

生境类型对传粉昆虫多样性的影响*

王 怡^{1**} 胡学丰³ 宋怀磊¹ 周青松² 吴清涛²
孔维娜³ 朱朝东² 李 捷^{1***}

(1. 山西农业大学园艺学院, 太谷 030801; 2. 中国科学院动物研究所, 北京 100101;
3. 山西农业大学植物保护学院, 太谷 030801)

摘 要 【目的】作为生态系统中传粉服务的提供者, 传粉昆虫多样性对于维持生态系统的稳定具有不可替代的作用。明确不同类型生境中传粉昆虫多样性的差异特征, 有助于制定更加合理化的农业生产方式。

【方法】以山西省典型的林区生境(沁水县中条山)和山地果园生境(隰县梨园)为研究区, 利用马氏网调查传粉昆虫物种多样性。【结果】林区生境中累计捕获传粉昆虫 7 090 头, 山地梨园生境中累计捕获传粉昆虫 8 817 头; 尽管在个体数量上山地梨园生境要大于林区生境, 但山地梨园生境传粉昆虫物种数仅为林区生境的 50%, 相似性系数为 0.362 2, 表现为中等不相似; 在 2 种生境中, 蚁科和瘿蚊科均为优势类群, 但同时存在特有的优势和常见类群。林区生境多样性指数、均匀度指数和丰富度指数显著高于山地梨园生境, 而优势集中性指数和优势度指数则显著小于山地梨园生境。【结论】林区生境中传粉昆虫物种更为丰富, 且群落更为复杂和均匀, 而山地梨园生境中物种类群更为集中。因此在农业生境中应注意提高植被丰富度, 从而有利于增加传粉昆虫多样性, 维持农业的可持续发展。

关键词 生境; 生物多样性; 传粉昆虫; 林区; 山地梨园

Effect of habitat type on pollinator diversity

WANG Yi^{1**} HU Xue-Feng³ SONG Huai-Lei¹ ZHOU Qing-Song²
WU Qing-Tao² KONG Wei-Na³ ZHU Chao-Dong² LI Jie^{1***}

(1. College of Horticulture, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China; 2. Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. College of Plant Protection, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

Abstract 【Objectives】To measure the diversity of pollinators in different habitat types. 【Methods】Pollinator diversity was measured in a typical forest habitat (Zhongtiao mountains, Qinshui county) and a montane orchard (pear orchard, Xi county) with Malaise traps. 【Results】A total of 7 090 pollinators were trapped in the forest habitat and 8 817 in the pear orchard habitat. Although more individual pollinators were trapped in the pear orchard than in the forest habitat, the latter had twice as many species. The similarity coefficient was 0.362 2, which indicates moderate unlikeness. The Formicidae and Cecidomyiidae were the dominant families in both habitats, but there were some habitat-specific dominant and common groups. The Diversity, Evenness and Richness indices of the forest habitat were significantly higher than those of the pear orchard, but the Dominant concentration and Dominance index were significantly lower. 【Conclusion】More species of pollinators were found in a forest habitat than in a pear orchard, and the forest pollinator community was more complex and uniform than that of the pear orchard where species were more concentrated. Increasing the diversity of vegetation in agricultural habitats could increase pollinator diversity and thereby promote more sustainable agriculture.

Key words habitat; biodiversity; pollinator insects; forest habitat; orchard habitat

*资助项目 Supported projects: 山西省优秀博士来晋工作奖励资金科研项目 (SXYBKY2020016); 国家科技基础资源调查专项 (2018FY100400)

**第一作者 First author, E-mail: wangyigg@126.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: lijie303@yeah.net

收稿日期 Received: 2021-06-19; 接受日期 Accepted: 2022-02-30

传粉昆虫的物种多样性是生物多样性的的重要组成部分,同时它们也是最重要的传粉服务提供者,大多数开花植物依靠传粉昆虫维持种群的繁衍(张立微和张红玉,2015)。传粉昆虫包含膜翅目中的蜂类、蚁类,鞘翅目中的金龟、天牛和叶甲类,双翅目中的食蚜蝇、花蝇和丽蝇类,鳞翅目中的蛾类和蝶类等(杨大荣,2018)。传粉昆虫为植物传播花粉的同时传递遗传信息,促进杂交并提高物种优势。与此同时,作为传粉昆虫的食物,植物的花蜜为其提供大量的物质能源。这种植物与昆虫间的互利共生关系,使得生物多样性得以保障,有利于维持生态系统的稳定(孙广芳,2017)。在农业生态系统中,很多经济作物如甜菜、油菜、棉花,以及各类水果,如梨树、柑橘等(李俊生等,2016),大多数都由传粉昆虫来进行授粉服务。相较于人工授粉,昆虫授粉可以改善农作物品质,增加产量,大大提高商品率,带来较好的经济价值(辛娟和董凤林,2013)。

随着全国城市化的不断推进,农业活动的加剧,过分关注于产出效益,作物规模化生产导致农耕区结构单一(李敏婷等,2019)。这些进程在改变环境的同时,也破坏了昆虫的栖息地和生存场所,甚至在害虫防治的同时也杀伤了许多传粉昆虫,使得传粉昆虫的种类和数量锐减(Potts *et al.*, 2010; González-Varo *et al.*, 2013; 欧阳芳等, 2019)。邹言等(2020)在北京市延庆区对森林、灌木丛和农田等不同生境传粉昆虫物种多样性进行了调查,认为在人为干扰较小的地区,传粉昆虫物种多样性更高。郭媛等(2020)在山西不同的梨园对传粉昆虫物种多样性进行了调查,发现人类干扰较强的平川区梨园的野生传粉昆虫数量和种类要少于人类活动少、自然环境保护好的近山区梨园。在我国北方,广泛种植着蔷薇科果树,如梨、李、苹果、杏等。这些果树大多自花不育,花粉扩散的效率不高,需要异花授粉,传粉昆虫在其中起到相当大的作用。然而,种植作物单一、园内植物多样性低等问题,使得传粉昆虫只有单一的访花对象,开花期后无其他蜜粉源(赵龙龙,2020),传粉昆虫因食物

资源的缺乏导致多样性下降。

不同区域类型的气候和生态环境存在差异,由此带来不同的植被类型,形成不同的物种群落,使得传粉昆虫多样性也大为不同(池康等,2011)。王美娜等(2017)对比豫西山地和丘陵的传粉昆虫,发现山地和丘陵的物种多样性存在显著差异。刘娅萌等(2020)调查了山地-丘陵-河川混杂的复杂景观和平原农业简单景观2种区域类型的传粉昆虫群落的物种组成和分布特征,认为高水平复杂度的区域生态环境以及较好的生境连通性都能更好的维持传粉昆虫物种多样性水平。

此外,农业区过度使用化学农药和化肥会造成环境污染以及周围景观的破坏,使得传粉昆虫数量减少(于蓉等,2008; Vanbergen, 2013; 李正阳等,2017)。相对于害虫,传粉昆虫对农药的敏感性更高,农药胁迫会使传粉昆虫会出现如拒食、孵化率下降及代谢受影响等现象(郑琴,2016)。研究发现,噻虫胺、噻虫嗪等药剂对熊蜂有毒害作用,新烟碱类农药会影响其行为和生理(王烁等,2020)。在种植中使用噻虫嗪、噻虫胺等农药,会使其在花蜜和花粉中残留,导致传粉昆虫在收集蜜粉过程中富集农药,影响发育和繁殖(陈琰和高菊芳,2013)。大量使用化肥会使得某些元素在植物体内富集,影响植物花蜜的含量,降低对传粉昆虫的吸引力(Taylor, 1997)。

山西南部的中条山脉,海拔落差高,接近2000 m。这里既有陡峭的中高山脉,也有低矮的丘陵地带,地形较为复杂,属于温带大陆性气候,四季分明(康乐,2020; 滕红梅等,2020)。中条山林区是华北地区唯一保存下来的原始森林,其森林覆盖率接近40%,具有复杂的植被类型,为传粉昆虫提供了大量的食物来源和栖息场所。山西临汾隰县是著名梨品种玉露香梨的产地,地处黄土高原残垣沟壑区(杨海波等,2018),地形地貌较为复杂,处于湿润向干旱过度的中间地带,水土流失严重,土壤水分和养分不足,不利于维持多样化的植被生长,具有较为简单的植被类型(林宇等,2020)。本文对山西省具有代

表性的林区生境与山地果园生境中的传粉昆虫物种多样性进行调查, 对比研究 2 种生境传粉昆虫多样性差异特征, 以期帮助制定更加合理化的农业生产方式。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

传粉昆虫多样性调查点分别设置于山西省沁水县中条山林区(坐标: 35°24'-36°04'N, 112°47'-115°55'E; 海拔: 520-2 358 m; 地形地貌: 丘陵), 林区内兼有林木、灌木及草丛, 生态系统较为完整, 物种多样性较为丰富, 人类活动干扰较少, 以及隰县德虎塬村山地梨园(坐标: 36°30'-36°55'N, 110°55'-111°15'E; 海拔: 950-1 300 m; 地形地貌: 山地), 属于单一梨品种种植园, 农业管理良好, 杂草较少。

1.2 试验方法

采用马氏网进行传粉昆虫的采集。在林区, 根据植被、水流和空气流通情况设置 6 个取样点; 在梨园中心区域采用样线法, 设置 2 排 6 个取样点, 间隔 10 棵树 30 m (吴琼等, 2016)。

在 6-9 月, 2 个样地内每半个月更换一次采集瓶, 加满无水乙醇后保存。将昆虫标本带回实验室, 在双孔体视镜下观察, 参考专业昆虫分类书籍、图谱以及参考文献进行分类鉴定(刘棋等, 2018)。

1.3 数据统计

传粉昆虫种群特征应用多样性指数、优势集中性指数、优势度指数、均匀度指数和丰富度指数 5 个参数来表示(黄华艳等, 2014)。利用独立样本 t -检验比较群落特征参数的差异性, 数据分析采用 SPSS25.0 和 Excel 2016 进行, 并使用 Origin 2021 绘图。

$$\text{多样性指数}(H'): H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln(P_i),$$

$$\text{优势集中性指数}(C): C = \sum_{i=1}^S (P_i)^2,$$

$$\text{优势度指数}(I): I = N_{\max} / N,$$

$$\text{均匀度指数}(J): J = H' / \ln S,$$

$$\text{丰富度指数}(R): R = (S-1) / \ln N,$$

$$\text{相似性系数}(q): q = c / (a+b-c).$$

上述公式中, P_i 为第 i 种个体占个体总数的比例, S 为物种数, N 为所有的物种数量, $N_{\max}$ 为优势种的数量, a 为 A 群落物种数, b 为 B 群落物种数, c 为两群落共有的物种数(韩争伟等, 2013; 韦小平等, 2020)。

2 结果与分析

2.1 2 种生境传粉昆虫群落组成特征

林区生境中共收集到昆虫 29 265 头, 分别隶属于 11 目, 76 科, 404 种。主要传粉昆虫 7 090 头, 分属于 5 目 43 科共 178 种。其中, 膜翅目有 7 科 19 种, 鳞翅目有 12 科 41 种, 双翅目有 10 科 55 种, 鞘翅目有 8 科 43 种, 半翅目有 6 科 20 种。在个体数量水平上, 膜翅目占 18%, 双翅目占 57%, 鳞翅目占 10%, 鞘翅目占 13%, 半翅目占 2%。在物种数量水平上, 鳞翅目占 23%, 膜翅目占 11%, 双翅目占 31%, 鞘翅目占 24%, 半翅目占 11% (表 1)。

山地梨园生境中共收集到昆虫 27 441 头, 分别隶属于 11 目, 55 科, 155 种。主要传粉昆虫 8 817 头, 分属于 5 目 32 科共 89 种。其中, 膜翅目有 6 科 13 种, 鳞翅目有 10 科 23 种, 双翅目有 10 科 25 种, 鞘翅目有 3 科 22 种, 半翅目有 3 科 6 种。在个体数量水平上, 膜翅目占 23%, 双翅目占 43%, 鳞翅目占 18%, 鞘翅目占 15%, 半翅目占 1%。在物种数量水平上, 鳞翅目占 26%, 膜翅目占 15%, 双翅目占 28%, 鞘翅目占 25%, 半翅目占 7% (表 1)。

2 种生境中双翅目和膜翅目均占传粉昆虫群落个体数量的第一位和第二位, 但鳞翅目和鞘翅目在山地梨园生境中同样占有较大比例。林区生境中优势类群为蚁科和瘿蚊科, 占传粉昆虫个体数量的 32.27%, 山地梨园生境中优势类群为蚁科、瘿蚊科、卷蛾科和叶甲科, 占传粉昆虫个体

数量的 63.97%。茎蜂科、虻科、卷蛾科、透翅蛾科、叶甲科、丽蝇科和大蚊科仅在林区生境为常见类群；眼蝶科、羽蛾科和蜂虻科仅在地梨园生境为常见类群；食虫虻科、食蚜蝇科、实蝇科、花萤科、麻蝇科和瓢甲科为 2 种生境共有的常见类群（表 2）。

表 1 2 种生境类型主要传粉昆虫群落组成
Table 1 Composition of pollinators in two habitat types

不同生境 Different habitats	目 Orders	科数 Family numbers	科比例 (%) Family proportion (%)	物种数 Species numbers	物种比例 (%) Species proportion (%)	个体数 Individual numbers	个体比例 (%) Individual proportion (%)
林区 Forester	鳞翅目 Lepidoptera	12	27.91	41	23.03	720	10.16
	膜翅目 Hymenoptera	7	16.28	19	10.67	1 241	17.50
	双翅目 Diptera	10	23.26	55	30.90	4 064	57.32
	鞘翅目 Coleoptera	8	18.60	43	24.16	937	13.22
	半翅目 Hemiptera	6	13.95	20	11.24	128	1.81
	合计 Total	43	100.00	178	100.00	7 090	100.00
山地梨园 Pear orchard	鳞翅目 Lepidoptera	10	31.25	23	25.84	1 599	18.14
	膜翅目 Hymenoptera	6	18.75	13	14.61	2 070	23.48
	双翅目 Diptera	10	31.25	25	28.09	3 768	42.74
	鞘翅目 Coleoptera	3	9.38	22	24.72	1 293	14.66
	半翅目 Hemiptera	3	9.38	6	6.74	87	0.99
	合计 Total	32	100.00	89	100.00	8 817	100.00

表 2 2 种生境类型主要传粉昆虫类群的数量特征
Table 2 Community characteristic of pollinators in two habitat types

不同生境 Different habitats	目 Orders	科 Families	个体数 Individuals	相对多度 (%) Relative abundance (%)	优势度 Dominance
林区 Forester	鳞翅目 Lepidoptera	卷蛾科 Tortricidae	435	6.14	++
		透翅蛾科 Sesiidae	82	1.16	++
		眼蝶科 Satyridae	52	0.73	+
		灯蛾科 Arctiidae	49	0.69	+
		羽蛾科 Pterophoridae	39	0.55	+
		尺蛾科 Geometridae	23	0.32	+
		蛱蝶科 Nymphalidae	17	0.24	+
		天蛾科 Sphingidae	8	0.11	+
		斑蝶科 Danaidae	6	0.08	+
		蓑蛾科 Psychidae	6	0.08	+
		凤蝶科 Papilionidae	1	0.01	+
		枯叶蛾科 Lasiocampidae	2	0.03	+
	膜翅目 Hymenoptera	蚁科 Formicidae	947	13.36	+++
		茎蜂科 Cephidae	214	3.02	++
		蜜蜂科 Apidae	63	0.89	+

续表 2 (Table 2 continued)

不同生境 Different habitats	目 Orders	科 Families	个体数 Individuals	相对多度 (%) Relative abundance (%)	优势度 Dominance
	双翅目 Diptera	青蜂科 Chrysidae	9	0.13	+
		熊蜂科 Bombidae	4	0.06	+
		叶蜂科 Tenthredinidae	2	0.03	+
		松叶蜂科 Diprionidae	2	0.03	+
		瘿蚊科 Cecidomyiidae	1 341	18.91	+++
		蝇科 Muscidae	665	9.38	++
		实蝇科 Tephritidae	427	6.02	++
		食蚜蝇科 Syrphidae	379	5.35	++
		虻科 Tabanidae	366	5.16	++
		大蚊科 Tipulidae	335	4.72	++
		麻蝇科 Sarcophagidae	260	3.67	++
		丽蝇科 Calliphoridae	139	1.96	++
		食虫虻科 Asilidae	124	1.75	++
		花蝇科 Anthomyiidae	28	0.39	+
	鞘翅目 Coleoptera	叶甲科 Chrysomelidae	604	8.52	++
		瓢甲科 Coccinellidae	183	2.58	++
		花萤科 Cantharidae	98	1.38	++
		金龟科 Scarabaeidae	23	0.32	+
		叩甲科 Elateridae	18	0.25	+
		天牛科 Cerambycidae	8	0.11	+
		丽金龟科 Rutelinae	2	0.03	+
		拟天牛科 Oedemeridae	1	0.01	+
	半翅目 Hemiptera	缘蝽科 Coreidae	57	0.80	+
		长蝽科 Lygaeidae	22	0.31	+
		猎蝽科 Reduviidae	21	0.30	+
		蝽科 Pentatomidae	18	0.25	+
		异蝽科 Urostylidae	3	0.04	+
		龟蝽科 Plataspidae	7	0.10	+
山地梨园 Pear Orchard	鳞翅目 Lepidoptera	卷蛾科 Tortricidae	981	11.13	+++
		羽蛾科 Pterophoridae	381	4.32	++
		眼蝶科 Satyridae	93	1.05	++
		粉蝶科 Pieridae	51	0.58	+
		灯蛾科 Arctiidae	12	0.41	+
		天蛾科 Sphingidae	6	0.20	+
		蛱蝶科 Nymphalidae	5	0.17	+

续表 2 (Table 2 continued)

不同生境 Different habitats	目 Orders	科 Families	个体数 Individuals	相对多度 (%) Relative abundance (%)	优势度 Dominance
膜翅目 Hymenoptera		透翅蛾科 Sesiidae	5	0.17	+
		斑蝶科 Danaidae	2	0.07	+
		尺蛾科 Geometridae	1	0.03	+
		蚁科 Formicidae	1 926	21.84	+++
		蜜蜂科 Apidae	87	0.99	+
		青蜂科 Chrysididae	10	0.34	+
		叶蜂科 Tenthredinidae	4	0.14	+
		茎蜂科 Cephidae	4	0.14	+
		熊蜂科 Bombidae	1	0.03	+
		瘿蚊科 Cecidomyiidae	1 773	20.11	+++
双翅目 Diptera		蝇科 Muscidae	744	8.44	++
		食蚜蝇科 Syrphidae	489	5.55	++
		实蝇科 Tephritidae	222	2.52	++
		麻蝇科 Sarcophagidae	198	2.25	++
		蜂虻科 Bombyliidae	126	1.43	++
		食虫虻科 Asilidae	38	1.29	++
		虻科 Tabanidae	14	0.48	+
		丽蝇科 Calliphoridae	10	0.34	+
		大蚊科 Tipulidae	10	0.34	+
		叶甲科 Chrysomelidae	960	10.89	+++
鞘翅目 Coleoptera		瓢甲科 Coccinellidae	174	1.97	++
		花萤科 Cantharidae	159	1.80	++
		蝽科 Pentatomidae	66	0.75	+
半翅目 Hemiptera		盾蝽科 Scutelleridae	1	0.03	+
		长蝽科 Lygaeidae	6	0.20	+

+++表示优势类群；++表示常见类群；+表示稀有类群。
+++ indicates dominant group; ++ indicates common group; + indicates rare group.

2.2 2 种生境传粉昆虫多样性特征和相似性

2 种生境类型传粉昆虫群落的相似性系数为 0.362 2，表现为中等不相似，说明 2 种生境在传粉昆虫群落组成上有着较为明显的不同（表 3）。
2 种生境类型的传粉昆虫群落的多样性指数（ $t=5.445$, $df=10$, $P<0.05$ ）（图 1：A）、均匀度指数（ $t=6.345$, $df=10$, $P<0.05$ ）（图 1：B）和丰富

表 3 2 种生境类型主要传粉昆虫群落相似性
Table 3 Community similarity of pollinators in two habitat types

生境 Habitat types	林区 Forester	山地梨园 Pear orchard
林区 Forester	1	0.362 2
山地梨园 Pear orchard	—	1

度指数 ($t=3.423$, $df=10$, $P=0.007$) (图 1: C) 差异显著, 均为林区生境>山地梨园生境。其中, 林区生境和山地梨园生境多样性指数分别为 3.65 和 2.97; 均匀度指数分别为 0.81 和 0.70; 丰富度指数林区生境分别为 13.50 和 9.54。2 种生境类型的传粉昆虫群落的优势集中性指数

($t= - 4.532$, $df=7.79$, $P=0.002$) (图 1: D) 和优势度指数($t= - 4.255$, $df=9.511$, $P=0.002$) (图 1: E) 差异显著, 均为山地梨园生境>林区生境。其中, 山地梨园生境和林区生境的优势集中性指数分别为 0.11 和 0.04; 优势度指数分别为 0.27 和 0.14。

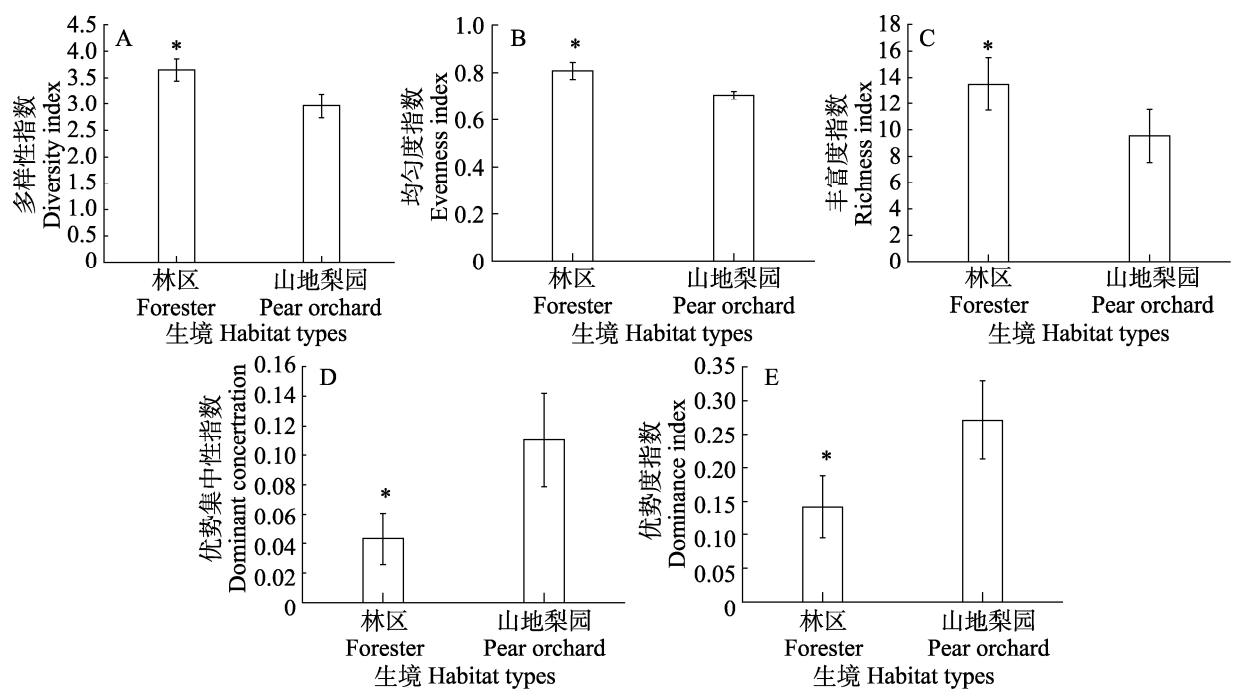


图 1 2 种生境主要传粉昆虫群落特征

Fig. 1 Community diversity of pollinators in two habitat types

A. 多样性指数; B. 均匀度指数; C. 丰富度指数; D. 优势集中性指数; E. 优势度指数。

*表示林区与山地梨园间存在显著性差异 ($P < 0.05$, 独立样本 t -检验)。

A. Diversity index; B. Evenness index; C. Richness index; D. Dominant concentration; E. Dominance index.

* indicates significant differences between forester and pear orchard ($P < 0.05$, Independent samples t -test).

3 讨论

山地梨园生境的主要传粉昆虫个体数量大于林区生境, 但昆虫种类数仅为林区生境的 38%, 其中传粉昆虫种类数仅为林区生境的 50%。2 种生境类型传粉昆虫总数量相差不大, 但表现为中等不相似。林区生境主要为膜翅目和双翅目, 优势类群为蚁科和瘿蚊科; 山地梨园生境主要为膜翅目、双翅目、鳞翅目和鞘翅目, 优势类群为蚁科、瘿蚊科、卷蛾科和叶甲科。

林区生境主要传粉昆虫群落的多样性指数、均匀度指数和丰富度指数显著高于山地梨园生

境, 说明相较于人为干扰较大的山地梨园生境, 林区生境传粉昆虫群落更为复杂, 物种个体数目分配更为均匀, 物种多样性更为丰富, 本研究结果被邹言等 (2020) 报道所支持。山地梨园生境主要传粉昆虫群落的优势集中性指数和优势度指数显著高于林区生境, 说明相较于人为干扰较小的林区生境, 山地梨园生境中传粉昆虫类别少, 优势种更为明显。

林区生境具有人为干扰少、群落较为复杂、植被覆盖广泛、开花植物较多和花期连续等特点, 这为传粉昆虫提供了多样的环境(周立垚等, 2020)。植物的花蜜为不同时期的传粉昆虫提供

了足够的营养来源。在这种环境下传粉昆虫的种类和数量都较为丰富,分布更均匀,有利于维持传粉昆虫群落的多样性。而山地梨园由于人类农事活动,带来了不同的区域生态环境,改变了以往自然的生态环境,无法为传粉昆虫提供长期稳定的栖息地(王美娜等,2018),如作物规模化种植导致环境单一,栖息地减少,化学农药的大规模使用,对传粉昆虫在生理生态方面造成影响,不适应的物种数量减少甚至消失,适应力强的类群更为庞大,可以在作物花期有效传粉。2种生境中常见类群和优势类群较为接近,可能是隰县梨园坐落于山地,属于农林交错带,植被较为丰富,梨园花期后为传粉昆虫提供了其他食物来源和栖息地(王春连,2006)。“中度干扰”假说认为,中等频率的干扰能维持较高的物种多样性;过高的干扰频率利于生长速度快、繁殖能力强的物种生存;过低的干扰频率下,少数竞争力强的物种会在群落中占有完全优势(Connell, 1979)。蚁科繁殖能力强、世代周期短,是一种杂食性昆虫。瘿蚊科多为植食性、捕食性或腐食性。而卷蛾科和叶甲科均为植食性。因此,山地梨园生境比林区生境存在更多的植食性传粉者,应根据传粉昆虫的食性和数量采取相应的措施,尽量控制植食性传粉者,保护捕食性及寄生性传粉者(王美娜等,2017)。

由于农业生境和传粉昆虫相互作用,人类在进行农业发展中需要采取更多的方法来协调两者之间的关系。譬如,减少化学药剂的使用,多采用生物防治、物理防治及加强农业管理等预防病虫害的发生,在害虫高发期使用更为低毒高效且专一性的杀虫剂,以便更好维护农业的可持续发展(霍腾达等,2015)。此外,可以利用植物之间的关系来完善生态环境,田间合理套种和间作,构建多边缘区,完善植被体系,在果园中适当种植不同花期的蜜粉源植物来吸引传粉昆虫,为其提供良好的繁衍场所。更完整的生物链不仅可以提高生态系统的稳定性,还可以促进农业的发展,带来更大的经济效益。还可以在规模化种植的地区释放适应力更强的传粉昆虫类群,并在农耕区保留植被丰富的区域为传粉昆虫提供栖息地,从而为农业发展提供更大助力

(谢正华等,2011)。

参考文献 (References)

- Chen Y, Gao JF, 2013. Pesticide residues in pollen and nectar and their potential threat to pollinating insects. *World Pesticides*, 35(2): 16–21, 27. [陈琰, 高菊芳, 2013. 花粉和花蜜中的杀虫剂残留及其对传粉昆虫的潜在威胁. 世界农药, 35(2): 16–21, 27.]
- Chi K, Qin F, Hao DJ, 2011. Research advances of the environmental impact on insect diversity of China. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 39(17): 10303–10304, 10311. [池康, 秦飞, 郝德君, 2011. 我国昆虫多样性的环境影响研究进展. 安徽农业科学, 39(17): 10303–10304, 10311.]
- Connell JH, 1979. Intermediate-disturbance hypothesis. *Science*, 204(4399): 1345.
- González-Varo JP, Biesmeijer JC, Bommarco R, Potts SG, Schweiger O, Smith HG, Steffan-Dewenter I, Szentgyörgyi H, Woyciechowski M, Vilà M, 2013. Combined effects of global change pressures on animal-mediated pollination. *Trends in Ecology & Evolution*, 28(9): 524–530.
- Guo Y, Wu WQ, Zhang XF, Zhang YY, Song HL, 2020. Investigation on pollinators and flower-visiting behavior of dominant pollinators of pear trees in different eco-regions. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 36(6): 127–131. [郭媛, 武文卿, 张旭凤, 张云毅, 宋怀磊, 2020. 不同生态区梨树传粉昆虫调查及其优势传粉昆虫访花行为研究. 中国农学通报, 36(6): 127–131.]
- Han ZW, Ma L, Cao CW, Zhang J, Wang BY, 2013. The structure and diversity of insect community in Taihu wetland. *Acta Ecologica Sinica*, 33(14): 4387–4397. [韩争伟, 马玲, 曹传旺, 张静, 王步勇, 2013. 太湖湿地昆虫群落结构及多样性. 生态学报, 33(14): 4387–4397.]
- Huang HY, Luo J, Jiang XJ, Zhao CJ, Li GH, 2014. The investigation on Hymenoptera pollination insect of *Camellia oleifera* in Guangxi province. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology*, 41(2): 79–83. [黄华艳, 罗辑, 蒋学建, 赵程劼, 李桂华, 2014. 广西油茶传粉膜翅目昆虫调查. 福建林业科技, 41(2): 79–83.]
- Huo TD, Wu XK, Huang DZ, 2015. The response of insect community diversity to low toxicity and broad-spectrum insecticide in pear garden. Hebei. *Journal of Forestry and Orchard Research*, 30(2): 160–165. [霍腾达, 武小恺, 黄大庄, 2015. 低毒广谱杀虫剂对梨园昆虫群落物种多样性的影响. 河北林果研究, 30(2): 160–165.]
- Kang L, 2020. Analysis of the floristic characteristics of woody

- plants in Zhongtiao area. *East China Forest Management*, 34(2): 5–10, 10. [康乐, 2020. 中条山地区木本植物区系特征分析. 华东森林经理, 34(2): 5–10, 10.]
- Li JS, Li XS, Tian Y, 2016. Pollinating animals and food security. *World Environment*, 2016(S1): 38–40. [李俊生, 李秀山, 田瑜, 2016. 传粉动物与粮食安全. 世界环境, 2016(S1): 38–40.]
- Li ZY, Wang YB, Liu PH, Dong JZ, 2017. Toxicity determination and residual of five pesticides on *Bombus terrestris* in greenhouse. *Hebei Journal of Forestry and Orchard Research*, 32(1): 61–64. [李正阳, 王玉波, 刘佩杭, 董建臻, 2017. 5种设施常用农药对欧洲熊蜂的毒力及残毒测定. 河北林果研究, 32(1): 61–64.]
- Li MT, Liu XL, Luo J, Sun CZ, Li JG, Du JF, Wu SH, 2019. Research on the relationship between intensity level of agricultural land utilization and insect pollination services. *Guangdong Agricultural Sciences*, 46(10): 140–146. [李敏婷, 刘小玲, 罗杰, 孙传淳, 李景刚, 杜继丰, 吴顺辉, 2019. 农用地利用集约度与昆虫传粉服务之间的关系研究. 广东农业科学, 46(10): 140–146.]
- Lin Y, Tong GR, Zhang SH, Feng P, Wang YZ, Cheng ZP, Zheng RM, 2020. Afforestation model and technology integrated application in the hill-gully subregion of loess plateau. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology*, 47(3): 82–87, 119. [林宇, 童桂荣, 张顺恒, 冯平, 王英姿, 程周平, 郑容妹, 2020. 黄土高原沟壑区造林模式与技术集成应用. 福建林业科技, 47(3): 82–87, 119.]
- Liu Q, Cheng WZ, Bai RX, Dong JC, Jiang ZL, 2018. Insect community structure on *Bletilla striata* (Thunb.) Reichb.f in Pu'er district, Yunnan province. *Journal of Environmental Entomology*, 40(5): 1036–1050. [刘棋, 成文章, 拜如霞, 董竞成, 蒋智林, 2018. 云南普洱紫花三叉白及昆虫群落多样性研究. 环境昆虫学报, 40(5): 1036–1050.]
- Liu YM, Lu XL, Ding SY, Zhou LY, Zhang CC, 2020. Distribution patterns of pollination insect community under different agricultural landscape context. *Acta Ecologica Sinica*, 40(7): 2376–2385. [刘娅萌, 卢训令, 丁圣彦, 周立垚, 张晨晨, 2020. 不同农业景观背景下传粉昆虫群落的分布差异. 生态学报, 40(7): 2376–2385.]
- Ouyang F, Wang LN, Yan Z, Men XY, Ge F, 2019. Evaluation of insect pollination and service value in China's agricultural ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 39(1): 131–145. [欧阳芳, 王丽娜, 闫卓, 门兴元, 戈峰, 2019. 中国农业生态系统昆虫授粉功能与服务价值评估. 生态学报, 39(1): 131–145.]
- Potts SG, Biesmeijer JC, Kremen C, Neumann P, Schweiger O, Kunin WE, 2010. Global pollinator declines: Trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology Evolution*, 25(6): 345–353.
- Sun GF, 2017. Study of pollinator diversity under different time and habitat types. Master dissertation. Nanjing: Nanjing University. [孙广芳, 2017. 不同时间和生境类型下传粉昆虫物种多样性的研究. 硕士学位论文. 南京: 南京大学.]
- Taylor MD, 1997. Accumulation of cadmium derived from fertilisers in New Zealand soils. *Science of the Total Environment*, 208(1/2): 123–126.
- Teng HM, Wang YP, Yan LQ, Cao FH, Hao HY, 2020. Resources and characteristics of wild oil plants in Zhongtiaoshan area. *China Oils and Fats*, 45(9): 137–144. [滕红梅, 王艳萍, 闫丽清, 曹发昊, 郝浩永, 2020. 中条山区域野生油脂植物资源及特征分析. 中国油脂, 45(9): 137–144.]
- Vanbergen AJ, Initiative TIP, 2013. Threats to an ecosystem service: Pressures on pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(5): 251–259.
- Wang CL, 2006. The analysis of biodiversity characteristic in farming-forestry ecotone. Master dissertation. Changchun: Northeast Normal University. [王春连, 2006. 农林交错带生物多样性特征分析. 硕士学位论文. 长春: 东北师范大学.]
- Wang MN, Ding SY, Lu XL, Cui Y, 2017. Response of pollinator diversity to geomorphic types and seasons in mountainous region of western Henan province, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 28(9): 2879–2887. [王美娜, 丁圣彦, 卢训令, 崔洋, 2017. 豫西山地传粉昆虫物种多样性对地貌和季节的响应. 应用生态学报, 28(9): 2879–2887.]
- Wang S, Xie LX, Chen H, Wu GA, Zhou H, Wang Y, Yu Y, Zheng L, Zhai YF, Yan Y, 2020. Toxicity and risk assessment of eight neonicotinoid insecticides to workers of *Bombus terrestris* (Hymenoptera: Apoidea). *Acta Entomologica Sinica*, 63(1): 29–35. [王烁, 谢丽霞, 陈浩, 吴光安, 周浩, 王瑜, 于毅, 郑礼, 翟一凡, 闫毅, 2020. 八种新烟碱类杀虫剂对地熊蜂工蜂的毒性及风险评估. 昆虫学报, 63(1): 29–35.]
- Wang MN, Lu XL, Cui Y, Wang MR, Ding SY, 2018. Effects of woodland types with different levels of human disturbance on pollinators: A case study in Gongyi, Henan, China. *Acta Ecologica Sinica*, 38(2): 464–474. [王美娜, 卢训令, 崔洋, 王梦茹, 丁圣彦, 2018. 不同人为干扰下林地类型对传粉昆虫的影响——以河南省巩义市为例. 生态学报, 38(2): 464–474.]
- Wei XP, Lin P, Wang H, Li Y, Li HJ, He XJ, 2020. Pollinator diversity of *Camellia oleifera* forest and foraging behavior of dominant species under different habitat of Guizhou. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 33(10): 2145–2152. [韦小平, 林平, 王海, 李应, 黎华君, 贺兴江, 2020. 贵州不同生境油茶林传粉昆虫的多样性及其优势种的访花行为. 西南农

- 业学报, 33(10): 2145–2152.]
- Wu Q, van A, Chen XX, 2016. An introduction to the types of Malaise traps and their application for collecting insects. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(3): 660–667. [吴琼, van Achterberg C, 陈学新, 2016. 昆虫诱集装置——马氏网的类型与使用. 应用昆虫学报, 53(3): 660–667.]
- Xie ZH, Xu HL, Yang P, 2011. Notes on monitoring, assessing and conserving pollinator biodiversity. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(3): 746–752. [谢正华, 徐环李, 杨璞, 2011. 传粉昆虫物种多样性监测、评估和保护概述. 应用昆虫学报, 48(3): 746–752.]
- Xin J, Dong FL, 2013. Problem facing of conservation and utilization of the insect diversity in China and its suggestion. *Gansu Agricultural Science and Technology*, 2013(1): 49–51. [辛娟, 董凤林, 2013. 我国昆虫多样性利用与保护面临的问题及建议. 甘肃农业科技, 2013(1): 49–51.]
- Yang DR, 2018. Research progress of pollinating insects. *Yunnan Agricultural Science and Technology*, 2018(Z1): 3–7. [杨大荣, 2018. 传粉昆虫的研究进展. 云南农业科技, 2018(Z1): 3–7.]
- Yang HB, Wang Y, Nie LY, Liang Q, Zhao LL, Meng LF, Bai J, 2018. Nutrients assessment of pear orchard soil on the loess-gully region of Shanxi: A case of Xi county. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 34(22): 89–96. [杨海波, 王媛, 聂磊云, 梁芊, 赵龙龙, 孟利峰, 白娟, 2018. 晋南黄土残塬沟壑区梨园土壤养分评价——以山西隰县为例. 中国农学通报, 34(22): 89–96.]
- Yu R, Jia YH, Cui JY, Wang XM, Guo SJ, Feng ZH, 2008. Toxicity of some pesticides commonly applied in protected agriculture to bumblebees. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 17(6): 222–224, 257. [于蓉, 贾永华, 崔静英, 王学梅, 郭守金, 冯志红, 2008. 设施农业生产常用农药对熊蜂的毒性. 西北农业学报, 17(6): 222–224, 257.]
- Zhang LW, Zhang HY, 2015. Research progress on ecological function of pollinating insects. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 43(7): 9–13. [张立微, 张红玉, 2015. 传粉昆虫生态作用研究进展. 江苏农业科学, 43(7): 9–13.]
- Zhao LL, 2020. Composition of wild pollinating insects on rosaceae fruit trees in northern China and influencing factors for it. *Plant Doctor*, 33(4): 28–32. [赵龙龙, 2020. 北方蔷薇科果树常见野生传粉昆虫的组成及影响因素. 植物医生, 33(4): 28–32.]
- Zheng Q, 2016. The effects of copper pollution to the abundance of arthropods and pollination of insects. Master dissertation. Wuhan: Hubei University. [郑琴, 2016. 矿区铜污染对节肢动物多样性和昆虫传粉行为的影响. 硕士学位论文. 武汉: 湖北大学.]
- Zhou LY, Ding SY, Lu XL, Liu YM, 2020. Effects of anthropogenic disturbance on species diversity and niche of dominant group in pollinators community. *Acta Ecologica Sinica*, 40(6): 2111–2121. [周立垚, 丁圣彦, 卢训令, 刘娅萌, 2020. 人为干扰对传粉昆虫群落物种多样性及其优势类群生态位的影响. 生态学报, 40(6): 2111–2121.]
- Zou Y, Liu JW, Li LK, Xiao ZJ, Chen FJ, 2020. Investigation and analysis of insect diversity in different habitats in Yanqing district of Beijing. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 57(5): 1161–1172. [邹言, 刘佳文, 李立坤, 肖子衿, 陈法军, 2020. 北京市延庆区不同生境昆虫多样性特征调查分析. 应用昆虫学报, 57(5): 1161–1172.]