚洲、欧洲和非洲的昆虫更容易在澳大利亚定殖;而且澳大利亚全境与非洲处于同一纬度,地理位置上靠近亚洲,与印度尼西亚仅一水之隔,天然屏障的地理隔离作用易被打破,促进了外来昆虫的传入及扩散过程。这与吴彤等(2007)研究发现相似的地理位置和气候特征更有利于外来物种定殖的结论相符。另一方面,国际贸易、旅游业以及全球经济一体化的迅猛发展也加速了外来昆虫入侵澳大利亚的进程,澳大利亚加入了亚太自由经济贸易组织,并与130多个国家和地区建立了贸易关系,签署了数百项双边和多边自由贸易协定,跨国、跨区域交流不断增加。且澳大利亚的主要贸易国家也集中在亚欧地区,包括中国、日本、韩国、新加坡、泰国和英国等。此外,近年来澳大利亚海外游客人数总体呈上升趋势,且游客主要来自中国、印度和英国等亚欧国家。日渐密切的国际经济文化交往、贸易交流为原产于亚洲、欧洲和非洲的昆虫入侵到澳大利亚创造了更多的机会,提供了更有利的条件。

本研究结果表明,从丰富度上来看,外来昆虫在澳大利亚的地理分布总体上呈现东高西低的空间分布格局;而从密度上来看,外来昆虫总体上呈现由东南往西北逐渐减少的趋势。形成此空间分布格局的原因可能有2个。一是与自然环境影响有关,澳大利亚地势东西高中间低,东部是山区,全区气候湿润,生境异质性高,适宜于不同来源的多种昆虫定殖,而中部是干旱平原区,西部是荒漠区,北部是夏雨区,气

候干燥,植被稀疏,因此外来昆虫种类相对较少。Williamson(1996)研究也表明,对于外来物种来说,自然环境影响外来物种的扩散、入侵和定殖。二是与对外交流程度有关,澳大利亚旅游资源丰富,大堡礁、石灰岩海岸、黄金海岸和悉尼歌剧院等著名旅游景点均位于澳大利亚东部地区,堪培拉、布里斯班、悉尼和墨尔本等主要城市同样位于东部地区,导致东部地区的人员流动量远超其他地区,同时大量人流会携带更多外来昆虫进入当地的生态系统,从而为外来昆虫的扩散或入侵提供机会。此外,新南威尔士州和维多利亚州的海陆空运输非常发达,拥有多个商业性港口,与不同地区间的交流十分便捷,而交通网络的建设可能破坏原有生境,形成空生态位便于外来昆虫定殖,同时交通道路是外来昆虫传播的重要途径之一(赵彩云等,2019),这些都大大提高了外来昆虫迁移扩散的可能性(Forman, 2000; Parendes & Jones, 2000; Trombulak & Frissell, 2000)。

日渐发达的交通网络和愈发频繁的贸易往来使得外来入侵物种传入和扩散途径更加多样化和隐蔽化(李志红等, 2022; 孙双艳等, 2022), 在外来昆虫统计中无意传入所占比例超过了有意传入, 特别是运输污染物和运输偷运物2种途径。这是因为与其他外来物种相比, 昆虫纲的物种体型较小, 多具钻蛀性, 易隐藏在进口的粮食、木材、种子、水果和土壤中, 亦或是隐藏在游客及行李上侵入到进口地, 在检疫过程中不易被察觉(彭硕等, 2021)。象甲、天牛及小蠹虫通常藏于进口木材中, 实蝇类害虫通常藏于进口水果中(施宗伟和姚文国, 2004; 杨红珍和李湘涛, 2016)。例如, 原产于亚洲的小圆胸小蠹 *Euwallacea fornicatus* 和原产于美洲的可可材小蠹 *Xyleborus volvulus* 是藏于木材和木质包装材料(如垫料和板条箱)中意外传入(Schedl, 1964; Bierman et al., 2023), 香蕉果实蝇 *Bactrocera musae* 是通过藏于进口的水果和蔬菜或航空公司乘客携带的香蕉意外传入(Putulan et al., 2004)。Wong et al. (2023) 研究结果表明, 澳大利亚的外来蚂蚁绝大部分仅通过运输进入且能够克服所有地理、人口和环境障碍, 在户外环境中建立非本土种群。本研究中澳大利亚的12种外来蚂蚁也几乎都是通过运输进入澳大利亚, 细足捷蚁 *Anoplolepis gracilipes* 和小火蚁 *Wasmania auropunctata* 还可人为引入用于生物防治, 其中已有10种外来蚂蚁演变为入侵昆虫, 严重影响了澳大利亚原有的生态环境和居民健康(陈育和, 2005)。

澳大利亚382种外来昆虫中近70%的外来昆虫

在中国尚未发现, 目前仅有约20%的物种在中国有分布, 其中中国和澳大利亚共有且原产地不在中国的外来昆虫约占70%, 这些物种主要分布在澳大利亚的南澳大利亚州、新南威尔士州以及昆士兰州, 大多通过运输污染物和运输偷运物进入新的地区, 这2种途径均与国际贸易、航运及人类活动息息相关。而中国与澳大利亚贸易关系历史悠久, 特别是在能源和农牧产品领域, 且澳大利亚是中国天然气、铁矿石、羊毛、棉花和木材等工业原材料和农林产品的重要来源国(万静等, 2017)。中国与澳大利亚还是全球规模最大的双边海运贸易合作伙伴, 阿德莱德港、悉尼港和布里斯班港是该国与中国贸易交流的主要港口(佚名, 2021)。此外, 中国和澳大利亚经济互补性强, 其独特的风光和人文特色吸引了众多中国人去澳大利亚旅游、留学和工作(沈琪, 2020)。中澳日益紧密的贸易往来和旅游交流使得外来昆虫的传入途径形式多样, 可通过藏匿于粮食、水果、木材贸易、生境材料和船体污垢等无意进入我国。据报道, 我国海关和检验检疫部门在澳大利亚输华农林产品货物中多次截获双钩异翅长蠹 *Heterobostrychus aequalis* 和天牛等两国共有非原产于我国的昆虫以及昆士兰果蝇、澳洲蛛甲 *Ptinus tectus*、谷斑皮蠹 *Trogoderma granarium* 和南部松齿小蠹 *Ips grandicollis* 等尚未在我国分布的害虫, 在入境旅客携带物中截获地中海实蝇 *Ceratitis capitata* 和芒果果核象甲 *Sternochetus mangiferae* 等检疫性有害生物, 可见我国生物安全面临着严峻的挑战(万静等, 2017)。鉴于此, 针对我国外来物种入侵防控提出以下3点建议: 一是加大口岸或港口检疫监管力度, 特别是人流车流物流集中的地区, 基于桥头堡效应(Bertelsmeier & Keller, 2018; Liebhold et al., 2020), 应严格查验来源于南澳大利亚州、新南威尔士州以及昆士兰州易于外来昆虫藏匿的入境物品, 将外来昆虫阻挡在国门之外, 筑牢生物安全屏障; 二是规范引种管理, 对首次引进的昆虫在引入前要进行风险分析, 严格审批外来昆虫的引入, 引入后要强化使用管控, 对新发生的外来昆虫入侵抓早抓小, 阻截灭杀; 三是加强防控科普宣传, 利用全民国家安全教育日、国际生物多样性日等契机通过电视、短视频、技术培训活动等向大众普及外来昆虫入侵的防控知识, 从而增强防控外来昆虫入侵的意识。

参 考 文 献 (References)

Anonymous. 2021. Taking a look at China's trade 'down under'.

- Maritime China, (9): 62–62, 7 (in Chinese) [佚名. 2021. 中澳海运贸易回顾. 中国远洋海运, (9): 62–62, 7]
- Bellard C, Rysman JF, Leroy B, Claud C, Mace GM. 2017. A global picture of biological invasion threat on islands. *Nature Ecology & Evolution*, 1(12): 1862–1869
- Bertelsmeier C, Keller L. 2018. Bridgehead effects and role of adaptive evolution in invasive populations. *Trends in Ecology & Evolution*, 33(7): 527–534
- Bierman A, Roets F, Terblanche JS. 2023. Correction: population structure of the invasive ambrosia beetle, *Euwallacea fornicatus*, indicates multiple introductions into South Africa. *Biological Invasions*, 25(2): 635–636
- CBD. 2014. Pathways of introduction of invasive species, their prioritization and management. <https://www.cbd.int/doc/meetings/sbstta/sbstta-18/official/sbstta-18-09-add1-en.pdf>
- Chen YH. 2005. Negative effects of alien ants on Australia. *Science and Culture*, (2): 51 (in Chinese) [陈育和. 2005. 外来蚂蚁对澳大利亚的负面影响. 科技潮, (2): 51]
- Dawson W, Moser D, van Kleunen M, Kreft H, Pergl J, Pyšek P, Weigelt P, Winter M, Lenzner B, Blackburn TM, et al. 2017. Global hotspots and correlates of alien species richness across taxonomic groups. *Nature Ecology & Evolution*, 1: 186
- Forman RTT. 2000. Estimate of the area affected ecologically by the road system in the United States. *Conservation Biology*, 14(1): 31–35
- Gao ZW. 2006. Impression of environmental protection investigation in Australia. *Ecological Economy*, 22(11): 142–145 (in Chinese) [高正文. 2006. 澳大利亚环保考察印象. 生态经济, 22(11): 142–145]
- García-Díaz P, Kerecsy A, Unmack PJ, Lintermans M, Beatty SJ, Butler GL, Freeman R, Hammer MP, Hardie S, Kennard MJ, et al. 2018. Transport pathways shape the biogeography of alien freshwater fishes in Australia. *Diversity and Distributions*, 24(10): 1405–1415
- Gong Z, Ma GC, Wen HB, Peng ZQ. 2021. List of alien invasive insects in tropical regions of China. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 58(1): 27–48 (in Chinese) [龚治, 马光昌, 温海波, 彭正强. 2021. 我国热带地区外来入侵昆虫发生与分布. 应用昆虫学报, 58(1): 27–48]
- Groves RH. 2002. The impacts of alien plants in Australia.//Pimentel D. *Biological invasions: economic and environmental costs of alien plant, animal, and microbe species*. Washington: CRC Press, pp. 11–23
- Hu SH, Wang JQ, Nie L, He Q. 2003. Harm and prevention and cure of biological invasion. *Journal of Biology*, 20(5): 12–15 (in Chinese) [胡淑恒, 汪家权, 聂磊, 何琼. 2003. 生物入侵的危害及防治措施. 生物学杂志, 20(5): 12–15]
- Huang B, Li TJ, Li Y, Ding JL, Zhang LT, Zhou L. 2022. The enlightenment of Australia's experience in biodiversity conservation. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 39(1): 65–71 (in Chinese) [黄波, 李天娇, 李焯, 丁姣龙, 张落桐, 周莉. 2022. 澳大利亚生物多样性保护经验及其对我国的启示. 农业资源与环境学报, 39(1): 65–71]
- Hulme PE, Bacher S, Kenis M, Klotz S, Kühn I, Minchin D, Nentwig W, Olenin S, Panov V, Pergl J, et al. 2008. Grasping at the routes of biological invasions: a framework for integrating pathways into policy. *Journal of Applied Ecology*, 45(2): 403–414
- Koehn JD, MacKenzie RF. 2004. Priority management actions for alien freshwater fish species in Australia. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 38(3): 457–472
- Li ZH, Zhao ZH, Qin YJ, Liu LJ, Guo SK, Fan ZF, Song Z, Zhou T. 2022. Review on the research and application of prevention and control technologies on maize alien pests in China. *Journal of Plant Protection*, 49(5): 1283–1298 (in Chinese) [李志红, 赵紫华, 秦誉嘉, 柳丽君, 郭韶堃, 范在丰, 宋振, 周涛. 2022. 我国玉米外来物种入侵防控技术研究与应用. 植物保护学报, 49(5): 1283–1298]
- Liang Z, Zhang JH, Yang D, Chen NZ. 2017. Overview of alien insects intercepted at China ports from 2005 to 2015. *Plant Quarantine*, 31(6): 64–68 (in Chinese) [梁振, 张俊华, 杨定, 陈乃中. 2017. 2005—2015年我国口岸截获外来昆虫概况. 植物检疫, 31(6): 64–68]
- Liebhold AM, Keitt TH, Goel N, Bertelsmeier C. 2020. Scale invariance in the spatial-dynamics of biological invasions. *NeoBiota*, 62: 269–278
- Liu JJ, Lindenmayer DB, Yang WJ, Ren Y, Campbell MJ, Wu CP, Luo YQ, Zhong L, Yu MJ. 2019. Diversity and density patterns of large old trees in China. *Science of the Total Environment*, 655: 255–262
- Mironov SV, Dabert J, Proctor HC. 2003. New feather mites of the family Pterolichidae (Acari: Pterolichoidea) from parrots (Aves: Psittaciformes) in Australia. *Australian Journal of Entomology*, 42(2): 185–202
- Molnar JL, Gamboa RL, Revenga C, Spalding MD. 2008. Assessing the global threat of invasive species to marine biodiversity. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(9): 485–492
- Mormul RP, Vieira DS, Bailly D, Fidanza K, da Silva VFB, da Graça WJ, Pontara V, Bueno ML, Thomaz SM, Santos Mendes R. 2022. Invasive alien species records are exponentially rising across the earth. *Biological Invasions*, 24(10): 3249–3261
- Murray BR, Phillips ML. 2012. Temporal introduction patterns of invasive alien plant species to Australia. *NeoBiota*, 13: 1–14
- Panov VE, Alexandrov B, Arbaciauskas K, Binimelis R, Copp GH, Grabowski M, Lucy F, Leuven RSEW, Nehring S, Paunović M, et al. 2009. Assessing the risks of aquatic species invasions via European inland waterways: from concepts to environmental indicators. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 5(1): 110–126
- Parendes LA, Jones JA. 2000. Role of light availability and dispersal in exotic plant invasion along roads and streams in the H. J. Andrews Experimental Forest, Oregon. *Conservation Biology*, 14(1): 64–75
- Peng S, Li ZH, Zhao ZH. 2021. The species composition of non-native animals and cross-border risk in China. *Journal of Biosafety*, 30

- (4): 275–281 (in Chinese) [彭硕, 李志红, 赵紫华. 2021. 中国外来动物物种组成及跨境风险. 生物安全学报, 30(4): 275–281]
- Putulan D, Sar S, Drew RAI, Raghu S, Clarke AR. 2004. Fruit and vegetable movement on domestic flights in Papua New Guinea and the risk of spreading pest fruit-flies (Diptera: Tephritidae). *International Journal of Pest Management*, 50(1): 17–22
- Pyšek P, Hulme PE, Simberloff D, Bacher S, Blackburn TM, Carlton JT, Dawson W, Essl F, Foxcroft LC, Genovesi P, et al. 2020. Scientists' warning on invasive alien species. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 95(6): 1511–1534
- Qi GJ, Lü LH. 2016. Invasion status and geographic distribution patterns of major alien harmful insects of farmlands and forests in Guangdong Province, China. *Journal of Biosafety*, 25(3): 161–170 (in Chinese) [齐国君, 吕利华. 2016. 广东省农林重要外来有害昆虫的入侵现状及地理分布格局. 生物安全学报, 25(3): 161–170]
- Schedl KE. 1964. Three new species of Scolytidae from Australia, and some introduced Coleoptera: 224, contribution to the morphology and taxonomy of the Scolytoidea. *Proceedings of the Linnaean Society of New South Wales*, 89: 246–249
- Seebens H, Blackburn TM, Dyer EE, Genovesi P, Hulme PE, Jeschke JM, Pagad S, Pyšek P, Winter M, Arianoutsou M, et al. 2017. No saturation in the accumulation of alien species worldwide. *Nature Communications*, 8: 14435
- Seebens H, Clarke DA, Groom Q, Wilson JRU, García-Berthou E, Kühn I, Roigé M, Pagad S, Essl F, Vicente J, et al. 2020. A workflow for standardising and integrating alien species distribution data. *NeoBiota*, 59: 39–59
- Shen Q. 2020. Analysis on the characteristics of economic and trade relations between China and Australia. *Modern Economic Information*, (6): 59–60 (in Chinese) [沈琪. 2020. 中国与澳大利亚经贸关系特点浅析. 现代经济信息, (6): 59–60]
- Shi ZW, Yao WG. 2004. Elementary analysis on invasive characteristics of alien insect species and prevention strategy. *Entomological Knowledge*, 41(4): 371–374 (in Chinese) [施宗伟, 姚文国. 2004. 从口岸截获疫情浅析外来昆虫入侵特点和防范对策. 昆虫知识, 41(4): 371–374]
- Song YD, Ding ZW, Wang C, Pan XB, Cao CW. 2022. List and analysis of forestry invasive alien insects in China. *Plant Quarantine*, 36(5): 1–12 (in Chinese) [宋昱东, 丁子玮, 王聪, 潘绪斌, 曹传旺. 2022. 中国林业外来入侵昆虫名录及分析. 植物检疫, 36(5): 1–12]
- Sun SY, Li JJ, Zhou MH. 2022. How to effectively prevent the introduction of alien species. *China Customs*, (7): 76–77 (in Chinese) [孙双艳, 李建军, 周明华. 2022. 如何有效防范外来物种传入. 中国海关, (7): 76–77]
- Trombulak SC, Frissell CA. 2000. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology*, 14(1): 18–30
- Wan FH, Hou YM, Jiang MX. 2015. *Invasion biology*. Beijing: Science Press, pp. 35 (in Chinese) [万方浩, 侯有明, 蒋明星. 2015. 入侵生物学. 北京: 科学出版社, pp. 35]
- Wan J, Ma J, Hu XN, Lin L. 2017. Pest interception situation from Australian agricultural and wood products at entry port in China. *Journal of Biosafety*, 26(1): 98–102 (in Chinese) [万静, 马骏, 胡学难, 林莉. 2017. 澳大利亚输华农林产品口岸有害生物截获概况. 生物安全学报, 26(1): 98–102]
- Williamson M. 1996. *Biological invasions*. London: Chapman and Hall, pp. 244
- Wilson JRU, Dormontt EE, Prentis PJ, Lowe AJ, Richardson DM. 2009. Something in the way you move: dispersal pathways affect invasion success. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(3): 136–144
- Wong MKL, Economo EP, Guénard B. 2023. The global spread and invasion capacities of alien ants. *Current Biology*, 33(3): 566–571
- Wu JQ, Michael TS. 2010. Successful approaches for battling invasive species in developed countries. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 32(5): 1040–1055 (in Chinese) [吴金泉, Michael TS. 2010. 发达国家应战外来入侵生物的成功方法. 江西农业大学学报, 32(5): 1040–1055]
- Wu T, Li JX, Dai J, Wang RQ. 2007. Floristic characteristics and spatial distribution patterns of alien plants in Shandong Province. *Chinese Journal of Ecology*, 26(4): 489–494 (in Chinese) [吴彤, 李俊祥, 戴洁, 王仁卿. 2007. 山东省外来植物的区系特征及空间分布. 生态学杂志, 26(4): 489–494]
- Xia DQ, Xu G, Peng T, Sun XF. 2005. The analyses of biological invasion's harmfulness and causes. *Journal of Changchun Teachers College*, 24(2): 41–43 (in Chinese) [夏大庆, 徐刚, 彭涛, 孙秀锋. 2005. 生物入侵的危害及原因分析. 长春师范学院学报, 24(2): 41–43]
- Yan J, Yan XL, Li HR, Du C, Ma JS. 2021. Composition, time of introduction and spatial-temporal distribution of naturalized plants in East China. *Biodiversity Science*, 29(4): 428–438 (in Chinese) [严靖, 闫小玲, 李惠茹, 杜诚, 马金双. 2021. 华东地区归化植物的组成特征、引入时间及时空分布. 生物多样性, 29(4): 428–438]
- Yang HZ, Li XT. 2016. Overview of invasive alien insects and their control. *Biology Teaching*, 41(7): 2–4 (in Chinese) [杨红珍, 李湘涛. 2016. 外来入侵昆虫及其防控概述. 生物学教学, 41(7): 2–4]
- Zhan XW. 2015. *Legal regulation of marine invasive species prevention in Australia*. Master thesis. Qingdao: Ocean University of China (in Chinese) [战晓薇. 2015. 澳大利亚有关海洋入侵种防治的法律规制. 硕士学位论文. 青岛: 中国海洋大学]
- Zhao CY, Li JS, Liu F. 2019. Effects of different habitats on distribution of invasive alien grasses in Nabanhe River Basin National Nature Reserve, Yunnan Province. *Journal of Plant Protection*, 46(1): 114–121 (in Chinese) [赵彩云, 李俊生, 刘峰. 2019. 云南省纳板河流域国家级自然保护区不同生境对外来入侵草本植物分布的影响. 植物保护学报, 46(1): 114–121]
- Zhao ZH, Su M, Li ZH, Hui C. 2019. Invasion ecology of alien species. *Journal of Plant Protection*, 46(1): 1–5 (in Chinese) [赵紫华, 苏敏, 李志红, 惠苍. 2019. 外来物种入侵生态学. 植物保护学报, 46(1): 1–5]