环境昆虫学报　2025，47（5）：1509-1516
Journal of Environmental Entomology

http://hjkcxb.alljournals.net
doi：10.3969/j.issn.1674－0858.2025.05.16

吕蔚，纪霜，闫淑君，顾灵桢，程敏，胡文静．福州10种入侵草本植物访花昆虫组成及多样性［J］.环境昆虫学报，2025，47（5）：1509-1516. LV Wei, JI Shuang, YAN Shu-Jun, GU Ling-Zhen, CHENG Min, HU Wen-Jing. Composition and diversity of flower-visiting insects of 10 invasive herbaceous plants in Fuzhou［J］. *Journal of Environmental Entomology*，2025，47（5）：1509-1516.

福州10种入侵草本植物访花昆虫组成及多样性

吕　蔚[1]，纪　霜[1]，闫淑君[1,2*]，顾灵桢[1]，程　敏[1]，胡文静[1]
（1. 福建农林大学风景园林与艺术学院，福州 350002；2. 自然资源部东南生态脆弱区监测修复工程技术创新中心，福州 350001）

摘要：入侵植物的繁殖特征是决定其能否成功入侵的关键，昆虫的访花行为会影响植物的繁殖成功率。为探究入侵植物在繁殖方面的入侵机制，于2022年3-11月对福州10种入侵植物的访花昆虫进行观测，记录访花昆虫的物种、数量、访花次数及停留时间，计算访花昆虫群落的物种多样性指数，并构建植物—访花昆虫网络。结果表明：（1）10种入侵植物共有访花昆虫6目34科66种，双翅目拥有较高的物种多样性且访花停留时间最长，膜翅目的访花频率最高且访问次数最多；（2）植物—访花昆虫网络显示，部分入侵植物与访花昆虫之间有较强互相的依赖性，访花网络存在明显的嵌套结构，网络结构稳定；（3）入侵植物能够在入侵地获取多种访花昆虫资源，并建立较为稳定的互作关系。植物与访花昆虫的互作关系是外来植物的入侵机制之一，为防止外来入侵植物利用入侵地传粉资源进一步入侵，建议在植物开花前将其清除。

关键词：福州；入侵植物；访花昆虫；植物—访花昆虫网络
中图分类号：Q968.1　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674-0858（2025）05-1509-08

Composition and diversity of flower-visiting insects of 10 invasive herbaceous plants in Fuzhou

LV Wei[1], JI Shuang[1], YAN Shu-Jun[1,2*], GU Ling-Zhen[1], CHENG Min[1], HU Wen-Jing[1] (1. College of Landscape Architecture and Art, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Technology Innovation Center for Monitoring and Restoration Engineering of Ecological Fragile Zone in Southeast China, Ministry of Natural Resources, Fuzhou 350001, China)

Abstract: The reproductive characteristics of invasive plants are crucial determinants of their successful invasion, and the flower-visiting behavior of insects affects the reproductive success rate of plants. In order to explore the invasion mechanism of invasive plants in terms of reproduction, flower-visiting insects of 10 invasive plants in Fuzhou were observed from March to November 2022. The species, quantity, visitation frequency and residence time of flower-visiting insects were recorded, and the species diversity indices of flower-visiting insect communities were calculated, a plant-insect visitor network was constructed as well. The results showed that (1) the 10 invasive plants attracted a total of 66 species of flower-visiting insects from 6 orders, 34 families, among which Diptera had a high species diversity and longest residence time, while Hymenoptera visited flowers with the highest frequency and the most frequent visits. (2) The plant-insect visitor network revealed that there was a strong mutual dependence between certain invasive plants and flower-visiting insects, and there was an obvious nested structure indicating network stability. (3) The

基金项目：福建省自然资源科技创新项目资金（KY-090000-04-2022-014）
作者简介：吕蔚，女，硕士研究生，研究方向为园林植物与应用，E-mail：1476066675@qq.com
*通讯作者 Authors for correspondence：闫淑君，女，教授，研究方向为城市植被生态学，E-mail：fjyansj@126.com
收稿日期Received：2023-03-31；修回日期Revision received：2024-09-16；接受日期Accepted：2024-09-19

results further indicated that invasive plants could obtain a variety of flower-visiting insect resources in the invasion area and establish a relatively stable interaction relationship. The interaction between plants and flower-visiting insects is one of the invasion mechanisms of alien plants. To prevent further invasions by invasive alien plants by local pollination resources, we recommend removing plants before flowering.

Key words: Fuzhou; invasive plant; flower-visiting insect; plant-insect visitor network

外来植物的入侵会对当地的生物多样性、生态安全、社会经济发展和人类健康构成严重威胁（刘艳杰等，2022）。访花昆虫是植物异花授粉的重要媒介之一（纪霜等，2023），访花者的访花行为影响了植物物种的繁殖成功率（龚燕兵和黄双全，2007；洪岚等，2011）。对于外来入侵植物种而言，与繁殖有关的特征将直接影响其定居及蔓延速度，是决定其能否成功入侵的关键（郭玉莹等，2023）。例如，入侵植物早生一枝黄花 *Solidago gigantea* 和加拿大一枝黄花 *Solidago canadensis* 可以吸引大量访花昆虫为其提供授粉（Lysenkov and Ustinova，2020）；国际性入侵仙人掌属 *Opuntia* spp.植物通过吸引大量本地传粉媒介，帮助它们快速“融入”当地传粉网络（Padrón *et al.*，2009；Parra-Tabla and Arceo-Gómez，2021）。植物与传粉者的共生关系在植物入侵过程中起推进作用（侯清晨等，2022），植物与访花昆虫的互作关系也是外来物种的入侵机制之一，外来植物能够利用入侵地访花昆虫资源是该入侵机制的首要条件。因此，本研究以入侵植物的访花昆虫组成特征为切入点，探讨两者间的互作关系，为预防入侵植物大量繁衍及快速扩散提供更多思路。

国内有关入侵植物繁殖策略对入侵进程的影响及其生态学原理等方面尚缺乏深入研究（孙士国等，2018），预测性地了解入侵物种对传粉服务的影响尤为重要（Parra-Tabla and Arceo-Gómez，2021），有学者认为需要对入侵植物和访花生态学进行更多的研究（Stout and Tiedeken，2017）。因此，本研究以福建农林大学的中华名特优植物园为研究区域，以10种常见开花入侵草本植物为研究对象，调查入侵植物的访花昆虫种类及访花行为，从植物—昆虫访花网络的角度，探究入侵植物对本地昆虫的利用程度及两者之间的互作关系，以期为城市入侵植物防治、绿地的有效管理与生物多样性保护提供参考。

1 研究区域概况及研究方法

1.1 研究区域概况

本研究以福建农林大学（34°11′45"N~35°01′20"N，113°52′15"E~115°15′42"E）中华名特优植物园内的开花入侵草本植物为主要观测对象。福建农林大学位于福建省福州市，福州地处中国东南沿海，属亚热带季风气候，夏长冬短，四季常青，年平均气温20~25℃，年平均降水量900~2 100 mm。中华名特优植物园位于福建农林大学金山校区的中心区域，占地面积64 400m²，作为植物学教学实验基地，园中植物种类繁多。园区南部为两块开阔平坦、人工维护频率低的相邻大草坪，草坪周边存在多处开阔的空闲绿地。这些绿地景观以草坪草为主的单一植物配置形式，为外来植物入侵及研究观测提供良好的条件。

1.2 研究材料

选择研究区域生长的10种入侵开花草本植物为观测对象，它们各自成片生长于上述的草坪及其周边空地中，包括一年蓬 *Erigeron annuus*、白花鬼针草 *Bidens alba*、白车轴草 *Trifolium repens*、百日菊 *Zinnia elegans*、剑叶金鸡菊 *Coreopsis lanceolata*、南美蟛蜞菊 *Sphagneticola trilobata*、藿香蓟 *Ageratum conyzoides*、牛膝菊 *Galinsoga parviflora*、蛇目菊 *Sanvitalia procumbens* 和鳢肠 *Eclipta prostrata*。

1.3 研究方法

1.3.1 样方选择及调查方法

于2022年3月-11月，在各开花入侵草本植物密布面积不小于4 m²的区域选取一个样方（1 m × 1 m），避免样方内含盖乡土开花植物，在每个样方中选取10个处于盛花期的入侵植物花单位（一个头状花序或一个总状花序视为一个花单位）进行挂牌标记，共计选取68个样方，680个花单位。于晴天8:00-18:00观察所标记花单位的访花昆虫物种、数量以及昆虫的访花次数、单花停留时间

表1 10种入侵草本植物特征

Table 1 Characteristics of 10 invasive herbaceous plants

植物 Plants	科 Family	花期（month）Florescence	花型 Inflorescence type	花色 Color of flowers	花朵开放高度（cm）Flower height
一年蓬 *Erigeron annuus*	菊科 Asteraceae	4~9	头状花序 Capitulum	黄、白色 Yellow and white	56.84 ± 12.13
白花鬼针草 *Bidens alba*	菊科 Asteraceae	3~11	头状花序 Capitulum	黄、白色 Yellow and white	41.11 ± 10.95
南美蟛蜞菊 *Sphagneticola trilobata*	菊科 Asteraceae	3~11	头状花序 Capitulum	黄色 Yellow	33.41 ± 5.38
剑叶金鸡菊 *Coreopsis lanceolata*	菊科 Asteraceae	5~10	头状花序 Capitulum	黄色 Yellow	58.12 ± 9.67
牛膝菊 *Galinsoga parviflora*	菊科 Asteraceae	6~11	头状花序 Capitulum	黄、白色 Yellow and white	38.57 ± 5.95
藿香蓟 *Ageratum conyzoides*	菊科 Asteraceae	3~11	头状花序 Capitulum	紫色 Purple	54.69 ± 6.33
蛇目菊 *Sanvitalia procumbens*	菊科 Asteraceae	5~9	头状花序 Capitulum	黑、黄色 Black and yellow	43.27 ± 6.87
百日菊 *Zinnia elegans*	菊科 Asteraceae	6~9	头状花序 Capitulum	黄色 Yellow	38.48 ± 3.67
鳢肠 *Eclipta prostrata*	菊科 Asteraceae	6~11	头状花序 Capitulum	白色 White	30.21 ± 3.46
白车轴草 *Trifolium repens*	豆科 Fabaceae	3~10	总状花序 Raceme	白色 White	36.32 ± 3.45

注：表中花期为观测时间内植物的开花时间。Note: The flowering periods in the table represented the flowering times of the plants during the observation period.

（微小或肉眼不可见的昆虫不计入观察范围）。每1 h观察一次，每天观察10次，每次观察30 min，每种植物每月连续观察5 d（雨天顺延），访花频率从访花昆虫降落在花上活动开始，用秒表记录其5 min内访花次数，重复60次；停留时间从访花昆虫第一次降落在一朵花上开始，到其离开花朵停止计时，重复60次（龚燕兵和黄双全，2007；洪岚等，2011）。本研究仅对白天访花昆虫进行了观测，不涵盖夜间访花昆虫。

1.3.2 昆虫鉴定

用相机、手机等电子设备拍摄访花昆虫图片及其在花上运动轨迹或将昆虫网捕带回实验室内。通过《中国昆虫生态大图鉴》、《福建昆虫志》、线上数据库及请教专家等进行鉴定，所有的昆虫标本鉴定到物种水平。

1.3.3 多样性指数

选取多样性指数、均匀度指数和优势度指数研究访花昆虫群落的物种多样性（韩艺茹等，2022）。Shannon-Wiener多样性指数：$H' = -\sum P_i(\ln P_i)$；Pielou均匀度指数：$E = H'/\ln S$；Margalef丰富度指数：$R = (S-1)/\ln A$；Simpson优势度指数：$D = 1-\sum P_i^2$；式中P_i为第i个物种的个体数占总个体数的比例，S为昆虫群落的所有物种数目，A为采集样品中的所有种类总个体数。

1.3.4 访花网络构建及分析

使用R（4.1.0版本）软件中的"bipartite"包，以植物和访花昆虫为节点，以访花昆虫对植物的访花次数为链接，构建访花网络。部分访花昆虫的出现次数少于5，在构建网络时，将这些偶然出现的昆虫剔除，仅保留出现次数大于等于5次的13种昆虫。

使用"specieslevel"函数计算物种强度（Species strength，SS）、归一化点度（Normalized degree，ND）和特化水平（Specialization level，SL）。物种强度是单一物种所有连接的强度之和，主要以相对访问频率来衡量，又可以分为动物对植物的依赖性和植物对动物的依赖性两种（Bascompte *et al.*，2006）。归一化点度范围为0~1，0表示植物与访花昆虫的互作低，1表示植物与访花昆虫的互作高。物种特化水平指数（d′）取值范围介于0和1之间，0表示最泛化，1表示最特化。

使用"networklevel"函数来计算网络的嵌套性（Nestedness，N），嵌套结构用网络的嵌套温度（Nestedness temperature，NT）表示，嵌套度取值范围0~100，0表示网络具有完全嵌套的结构，100

表示完全不嵌套。另外还计算了网络的加权嵌套度（Weighted nestedness，WN），取值范围为0~1，0表示网络不存在嵌套结构，1表示网络具有完美的嵌套结构（土艳丽等，2019）。

2 结果与分析

2.1 访花昆虫物种组成及多样性

2.1.1 访花昆虫物种组成特征

10种外来入侵草本植物的访花昆虫共有6目34科66种，包括双翅目9科20种、膜翅目7科19种、鳞翅目7科12种、半翅目6科7种、鞘翅目3科4种、直翅目3科4种。南美蟛蜞菊的访花昆虫种类最多，共有访花昆虫6目20科25种；其次为白花鬼针草，访花昆虫共5目14科21种；鳢肠访花昆虫种类最少，共2目2科2种（见表1）。

2.1.2 访花昆虫物种多样性

对比入侵草本植物的各访花昆虫类群（表3），双翅目拥有较高的物种多样性。入侵植物访花昆虫Shannon-Wiener多样性指数最高的是双翅目（2.489），其次是鳞翅目（1.727）、膜翅目（1.677）等，半翅目Shannon-Wiener多样性指数最低（1.340）；双翅目的Margalef丰富度指数最高值（3.592），其次是膜翅目（2.927）等，鳞翅目的则为最低（1.988）；鞘翅目Pielou均匀度指数最高（0.963），其次是双翅目（0.878）等，膜翅目Pielou均匀度指数最低（0.580）。可见，入侵植物对较多双翅目昆虫有吸引作用。

2.2 入侵植物访花昆虫的访花行为特征

鳞翅目、膜翅目和双翅目是访问外来入侵植物的常见类群，对其访花行为进行分析发现：膜翅目是平均访花频率最高的类群（8.03次/min），其次是鳞翅目（2.99次/min），双翅目平均访花频率最低（2.03次/min）。花朵平均停留时间膜翅目最短（8.31 s），其次是鳞翅目（19.26 s），双翅目平均停留时间和鳞翅目差别不大（20.69 s）。

2.2.1 昆虫日活动规律

对外来入侵植物访花昆虫日活动规律的分析发现（图1）：鳞翅目、膜翅目和双翅目都在8:00出现访花且访花日活动规律都呈现双峰型趋势。其中鳞翅目、膜翅目都在10:00–11:00出现第1次高峰，双翅目在9:00–10:00出现第1次高峰，膜翅目、双翅目均在15:00–16:00出现第2次高峰，鳞翅目在16:00–17:00出现第2次高峰。同时鳞翅目、膜翅目的访花昆虫数量也均高于蝇类。且3类访花昆虫在12:00–14:00时数量都表现出下降趋势。

表2 各入侵植物访花昆虫

Table 2 Composition of flower-visiting insects of each invasive plants

植物 Plants	目数量 No.of orders	科数量 No.of families	种数量 No.of species
南美蟛蜞 *Sphagneticola trilobata*	6	20	25
白花鬼针草 *Bidens alba*	5	14	21
一年蓬 *Erigeron annuus*	4	8	13
剑叶金鸡菊 *Coreopsis lanceolata*	3	7	9
蛇目菊 *Sanvitalia procumbens*	2	3	5
白车轴草 *Trifolium repens*	2	3	4
藿香蓟 *Ageratum conyzoides*	3	3	4
百日菊 *Zinnia elegans*	2	2	4
牛膝菊 *Galinsoga parviflora*	1	1	3
鳢肠 *Eclipta prostrata*	2	2	2
总计 Total	6	34	66

表3 入侵植物访花昆虫多样性指数分析

Table 3 Diversity indices of flower-visiting insects of invasive plants

访花昆虫 Flower-visiting insects	Shannon-wiener 多样性 (H')	Margalef 丰富度指数 (R)	Pielou 均匀度指数 (E)
双翅目 Diptera	2.489	3.592	0.878
膜翅目 Hymenoptera	1.677	2.927	0.580
鳞翅目 Lepidoptera	1.727	1.988	0.720
鞘翅目 Coleoptera	1.550	2.056	0.963
半翅目 Hemiptera	1.340	2.003	0.689
昆虫类群总和 All the insects	2.913	8.913	0.717

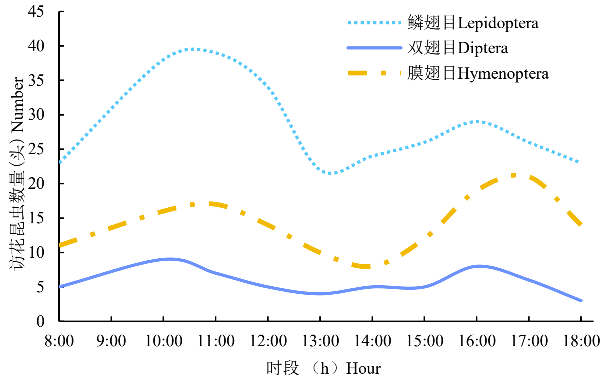

图1 外来植物访花昆虫日活动规律

Fig. 1 Day activity patterns of flower-visiting insects on exotic plants

2.2.2 植物—访花昆虫网络

基于10种入侵草本植物构建定量二元访花矩阵和访花网络（图2、表4），表明10种植物与13种访花昆虫共存在16 154次连接。访花昆虫最大连接量为6 281，植物最大连接量为3 853，分别由东方蜜蜂*Apis cerana*和一年蓬贡献。此外，东方蜜蜂与白车轴草的连接次数最多（1 715次），是连接强度最大的互惠连接。访花网络的嵌套度为19.265，访花网络具有显著的嵌套性；网络的特化水平为0.304，此网络较为泛化，存在泛化的开花植物或访花昆虫。

2.2.2.1 入侵植物的网络指数分析

在植物水平上，白花鬼针草接受了8种访花昆虫的稳定访问，种类最多，其中包括东方蜜蜂、意大利蜜蜂*Apis mellifera*、中国芦蜂*Ceratina chinensis*等；其次为一年蓬，有7个访花昆虫类群的稳定访问；南美蟛蜞菊、剑叶金鸡菊与6个访花昆虫类群进行了连接；牛膝菊和蛇目菊仅接受1种昆虫的稳定访问，种类最少。南美蟛蜞菊、白花鬼针草、一年蓬、剑叶金鸡菊、鳢肠的物种强度均大于1，说明上述植物与访花昆虫之间有较强的依赖性。一年蓬和白花鬼针草的特化水平较低，分别为0.419和0.425，并且接受了多种昆虫的访问，说明它们的泛化程度较高。

2.2.2.2 访花昆虫网络指数分析

在昆虫水平上，东方蜜蜂、意大利蜜蜂和黑带食蚜蝇*Episyrphus balteatus*的物种强度大于1，且东方蜜蜂和意大利蜜蜂物种强度高达4.207和2.755，说明上述访花昆虫与植物相互依赖程度高，尤其是东方蜜蜂及意大利蜜蜂。菜粉蝶*Pieris rapae*、东方蜜蜂和意大利蜜蜂的特化水平分别为0.292、0.325和0.330，特化水平较低，分别访问了一半以上的入侵植物种类，是较为泛化的访花昆虫。

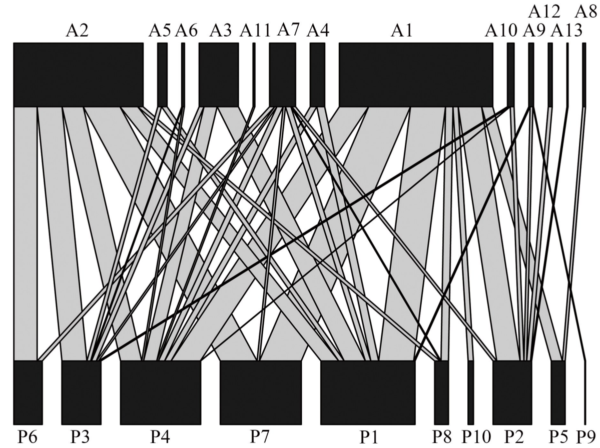

图2 访花网络可视化

Fig. 2 Visualization of pollination networks

注：入侵开花植物物种编号及对应访花昆虫编号见表5、表6。Note: The species codes of invasive flowering plants and their corresponding flower-visiting insects were shown in Table 5 and Table 6.

表4 访花网络参数

Table 4 Metrics of pollination network

特征 Traits	网络参数 Parameters
访花昆虫种类数 Number of visiting species	13
开花植物物种 Plant species	10
有效连接数量 Links	16 154
访花昆虫最大连接 Maximum links per visiting-insects	6 281
植物最大连接 Maximum links per plants	3 853
连接度 Connectance	0.300
嵌套度 Nestedness temperature(nestedness)	19.265
加权嵌套度 Weighted nestedness	0.463
特化水平 Specialization level ($H'2$)	0.304

3 结论与讨论

本研究发现，10种入侵植物共有66种访花昆虫，其中，双翅目访花停留时间最长，膜翅目的访花频率最高且访花次数最多。与本研究结果相似，陈琼等（2018）观测12种武汉常见菊科外来

表5 入侵植物物种水平参数

Table 5 Parameters of invasive plants at the species levels

编号 Code	植物名 Species	连接数 Links	物种度 Degree	归一化点度 Normalised degree	物种强度 Species strength	特化水平 Species specificity index
P1	一年蓬 *Erigeron annuus*	3 853	7	0.538	2.533	0.419
P2	南美蟛蜞菊 *Sphagneticola trilobata*	1 576	6	0.462	3.455	0.596
P3	剑叶金鸡菊 *Coreopsis lanceolata*	1 596	6	0.462	1.498	0.629
P4	白花鬼针草 *Bidens alba*	3 279	8	0.615	3.109	0.425
P5	鳢肠 *Eclipta prostrata*	567	2	0.154	1.072	0.810
P6	藿香蓟 *Ageratum conyzoides*	1 162	2	0.154	0.378	0.824
P7	白车轴草 *Trifolium repens*	3 316	3	0.231	0.648	0.656
P8	百日菊 *Zinnia elegans*	562	3	0.231	0.127	0.634
P9	牛膝菊 *Galinsoga parviflora*	28	1	0.077	0.145	1.000
P10	蛇目菊 *Sanvitalia procumbens*	215	1	0.077	0.034	1.000

表6 访花昆虫物种水平参数

Table 6 Parameters of flower visiting insects at the species levels

编号 Code	访花昆虫 Species	访花次数 Links	物种度 Degree	归一化点度 Normalised degree	物种强度 Species strength	特化水平 Species specificity index
A1	东方蜜蜂 *Apis cerana*	6 281	7	0.700	4.207	0.325
A2	意大利蜜蜂 *Apis mellifera*	5 291	6	0.600	2.755	0.330
A3	中国芦蜂 *Ceratina chinensis*	1 603	3	0.300	0.512	0.597
A4	铜色隧蜂 *Halictus aerarius*	588	2	0.200	0.165	0.670
A5	淡脉隧蜂 *Lasioglossum* spp.	378	2	0.200	0.155	0.681
A6	蚂蚁 Formicidae	108	2	0.200	0.044	0.716
A7	菜粉蝶 *Pieris rapae*	1 061	7	0.700	0.567	0.292
A8	琉璃灰蝶 *Celastrina argiolus*	112	1	0.100	0.198	1.000
A9	黑带食蚜蝇 *Episyrphus balteatus*	193	3	0.300	1.085	0.608
A10	亚麻蝇 Parasarcophaga	268	3	0.300	0.165	0.646
A11	六斑月瓢虫 *Menochilus sexmaculata*	70	1	0.100	0.021	1.000
A12	樟叶蜂 *Mesonura rufonota*	159	1	0.100	0.101	1.000
A13	黑足黑守瓜 *Aulacophora nigripennis*	42	1	0.100	0.027	1.000

植物发现，膜翅目的访花次数最多。郭玉莹等（2023）发现西方蜜蜂 *Apis mellifera* 和食蚜蝇类 *Syrphidae* spp. 昆虫是入侵植物小花山桃草的有效传粉者。膜翅目占岛屿入侵植物访问量的80%，而其它本地授粉媒介的访问频率较低（Kaiser-Bunbury *et al.*，2011）。可见，入侵植物更容易吸引膜翅目和双翅目昆虫。这可能是因为一些膜翅目和双翅目昆虫，如东方蜜蜂、西方蜜蜂和食蚜蝇是较为泛化的传粉者，而入侵植物多拥有高度通用的花部特征，如辐射对称的花序，可以吸引这些泛化的访花昆虫（Emer *et al.*，2015；林涛等，2023）。所以，当地较为泛化的传粉昆虫更可能成

为入侵植物的访花或传粉者。

10种外来入侵植物在入侵地不仅可以吸引膜翅目、鳞翅目、双翅目等多种类型的访花昆虫，还能使部分昆虫对其产生依赖，并构建泛化程度高且嵌套性强的访花网络。相较于南充市传粉网络特化水平0.47（胡丹等，2024），10种入侵植物访花网络的特化水平为0.304，数值更低，泛化程度更高；入侵植物访花网络的嵌套度为19.265，数值小于川西北高寒草甸传粉网络21.06的嵌套度（习新强等，2022），呈现显著的嵌套结构。这一结果表明，网络存在相对泛化的物种，如一年蓬、白花鬼针草、东方蜜蜂和意大利蜜蜂等；这些泛化的物种主导了该网络，使种间连接关系存在冗余，即高访问次数的泛化连接包含了低访问次数的特化连接（Kaiser-Bunbury *et al.*，2010），导致网络呈现较强嵌套性。一般而言，网络的嵌套性越强，植物—访花者群落的抗干扰能力则越强，群落结构更加稳定，且能够有效阻止群落物种的灭绝（曾凯娜等，2022）。同时，南美蟛蜞菊、白花鬼针草、一年蓬、剑叶金鸡菊等入侵植物已与访花昆虫，如东方蜜蜂、意大利蜜蜂等，产生较强互相依赖性，且能够吸引较多种类的访花昆虫。这些入侵植物能够使用入侵地多种访花昆虫资源，并与部分昆虫建立稳定的互作关系，这将推进它们繁殖与扩散的速度。入侵植物与访花昆虫的互作关系是外来植物入侵的机制之一，为避免入侵植物通过访花网络进一步破坏入侵地生态环境，建议加强对入侵植物的监测、提升绿地管理者对入侵植物的认知水平，尽量在入侵植物开花前将其清除。

参考文献（References）

Bascompte J, Jordano P, Olesen JM. Asymmetric coevolutionary networks facilitate biodiversity maintenance [J]. *Science*, 2006, 312 (5772): 431-433.

Chen Q, Li XX, Wang H. Investigation on sexual reproduction and invasion risk of 12 alien Compositae species [J]. *Plant Science Journal*, 2018, 36 (3): 345-353. [陈琼, 李肖夏, 王慧. 菊科12种外来植物的有性繁殖特征和入侵风险研究 [J]. 植物科学学报, 2018, 36 (3): 345-353]

Emer C, Vaughan IP, Hiscock S, *et al*. The impact of the invasive alien plant, *Impatiens glandulifera*, on pollen transfer networks [J]. *PLoS ONE*, 2015, 10 (12): e0143532.

Gong YB, Huang SQ. On methodology of foraging behavior of pollinating insects [J]. *Biodiversity Science*, 2007, 15 (6): 576-583. [龚燕兵, 黄双全. 传粉昆虫行为的研究方法探讨 [J]. 生物多样性, 2007, 15 (6): 576-583]

Guo YY, Liu LC, Meng W, *et al*. Blooming characteristics and breeding system of an invasive plant *Gaura parviflora* [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2023, 34 (6): 1517-1524. [郭玉莹, 刘龙昌, 孟伟, 等. 入侵植物小花山桃草开花特性与繁育系统 [J]. 应用生态学报. 2023, 34 (6): 1517-1524]

Han YR, Xue QQ, Song HJ, *et al*. Diversity and influencing factors of flower-visiting insects in the Yanshan area [J]. *Biodiversity Science*, 2022, 30 (3): 48-59. [韩艺茹, 薛琪琪, 宋厚娟, 等. 燕山地区访花昆虫多样性及其影响因子 [J]. 生物多样性, 2022, 30 (3): 48-59]

Hong L, Shen H, Ye WH, *et al*. Study on pollinating insects of *Mikania micrantha* H.B.K. and their foraging behavior [J]. *Journal of South China Normal University* (Natural Science Edition), 2011, 1: 98-102, 120. [洪岚, 沈浩, 叶万辉, 等. 入侵杂草薇甘菊的传粉昆虫及其访花行为研究 [J]. 华南师范大学学报（自然科学版）, 2011, 1: 98-102, 120]

Hou QC, Feng YL, Zhou YJ, *et al*. Main hypotheses on mechanisms underlying plant invasion: a review [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2022, 33 (11): 3105-3115. [侯清晨, 冯燕楼, 周玉洁, 等. 植物入侵机制的主要假说 [J]. 应用生态学报, 2022, 33 (11): 3105-3115]

Hu D, Li XS, Chang XM, *et al*. Study on the pollination network and pollination service values of insects to main pollinating crops in Nanchong City, Sichuan Province, Southwest China [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2024, 67 (2): 255-269. [胡丹, 李秀山, 常雪梅, 等. 南充市昆虫传粉网络及其对主要授粉作物传粉服务价值研究 [J]. 昆虫学报, 2024, 67 (2): 255-269]

Ji S, Yang L, Yan SJ, *et al*. Research advances in the interactions between floral traits and flower-visiting insects [J]. *World Forestry Research*, 2023, 36 (2): 26-31. [纪霜, 杨丽, 闫淑君, 等. 植物花部特征与访花昆虫互作关系研究进展 [J]. 世界林业研究, 2023, 36 (2): 26-31]

Kaiser-Bunbury CN, Muff S, Memmott J, *et al*. The robustness of pollination networks to the loss of species and interactions: A quantitative approach incorporating pollinator behaviour [J]. *Ecology Letters*, 2010, 13 (4): 442-452.

Kaiser-Bunbury CN, Valentin T, Mougal J, *et al*. The tolerance of island plant-pollinator networks to alien plants: Plant invasion and pollination networks [J]. *Journal of Ecology*, 2011, 99 (1): 202-213.

Lin T, He LY, Wang F, *et al*. The floral characteristics and its flower-visiting insects' species investigation of *Citrus maxima* (L.) Osbeck cv. 'Majiayou' [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2023, 45 (1): 101-113.[林涛, 何丽云, 王帆, 等. 马家柚花部特征及其访花昆虫种类调查 [J]. 环境昆虫学报, 2023, 45 (1): 101-113]

Liu YJ, Huang W, Yang Q, *et al*. Research advances of plant invasion ecology over the past 10 years [J]. *Biodiversity Science*, 2022, 30 (10): 1-17. [刘艳杰, 黄伟, 杨强, 等. 近十年植物入侵生态学

重要研究进展 [J]. 生物多样性, 2022, 30 (10): 1-17]

Lysenkov S, Ustinova E. Comparative study of the insect community visiting flowers of invasive goldenrods (*Solidago canadensis* and *S. gigantea*) [J]. *Arthropod-Plant Interactions*, 2020, 14 (6): 825-837.

Padrón B, Traveset A, Bidenweg T, *et al*. Impact of alien plant invaders on pollination networks in two archipelagos [J]. *PLoS ONE*, 2009, 4 (7): e6275.

Parra-Tabla V, Arceo-Gómez. Impacts of plant invasions in native plant-pollinator networks [J]. *New Phytologist*, 2021, 230 (6): 2117-2128.

Stout JC, Tiedeken EJ. Direct interactions between invasive plants and native pollinators: Evidence, impacts and approaches [J]. *Functional Ecology*, 2017, 31 (1): 38-46.

Sun SG, Lu B, Lu XM, *et al*. On reproductive strategies of invasive plants and their impacts on native plants [J]. *Biodiversity Science*, 2018, 26 (5): 457-467. [孙士国, 卢斌, 卢新民, 等. 入侵植物的繁殖策略以及对本土植物繁殖的影响 [J]. 生物多样性, 2018, 26 (5): 457-467]

Thijs KW, Brys R, Verboven HAF, *et al*. The influence of an invasive plant species on the pollination success and reproductive output of three riparian plant species [J]. *Biological Invasions*, 2012, 14 (2): 355-65.

Tu YL, Wang LP, Wang XL, *et al*. Status of invasive plants on local pollination networks: A case study of *Tagetes minuta* in Tibet based on pollen grains from pollinators [J]. *Biodiversity Science*, 2019, 27 (3): 306-313. [土艳丽, 王力平, 王喜龙, 等. 利用昆虫携带的花粉初探西藏入侵植物印加孔雀草在当地传粉网络中的地位 [J]. 生物多样性, 2019, 27 (3): 306-313]

Xi XQ, Gong XT, Zhang SY, *et al*. Structure and robustness of "pollinators-plants-herbivores" network in the alpine meadow of the Northwestern Sichuan Province [J]. *Scientia Sinica (Vitae)*, 2022, 52 (3): 449-458. [习新强, 公欣桐, 张尚云, 等. 川西北高寒草甸"传粉昆虫-植物-食草昆虫"互作网络的结构与稳健性 [J]. 中国科学：生命科学, 2022, 52 (3): 449-458]

Zeng KN, Sun HR, Shen YC, *et al*. Pollination network and seasonal dynamics of Yangshan Wetland in Hainan Island, China [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2022, 46 (7): 775-784. [曾凯娜, 孙浩然, 申益春, 等. 海南羊山湿地的传粉网络及其季节动态 [J]. 植物生态学报, 2022, 46 (7): 775-784]