

DOI: 10.5846/stxb202109032494

陆欢欢, 黄思程, 刘文平, 邓煜, 朱恒星, 赵凯旋, 魏玮, 杨文华, 黄敦元. 油橄榄传粉昆虫群落结构特征及多样性分析. 生态学报, 2022, 42(24): 10329-10337.

Lu H H, Huang S C, Liu W P, Deng Y, Zhu H X, Zhao K X, Wei W, Yang W H, Huang D Y. Structure characteristics and diversity analysis of pollinators of *Olea europaea*. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(24): 10329-10337.

油橄榄传粉昆虫群落结构特征及多样性分析

陆欢欢¹, 黄思程^{1,2}, 刘文平¹, 邓煜³, 朱恒星⁴, 赵凯旋¹, 魏玮¹, 杨文华¹, 黄敦元^{1,*}

1 重庆师范大学生命科学学院媒介昆虫重点实验室, 重庆 401331

2 西藏农牧学院资源与环境学院, 林芝 860000

3 甘肃省陇南市经济林研究院油橄榄研究所, 陇南 742500

4 重庆市林业科学研究院, 重庆 401331

摘要: 油橄榄 (*Olea europaea*) 是一种木本油料作物, 具有较高的药用价值和食用价值, 昆虫授粉是其风媒授粉的一种有效补充。为了解我国油橄榄主要种植区花期传粉昆虫群落差异、结构组成及分布规律, 对全国 13 个典型样地油橄榄花期传粉昆虫进行调查与采集, 采用物种优势度及多样性等指数对传粉昆虫的群落结构及多样性进行分析, 通过计算不同样地物种组成相似程度以量化传粉昆虫群落相似性。2020—2021 年在全国油橄榄种植区共采集并鉴定出 3 目 13 科 25 属 37 种 564 只昆虫, 优势度分析显示油橄榄优势传粉类群以蜜蜂科 (Apidae)、食蚜蝇科 (Syrphidae) 或蜜蜂科、隧蜂科 (Halictidae) 两种组合常见; 多样性分析显示重庆市万州区样地传粉昆虫多样性最高, 西昌市海滨中路样地最低。群落相似性分析结果显示陇南市所属样地被聚为一簇; 凉山州冕宁县样地、绵阳市松坪镇样地、重庆市奉节县样地、重庆市合川区样地的 4 个样地和西昌市南市区样地、绵阳市三台县样地、重庆市万州区样地的 3 个样地分别被聚为一簇。因此, 优势类群中的中华蜜蜂 (*Apis cerana cerana*)、意大利蜜蜂 (*Apis mellifera ligustica*) 和灰带管蚜蝇 (*Eristalis cerealis*) 等传粉昆虫可应用于油橄榄传粉服务, 同时为保证油橄榄传粉昆虫多样性及传粉效果, 应避免不合理的人为干扰和生境破坏。基于传粉昆虫多样性和群落相似度调查, 重庆市万州区样地的自然背景可为传粉昆虫适生生境改造提供参考, 并建议将西昌市海滨中路样地列为重点保护对象。中华蜜蜂、意大利蜜蜂和灰带管蚜蝇等优势传粉昆虫将有效应对油橄榄花粉资源限制问题, 后续油橄榄人工林的改造应着重考虑人为干扰和生境破坏对传粉昆虫的影响, 而传粉昆虫对油橄榄座果率及产量提升的贡献可基于本研究展开进一步探索。综上所述, 研究初步探明我国油橄榄传粉昆虫群落结构特征及多样性, 为利用昆虫辅助授粉解决油橄榄坐果率低下的问题提供新的视角。

关键词: 油橄榄; 传粉昆虫; 群落结构; 生物多样性

Structure characteristics and diversity analysis of pollinators of *Olea europaea*

LU Huanhuan¹, HUANG Sicheng^{1,2}, LIU Wenping¹, DENG Yu³, ZHU Hengxing⁴, ZHAO Kaixuan¹, WEI Wei¹, YANG Wenhua¹, HUANG Dunyuan^{1,*}

1 Chongqing Key Laboratory of Vector Insects, College of Life Sciences, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China

2 College of Resources and Environment, Tibet Agriculture and Animal Husbandry University, Linzhi 860000, China

3 Research Institute of Olive, Longnan Academy of Economic Forestry, Longnan 742500, China

4 Chongqing Academy of Forestry Sciences, Chongqing 401331, China

Abstract: *Olea europaea* is a woody oil crop with high medicinal and edible value, which of wind pollination is effectively

基金项目: 科技部科技基础资源调查专项 (2018FY100405); 国家自然科学基金项目 (31970484); 重庆师范大学研究生科研创新项目 (YKC20037)

收稿日期: 2021-09-03; **网络出版日期:** 2022-07-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 20170054@cqnu.edu.cn

supplemented by insect pollination. To explore the species differences, structural composition and distribution of pollinator of *O. europaea* during flowering in China, this study investigated and collected pollinators of *O. europaea* in 13 typical sample plots and the community structure and diversity of pollinators were analyzed by dominance indexes and diversity indexes etc. The community similarity of pollinators was quantified by calculating the similarity of species composition among the sample plots. 564 insects of 3 orders, 13 families, 25 genera and 37 species were collected and identified from 2020 to 2021. The dominance analysis showed the dominant groups of pollinators were either Apidae/Syrphidae or Apidae/Halictidae, and the diversity analysis indicated that the highest diversity index of pollinators was Wanzhou of Chongqing, while the lowest was Haibin middle road of Xichang. Sample plots of Longnan gather together by the results of community similarity analysis. In addition, Mianning of Liangshan, Songya of Mianyang, Fengjie of Chongqing, Hechuan of Chongqing, and Nanning of Xichang, Santai of Mianyang, Wanzhou of Chongqing were clustered into clusters, respectively. Therefore, the pollinators, as *Apis cerana cerana*, *Apis ligustica* and *Eristalis cerealis*, in the dominant groups can be used in pollination service of *O. europaea*. At the same time, unreasonable human interference and habitat destruction should be avoided to ensure the diversity and pollination effect of pollinators. Based on the investigation of pollinator diversity and community similarity, the natural background of the sample plot in Wanzhou of Chongqing can provide a reference for the transformation of pollinator habitat, and the sample plot in Haibin middle road of Xichang as the key protection object. The dominant pollinators identified, such as *A. cerana cerana*, *A. ligustica* and *E. cerealis* and so on, will effectively deal with the limitation of pollen resources of *O. europaea*. The effects of human disturbance and habitat destruction on pollinators should be considered in the subsequent transformation of *O. europaea* plantation, and the specific contribution of pollinators to the fruit setting rate and yield of *O. europaea* can be further explored based on this study. To sum up, this study preliminarily completed the exploration of community structure characteristics and diversity of pollinators of *O. europaea* in China, which provided a new perspective for using insect assisted pollination to solve the problem of low fruit setting rate of *O. europaea*.

Key Words: *Olea europaea* L.; pollinating insects; community structure; biological diversity

生态系统服务是指人类从生态系统中获取的各种直接与间接收益的总和,也是自然生态系统及其组成物种得以维持和满足人类生命活动的环境条件和过程^[1]。生态系统服务的形成与维持是人类文明和社会经济可持续发展的根基,其形成过程贯穿了自然环境系统和社会系统,而生物多样性是影响生态系统功能形成和制约生态系统服务发挥的关键因素之一^[2-4]。生物多样性是生物(动物、植物、微生物)与环境形成的生态复合体以及与此相关的各种生态过程的总和,其能够在从局部到景观的不同尺度上促进生态系统服务功能的提升,因而保护生物多样性已成为当前国内外自然资源保护实践的主要内容之一。

传粉昆虫是生物多样性的组成部分,也是生态系统中传粉服务的重要媒介,昆虫传粉在整个动物传粉生态服务中占比约 90%^[5]。以蜜蜂类为代表的传粉昆虫在维持陆地生态系统平衡的同时,也为人类带来直接和间接的利益。例如,世界上 87.5% 的被子植物、70% 的经济作物以及 35% 的粮食生产取决于以传粉昆虫为主的动物授粉,若传粉昆虫减少,将直接影响经济作物和野生植物的授粉服务功能^[6-8]。随着人类活动的加剧,适宜生境的丧失和碎片化、气候变化、杀虫剂的大量施用等因素导致传粉昆虫生物多样性受到了严重威胁^[9-10],所以开展一定范围的生物多样性调查与保护显得尤为重要,尤其是重点物种的调查保护。

油橄榄(*Olea europaea*)属木樨科(Oleaceae)木樨榄属(*Olea*)常绿乔木,起源于地中海盆地,是世界四大木本食用油料树种之一^[11]。我国油橄榄种植主要分布于甘肃、云南、四川、重庆等地^[12],其中甘肃陇南现有栽植面积达 3.33 万 hm^2 ,占全国栽植总面积 40% 以上^[13]。当前我国油橄榄产业发展迅速,种植面积逐年增加,但存在坐果率低、果实产量低等问题。因此,开展油橄榄花期传粉生态学的相关研究,对于提高油橄榄产量和新品种选育等方面均具有十分重要的意义。

油橄榄雌雄同株但自交不亲和,属典型异花授粉^[14-15],风媒传粉是实现油橄榄的异花授粉的主要途径^[15-16]。花粉粒的形态学研究表明油橄榄介于风媒传粉和虫媒传粉之间^[17-18],在自然条件下,虫媒传粉能够作为风媒传粉的有效补充,对增强油橄榄异花授粉具有一定的效果^[19-20]。因此,为阐明我国油橄榄传粉昆虫种类以及不同样地间传粉昆虫群落的分布规律,本研究开展了我国油橄榄传粉昆虫多样性调查,以期利用昆虫辅助授粉解决油橄榄因花粉资源限制而导致坐果率低下的问题提供新的思路。

1 材料与方法

1.1 样地设置

我国油橄榄适生区分为三大区域:白龙江低山河谷区(甘肃陇南),金沙江干热河谷区(云南丽江、四川西昌等地),长江三峡低山河谷区(重庆万州、奉节等地)^[21-22]。基于全面性、代表性和可达性原则,本研究在全国油橄榄主栽区域内,选取成片栽培且分布范围较广的 13 个典型样地,进行了油橄榄花期昆虫采集,以期全面调查油橄榄传粉昆虫多样性。具体样地信息见表 1。

表 1 油橄榄传粉昆虫采集样地
Table 1 Sampling plots for pollinators of *O. europaea*

编号 Number	样地 Sample plots	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔/m Altitude	生境类型 Habitat type	人为干扰程度 Degree of human interference	日期 Date
EP1	云南省楚雄州永仁县莲花乡	25°53'	101°40'	1519	简单 灌草丛(缺水)	较轻微 自动化灌溉	2020-04-08
EP2	云南省丽江市玉龙县大具乡	27°18'	100°15'	1728	中等 灌草丛	中等 人工除草	2021-04-11
EP3	四川省凉山州西昌市海滨中路	28°07'	102°11'	1626	简单 园区绿化、草坪	严重 旅游区	2020-04-10
EP4	四川省凉山州西昌市南宁区	27°44'	102°13'	1499	中等 灌草丛	中等 人工除草	2020-04-11
EP5	四川省凉山州冕宁县宏模镇	28°22'	102°09'	1672	较简单 杂交林、植被稀疏	较严重 施药除草	2021-04-22
EP6	四川省绵阳市经开区松坪镇	31°21'	104°51'	415	中等 园区绿化、开花植物	严重 较近居民区	2020-05-03
EP7	四川省绵阳市三台县赵家沟村	31°18'	104°57'	513	较复杂 天然杂交林、灌草丛	轻微 通行小路	2020-05-04
EP8	重庆市万州区百安坝街道	30°43'	108°27'	319	复杂 林地灌丛	轻微 几乎无干扰	2020-04-28
EP9	重庆市奉节县鹤峰乡	30°54'	109°32'	527	复杂 灌草丛	较轻微 通行小路	2021-05-09
EP10	重庆市合川区隆兴镇	30°10'	106°05'	324	复杂 林地灌丛	中等 村庄及农田道路	2020-05-03
EP11	甘肃省陇南市武都区桑家湾社区	33°24'	104°53'	1053	中等 灌草丛	中等 人工除草修枝	2021-05-12
EP12	甘肃省陇南市武都区两水镇	33°26'	104°48'	1175	较复杂 混交林	中等 少量施工地	2021-05-13
EP13	甘肃省陇南市武都区外纳乡	33°08'	105°00'	1128	中等 灌草丛	较严重 马路及住户	2020-05-09

EP: 实验样地 Experimental plot; EP1—13 表示 13 个采集实验样地;生境类型包括 5 个等级与主要植被类型,其中结合样地覆盖植被面积与种类,基于采集经验对样地生境类型进行相对等级划分;人为干扰程度包括 5 个等级与人为主要活动,根据采集样地实际情况进行人为干扰等级划分

1.2 昆虫采集与鉴定

2020 年 4 月—2021 年 5 月中旬,利用两年时间完成全国 13 个样地油橄榄花期传粉昆虫的采集及群落调查。油橄榄花期在传粉昆虫活跃时间段(8:00—17:00),对每个调查样地油橄榄传粉昆虫的情况进行初步踏查并根据踏查结果设置 5 个 200 m² 采集样方(每个样方间隔 300 m),每个样方由 1 人定点观测并扫网采集。将采集的传粉昆虫独立分装于 5 mL 冻存管带回实验室进行形态学鉴定和 DNA 条形码鉴定,其中形态学鉴定依据《中国动物志》、《中国经济昆虫志》、《浙江蜂类志》等文献资料^[23-25],检索出所属类群。对形态鉴定疑难种,借助 DNA 条形码 COI 序列,PCR 扩增采用通用引物^[26](LCO1490: 5'-GGTCAACAAATCATAAAGATATTGG-3'; HCO2198: 5'-TAAACTTCAGGGTGACCAAAAAATCA-3'),目的片段大小约为 700 bp。对 COI 序列进行质控剪切后,上传至生命条形码数据系统(http://www.boldsystems.org/index.php/IDS_OpenIdEngine),以相似性≥98%为判断依据进行鉴定,从而确定物种名称及分类信息。

1.3 数据分析

1.3.1 传粉昆虫多样性分析

利用 Excel 2019 软件建立 13 个样地油橄榄传粉昆虫分布信息数据库。基于不同科级和不同样地的角

度,分别统计传粉昆虫的物种丰富度 (Species richness, S)、个体数 (Individual number, N)、Berger-Parker 优势度指数 (Dominance index, D_{BP})。使用 Excel 2019 计算上述指数,计算公式见文献^[27],通过数量等级将物种划分为优势类群 ($D_{BP} \geq 10\%$)、常见类群 ($10\% > D_{BP} \geq 1\%$) 和稀有类群 ($D_{BP} < 1\%$)^[28]。样地间油橄榄传粉昆虫多样性分析包括群落丰富度、均匀度以及多样性 3 个层次^[29]。其中,丰富度包括 Chao1 指数^[30] (Chao1 index, Chao1) 和 Margalef 指数^[31] (Margalef's richness index, R_{Mar});均匀度包括 Simpson 均匀度指数^[32] (Equitability, J_{sim});多样性包括^[33] Shannon 多样性 (Shannon's diversity, H_{ens}) 和 Simpson 多样性 (Simpson's diversity, D_{ens})。不同多样性指数均使用 R 语言 vegan 包 estimateR 函数、diversity 函数计算。

1.3.2 传粉昆虫群落相似性分析

通过计算不同样地间群落组成相似程度或距离以量化传粉昆虫群落相似性。为减轻 Sørensen 相似性指数可用性的负面影响,本研究中油橄榄传粉昆虫群落相似性测度采用基于 Chao1 丰富度估计量的 Sørensen 相似性指数^[34] (Chao-Sørensen-Est Abundance-based, S_s)。使用 EstimateS 9.1.0 计算 S_s ,且使用 corplot 包绘制相似性图。根据 S_s 与 S_{1-s} 和为 1,转化计算 S_{1-s} 。基于 S_{1-s} 的数据,以中值非权重成对组法 (UPGMA) 的平均聚合聚类为分类策略,使用 R 语言执行 hclust 函数并设定选择观测的聚类群数量为 4 ($k=4$),从而分别对各样地种群特征进行定性层次分析。根据定性指数相似性原理划分样地间相似程度,当 $0.75 < S_s \leq 1.00$ 时,样地间为极相似; $0.50 < S_s \leq 0.75$ 时,为中等相似; $0.25 < S_s \leq 0.50$ 时,为中等不相似; $0 < S_s \leq 0.25$ 时,为极不相似。

2 结果与分析

2.1 油橄榄传粉昆虫群落组成

2020 年 4 月—2021 年 5 月,13 个采集样地共采集油橄榄传粉昆虫 564 只,隶属于 3 目 13 科 25 属,其中膜翅目 413 只、双翅目 132 只、鞘翅目 19 只 (表 2,附录 1)。优势类群为蜜蜂科 (Apidae)、食蚜蝇科 (Syrphidae),其中意大利蜜蜂 (*Apis mellifera ligustica*)、中华蜜蜂 (*Apis cerana cerana*) 和灰带管蚜蝇 (*Eristalis cerealis*) 的数量

表 2 油橄榄传粉昆虫群落组成
Table 2 Community composition of pollinators of *O. europaea*

类群 (目/科) Group (Order/Family)	物种数/个体数/优势度等级 Species richness/Individual number/Dominance level													共计 Total
	EP1	EP2	EP3	EP4	EP5	EP6	EP7	EP8	EP9	EP10	EP11	EP12	EP13	
鞘翅目 Coleoptera														
拟牛天科 Oedemeridae											1/2/B	1/1/B		1/3/C
金龟科 Scarabaeidae											1/6/B	1/4/B	1/6/A	1/16/B
双翅目 Diptera														
鼻蝇科 Rhiniidae										1/1/B				1/1/C
麻蝇科 Sarcophagidae										1/1/B				1/1/C
花蝇科 Anthomyiidae			1/2/A	1/1/B								1/2/B		1/5/C
食蚜蝇科 Syrphidae	1/2/A	3/14/A			3/6/B	1/1/B	1/4/A	1/3/B	4/14/A	2/11/A	3/36/A	4/27/A	2/7/A	8/125/A
膜翅目 Hymenoptera														
蜜蜂科 Apidae	1/6/A	3/9/A	1/5/A	3/14/A	2/58/A	2/29/A	3/8/A	6/29/A	7/90/A	5/68/A	3/12/A	5/10/A		10/338/A
隧蜂科 Halictidae	1/1/B	1/10/A		2/2/A		1/7/A	3/5/A	4/14/A	1/1/C		1/4/B	1/2/B	1/1/B	5/47/B
分舌蜂科 Colletidae	1/1/B					1/1/B		1/1/B						1/3/C
切叶蜂科 Megachilidae									1/1/C	1/6/B				1/7/B
胡蜂科 Vespidae				2/2/A		2/3/B	1/1/B	1/1/B			2/3/B	2/2/B		5/12/B
方头泥蜂科 Crabronidae	1/5/A													1/5/C
土蜂科 Scoliididae													1/1/B	1/1/C

A 表示优势类群,占采集量 10%以上;B 表示常见类群,占采集量 1%—10%;C 表示稀有类群,占采集量 1%以下;

占优;常见类群有隧蜂科(Halictidae)、金龟科(Scarabaeidae)、胡蜂科(Vespidae)与切叶蜂科(Megachilidae),其中以铜色隧蜂(*Seladonia aeraria*)、斯马蜂(*Polistes snelleni*)和灰地种蝇(*Delia platura*)等为主;稀有类群包含方头泥蜂科(Crabronidae)、花蝇科(Anthomyiidae)、拟牛天科(Oedemeridae)、分舌蜂科(Colletidae)、鼻蝇科(Rhiniidae)、麻蝇科(Sarcophagidae)与土蜂科(Scoliidae)。不同样地的优势类群均在2—3种(除凉山州冕宁县样地外),以蜜蜂科(Apidae)、食蚜蝇科(Syrphidae)或蜜蜂科(Apidae)、隧蜂科(Halictidae)两种组合常见。除重庆市奉节县样地存在2种稀有类群外,其他样地均不包含稀有类群;常见类群为(2.15±0.42)种,相比于其他样地,陇南市桑家湾社区样地和陇南市两水镇样地均出现拟牛天科(Oedemeridae)和金龟科(Scarabaeidae)物种。

2.2 不同样地油橄榄传粉昆虫群落多样性比较分析

多样性分析结果表明:油橄榄传粉昆虫物种数和个体数最多的是重庆市奉节县样地,物种数和个体数最少的是西昌市海滨中路样地; D_{BP} 指数最高的是重庆市奉节县样地,最低的是西昌市海滨中路样地; J_{sim} 指数最低的是陇南市两水镇样地,最高的是西昌市海滨中路样地; H_{ens} 指数和 D_{ens} 指数最高的是重庆市万州区样地,Chao1指数和 R_{Mar} 指数最高的是陇南市两水镇样地; H_{ens} 指数、 D_{ens} 指数、Chao1指数和 R_{Mar} 指数最低的均是西昌市海滨中路样地(表3)。综上所述,重庆市奉节县样地和万州区样地群落多样性程度较高,西昌市海滨中路样地群落多样性程度最低。

表3 不同样地传粉昆虫群落多样性指标
Table 3 Diversity index of pollinators community in different sampling plots

编号 Number	多样性指标 Diversity index							
	N	S	Chao1	R_{Mar}	D_{BP}	J_{sim}	H_{ens}	D_{ens}
EP1	15.00	5.00	5.50	1.48	0.03	0.67	5.91	3.36
EP2	33.00	7.00	8.50	1.72	0.06	0.54	6.61	3.79
EP3	7.00	2.00	2.00	0.51	0.01	0.84	3.82	1.69
EP4	19.00	8.00	23.00	2.38	0.03	0.39	6.75	3.14
EP5	64.00	5.00	5.00	0.96	0.11	0.37	4.45	1.86
EP6	41.00	7.00	8.50	1.62	0.07	0.50	6.27	3.49
EP7	18.00	8.00	11.00	2.42	0.03	0.70	8.52	5.59
EP8	48.00	13.00	13.25	3.10	0.09	0.62	12.10	8.00
EP9	106.00	13.00	15.00	2.57	0.19	0.33	8.16	4.30
EP10	87.00	10.00	13.00	2.02	0.15	0.37	6.99	3.74
EP11	63.00	11.00	11.60	2.41	0.11	0.29	7.21	3.20
EP12	48.00	15.00	27.00	3.62	0.09	0.24	8.85	3.63
EP13	15.00	5.00	8.00	1.48	0.03	0.60	5.58	3.00

N : 个体数 Individual number; S : 物种数 Species richness; Chao1: Chao1 指数 Chao1 index; R_{Mar} : Margalef 指数 Margalef's richness index; D_{BP} : Berger-Parker 优势度指数 Dominance index; J_{sim} : Simpson 均匀度指数 Equitability; H_{ens} : Shannon 多样性 Shannon's diversity; D_{ens} : Simpson 多样性 Simpson's diversity

2.3 不同样地油橄榄传粉昆虫群落物种相似性及聚类分析

根据相似性指数的结果(图1),在不同样地群落物种组成上,两两样地极为相似个数为16个、中等相似为38个、中等不相似为13个和极不相似为13个。其中,绵阳市三台县样地和西昌市南宁区样地相似度最高($S_s=0.97, P<0.01$),而陇南市外纳乡样地和西昌市海滨中路样地、西昌市南宁区样地及绵阳市松垭镇样地则没有相关性。结合聚类群观察数($k=4$),各簇内部均有相似物种,而各簇之间则以物种有无被区分。Ⅰ簇各样地均含有中华蜜蜂(*A. cerana cerana*)、灰带管蚜蝇(*E. cerealis*)和铜色隧蜂(*S. aerarius*);Ⅱ簇各样地均含有中华蜜蜂(*A. cerana cerana*)和意大利蜜蜂(*A. mellifera ligustica*),而Ⅱ簇样地间相似性主要受是灰带管蚜蝇(*E. cerealis*)、铜色隧蜂(*S. aerarius*)和中华木蜂(*Xylocopa sinensis*)等物种影响;Ⅲ簇西昌市海滨中路样地则以中华蜜蜂(*A. cerana cerana*)和灰地种蝇(*D. platura*)为主;Ⅳ簇则以灰带管蚜蝇(*E. cerealis*)和星花金龟属

(*Protaetia* sp.) 为主要特征。

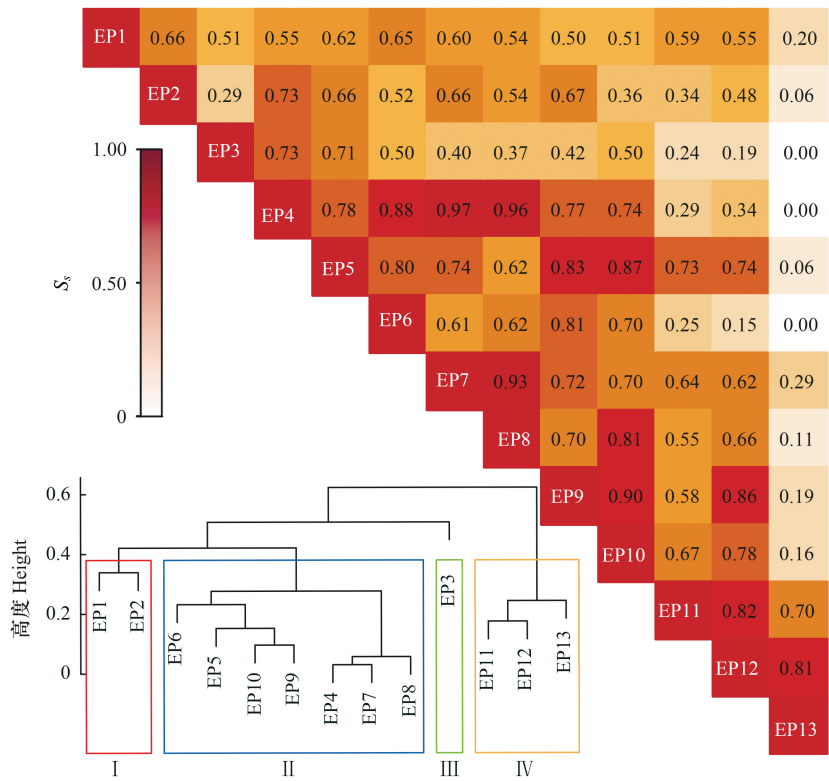


图 1 不同样地间的相似性分析及层次聚类分析

Fig.1 Similarity analysis and hierarchical cluster analysis between different sampling plots

EP1—13 表示 13 个采集实验样地;Ss: 基于 Chao1 丰富度估计量的 Sørensen 相似指数

3 讨论与结论

油橄榄广泛分布世界各地,现有种植面积达 1000 万 hm^2 ,有 1200 多个品种,其中我国先后从地中海地区引进了 150 多个品种^[15]。油橄榄雌雄同株,但由于大多数品种的花粉管穿过柱头表面后,其生长受到抑制从而导致成熟的花粉粒不能在柱头表面萌发,使油橄榄表现出自交不亲和现象,而花粉管生长停滞可能是受到程序性细胞死亡的干预,因此油橄榄为典型异花授粉植物^[14-15]。此外,油橄榄花期可产生大量花粉,但很少产生花蜜,研究表明油橄榄花粉粒呈椭圆形和三环沟形,其形态介于风媒种和虫媒种特征之间^[17-18],而风媒传粉的需求是该品种近期进化事件^[35]。自然条件下,虫媒传粉和风媒传粉共同作用以增强油橄榄异花授粉效果,而昆虫传粉协助植物异花授粉,有利于维持植物的遗传多样性,增强后代变异性 and 生境适应性^[5],因而,传粉昆虫对解决油橄榄的花粉资源限制与增强油橄榄后代适应性具有重要作用。本研究通过对油橄榄传粉昆虫调查发现,优势类群主要有蜜蜂科、食蚜蝇科和隧蜂科昆虫,其中数量最占优势的是中华蜜蜂、意大利蜜蜂、灰带管蚜蝇和铜色隧蜂。其他研究认为蜜蜂科和食蚜蝇科昆虫在提高植物坐果率与果实品质方面发挥着重要作用^[36-37],余海清等认为大叶金顶杜鹃的访花昆虫主要为双翅目食蚜蝇类和蝇类,膜翅目蜂类^[37];肖云丽等结果表明意大利蜜蜂授粉可以显著提高苹果、大樱桃的座果率、维生素 C 含量^[38]。因此,推测中华蜜蜂、意大利蜜蜂和灰带管蚜蝇等优势传粉昆虫对缓解油橄榄花粉资源限制,提高油橄榄坐果率起到积极作用。

昆虫群落相似性和物种多样性是衡量一定地区昆虫资源丰富程度的客观指标,但特定样地昆虫群落相似性和物种多样性又受当地生境和人为活动等因素的影响^[39]。在昆虫群落相似性方面,楚雄州永仁县样地和丽江市玉龙县样地在地理位置上相距较近,其自然背景环境相近可能导致两样地群落物种相似,陇南地区 3

个样地也如是;西昌市海滨中路样地和西昌市南宁区样地、凉山州冕宁县样地虽地理位置上相距较近,但由于西昌市海滨中路样地受到较大人为活动干扰,传粉昆虫数量骤减,与其他两个样地的传粉昆虫群落不相似。因此,形成各样地间传粉昆虫群落相似性的原因可能是区间自然环境相似性越高,昆虫群落物种越相似。这种推测与其他研究者的结论一致,如陈晓晓等对梵净山国家级自然保护区叶蝉群落结构特征的研究表明,自然环境的相似是昆虫群落物种相似的基础^[40];刘高峰和杨茂发认为各样地土壤甲螨群落的结构与其生境条件密切相关,生境异质性越高,狭布类群越多,类群相似性越低^[41]。

在昆虫物种多样性方面,西昌市海滨中路样地、西昌市南宁区样地和凉山州冕宁县样地由于海拔相对较高且种植林区内经常进行杂草杂灌清理导致粉(蜜)源植被覆盖度较低,尤其是西昌市海滨中路样地人类活动频繁,因此这些样地油橄榄传粉昆虫多样性较低。绵阳市三台县样地、重庆市万州区样地和重庆市奉节县样地海拔相对较低且在油橄榄林区保留大量野生植被,生境类型多样且几乎没有太多的人类活动,为各类昆虫的取食、栖息、繁殖提供了良好的自然条件,所以油橄榄传粉昆虫多样性相对较高。蔡东章和王德森的结果也表明由于林地中丰富的植物种类,针阔混交林、阔叶混交林和灌草丛中昆虫群落多样性的各项指标均较高^[42]。因此影响油橄榄传粉昆虫多样性的因素多样,但油橄榄种植区域内的植物群落(尤其是昆虫寄主植物及粉源植物)结构越复杂、生境类型越多样、人类干扰程度越小,生境质量就越优越,昆虫多样性就越高。

为增加油橄榄花期传粉昆虫多样性及群落结构稳定性,可通过减少过度人类干扰,保持油橄榄林区及其周边林区原有植被的覆盖,尤其是增加油橄榄同花期蜜(粉)源植物的多样性。本研究中传粉昆虫多样性较高的重庆市奉节县和重庆市万州区等样地的自然生境,可为传粉昆虫多样性低的西昌市海滨中路和绵阳市松垭镇等样地的传粉昆虫适生生境改造提供参考。总之,为利用传粉昆虫对油橄榄进行授粉,良好的设计规划和合理的保护措施便于保护和恢复昆虫类群赖以生存的生境,是保护昆虫多样性、保证昆虫资源可持续发展的关键。

参考文献(References):

- [1] 欧阳芳,赵紫华,戈峰.昆虫的生态服务功能.应用昆虫学报,2013,50(2):305-310.
- [2] 刘娅萌,卢训令,丁圣彦,周立垚,张晨晨.不同农业景观背景上传粉昆虫群落的分布差异.生态学报,2020,40(7):2376-2385.
- [3] Wood S A, Karp D S, DeClerck F, Kremen C, Naeem S, Palm C A. Functional traits in agriculture: agrobiodiversity and ecosystem services. Trends in Ecology & Evolution, 2015, 30(9): 531-539.
- [4] Lefcheck J S, Byrnes J E K, Isbell F, Gamfeldt L, Griffin J N, Eisenhauer N, Hensel M J S, Hector A, Cardinale B J, Duffy J E. Biodiversity enhances ecosystem multifunctionality across trophic levels and habitats. Nature Communications, 2015, 6: 6936.
- [5] Wardhaugh C W. How many species of arthropods visit flowers? Arthropod-Plant Interactions, 2015, 9(6): 547-565.
- [6] Aguilar R, Ashworth L, Galetto L, Aizen M A. Plant reproductive susceptibility to habitat fragmentation: review and synthesis through a meta-analysis. Ecology Letters, 2006, 9(8): 968-980.
- [7] Ollerton J, Winfree R, Tarrant S. How many flowering plants are pollinated by animals? Oikos, 2011, 120(3): 321-326.
- [8] Kleijn D, Winfree R, Bartomeus I, Carvalheiro L G, Henry M, Isaacs R, Klein A M, Kremen C, Gonigle L K, Rader R, Ricketts T H, Williams N M, Lee Adamson N, Ascher J S, Báldi A, Batúry P, Benjamin F, Biesmeijer J C, Blitzer E J, Bommarco R, Brand M R, Bretagnolle V, Button L, Cariveau D P, Chifflet R, Colville J F, Danforth B N, Elle E, Garratt M P D, Herzog F, Holzschuh A, Howlett B G, Jauber F, Jha S, Knop E, Krewenka K M, le Féon V, Mandelik Y, May E A, Park M G, Pisanty G, Reemer M, Riedinger V, Rollin O, Rundlöf M, Sardiñas H S, Scheper J, Sciligo A R, Smith H G, Steffan-Dewenter I, Thorp R, Tschamke T, Verhulst J, Viana B F, Vaissière B E, Veldtman R, Ward K L, Westphal C, Potts S G. Delivery of crop pollination services is an insufficient argument for wild pollinator conservation. Nature Communications, 2015, 6: 7414.
- [9] Vanbergen A J, Initiative T I P. Threats to an ecosystem service: pressures on pollinators. Frontiers in Ecology and the Environment, 2013, 11(5): 251-259.
- [10] 周立垚,丁圣彦,卢训令,刘娅萌.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,2020,40(6):2111-2121.
- [11] Cecchi L, Guerrini L, Bellumori M, Balli D, Xie P J, Parenti A, Mulinacci N. Optimization of the production process of dried unripe olives (*Olea europaea* L.) as a nutraceutical ingredient naturally rich in phenolic compounds. LWT, 2020, 129: 109569.

- [12] 袁颖. 油橄榄种植的科学区划. 中国林业, 2009(6): 48.
- [13] 方新高, 程军勇, 姜德志, 龙伟. 浙江油橄榄引种和产业发展现状及对策. 湖北林业科技, 2021, 50(3): 74-77.
- [14] Cuevas J, Polito V S. The role of staminate flowers in the breeding system of *Olea europaea* (Oleaceae): an andromonoecious, wind-pollinated taxon. *Annals of Botany*, 2004, 93(5): 547-553.
- [15] Zhu W Z, Zhou P, Xie J, Zhao G, Wei Z H. Advances in the pollination biology of olive (*Olea europaea* L.). *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(2): 64-71.
- [16] Kunin W E. Insect pollination of crops. *Bulletin of Entomological Research*, 1994, 84(2): 292-293.
- [17] Bartolini S, Minnocci A, Vitagliano C. Morphological studies on pollen in some clones of olive cv. "Leccino". *Agricoltura Mediterranea*, 1992, 122(4): 282-286.
- [18] Ricciardelli D, Albore G, Intoppa F. Fiori e Api. La flora visitata dalle Api e dagli altri Apoidei in Europa. Bologna, Edagricole, 2000: 253-254.
- [19] Griggs W H, Hartmann H T, Bradley M V, Iwakiri B T, Whisler J E. Olive pollination in California. *Bulletin of the California Agricultural Experiment Station*, 1975, 869: 45.
- [20] Giovanetti M. Do bees like olive? A preliminary analysis of honey bee behaviour on flowers of the wind-pollinated species *Olea europaea*. *Acta Horticulturae*, 2018(1199): 121-126.
- [21] 王贵禧, 俞宁, 邓明全, 刘星辰. 中国油橄榄发展概况. 林业科技通讯, 2000(1): 18-19.
- [22] 施宗明, 孙卫邦, 祁治林, 李云, 刘金凤. 中国油橄榄适生区研究. 植物分类与资源学报, 2011, 33(5): 571-579.
- [23] 吴燕如. 中国经济昆虫志 第九册(膜翅目 蜜蜂总科). 北京: 科学出版社, 1965.
- [24] 吴燕如. 中国动物志 昆虫纲 第二十卷 膜翅目 准蜂科 蜜蜂科. 北京: 科学出版社, 2000.
- [25] 何俊华. 浙江蜂类志. 北京: 科学出版社, 2004.
- [26] Folmer O, Black M, Hoeh W, Lutz R, Vrijenhoek R. DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Molecular Marine Biology and Biotechnology*, 1994, 3(5): 294-299.
- [27] 黄敦元, 黄世贵, 王建皓, 李红英, 窦飞越, 张可, 朱祥龙, 马方舟. 齐云山国家级自然保护区蝴蝶群落多样性. 生物多样性, 2020, 28(8): 958-964.
- [28] 栗金丽, 周国娜, 高明, 潘凡, 高立杰. 河北省坝上红松洼草原蝗虫群落结构与多样性调查. 植物保护学报, 2021, 48(1): 195-201.
- [29] 陈廷贵, 张金屯. 十五个物种多样性指数的比较研究. 河南科学, 1999, 17(S6): 55-57, 71.
- [30] Chao A. Nonparametric estimation of the number of classes in a population. *Scandinavian Journal of Statistics*, 1984, 11(4): 265-270.
- [31] Margalef D R. Information theory in ecology. *Memorias de la Real Academica de ciencias y artes de Barcelona*, 1957, 32(3): 374-559.
- [32] Simpson E H. Measurement of diversity. *Nature*, 1949, 163 (4148): 688.
- [33] Jost L. The new synthesis of diversity indices and similarity measures. [2021-08-08]. <http://loujost.com/Statistics%20and%20Physics/Diversity%20and%20Similarity/EffectiveNumberOfSpecies.htm>
- [34] Chao A. A new statistical approach for assessing compositional similarity based on incidence and abundance data. *Ecology Letters*, 2005, 8: 148-159.
- [35] Baker H G, Proctor M, Yeo P. The pollination of flowers. *The Journal of Ecology*, 1974, 62(1): 347.
- [36] 张九东, 王琳, 隋洁, 田先华, 任毅. 铁破锣花序的开花特性与昆虫传粉的相互关系研究. 西北植物学报, 2018, 38(9): 1667-1673.
- [37] 余海清, 帅伟, 姜欣华, 刘燕云, 廖成云, 姬慧娟, 马文宝. 大叶金顶杜鹃繁育系统研究. 四川林业科技, 2021, 42(5): 40-47.
- [38] 肖云丽, 唐文颖, 刘存辉, 于凯, 公义, 杨勤民, 张玉国, 曲诚怀, 王利平, 国栋, 于玲雅. 壁蜂及蜜蜂授粉对苹果和大樱桃授粉服务功能分析. 应用昆虫学报, 2019, 56(6): 1235-1242.
- [39] 郑晓旭, 肖能文, 赵慕华, 文栋, 何帅洁, 李雪梅, 杨凤连, 吴刚. 湖北三峡库区兴山县昆虫多样性调查与评估. 昆虫学报, 2020, 63(12): 1497-1507.
- [40] 陈晓晓, 高娅蓉, 熊康宁, 宋月华. 梵净山国家级自然保护区叶蝉群落结构特征. 环境昆虫学报, 2021, 43(4): 934-949.
- [41] 刘高峰, 杨茂发. 梵净山土壤甲螨群落结构与多样性调查. 安徽农业科学, 2011, 39(1): 142-144, 197.
- [42] 蔡东章, 王德森. 河南鸡公山国家级自然保护区昆虫多样性研究. 环境昆虫学报, 2021, 43(3): 594-600.

附录 1 油橄榄传粉昆虫种类和数量

Appendix 1 Species and individual number of pollinators in *O. europaea*

目名 Order	科名 Family	属名 Genus	种名 Species	数量 Number
鞘翅目	拟牛天科(Oedemeridae)	双拟天牛属(<i>Ditylus</i>)	<i>Ditylus</i> sp.	3
Coleoptera	金龟科(Scarabaeidae)	星花金龟属(<i>Protaetia</i>)	<i>Protaetia</i> sp.	16
双翅目	鼻蝇科(Rhiniidae)	口鼻蝇属(<i>Stomorhina</i>)	不显口鼻蝇(<i>S. obsoleta</i>)	1
Diptera	麻蝇科(Sarcophagidae)	亚麻蝇属(<i>Parasarcophaga</i>)	结节亚麻蝇(<i>P. tuberosa</i>)	1
	花蝇科(Anthomyiidae)	地种蝇属(<i>Delia</i>)	灰地种蝇(<i>D. platara</i>)	5
	食蚜蝇科(Syrphidae)	优食蚜蝇属(<i>Eupeodes</i>)	大灰优食蚜蝇(<i>E. corollae</i>)	14
		黑带食蚜蝇属(<i>Episyrphus</i>)	黑带食蚜蝇(<i>E. balteatus</i>)	2
		管蚜蝇属(<i>Eristalis</i>)	灰带管蚜蝇(<i>E. cerealis</i>)	94
		鼓额食蚜蝇属(<i>Scaeva</i>)	高加索鼓额食蚜蝇(<i>S. caucasica</i>)	1
		粗股蚜蝇属(<i>Syritta</i>)	黄环粗股蚜蝇(<i>S. pipiens</i>)	1
			印度粗股蚜蝇(<i>S. indica</i>)	4
		细腹蚜蝇属(<i>Sphaerophoria</i>)	印度细腹食蚜蝇(<i>S. indiana</i>)	4
		宽盾蚜蝇属(<i>Phytomia</i>)	羽芒宽盾蚜蝇(<i>P. zonata</i>)	5
膜翅目	蜜蜂科(Apidae)	蜜蜂属(<i>Apis</i>)	意大利蜜蜂(<i>A.</i>)	104
Hymenoptera			中华蜜蜂(<i>A. cerana cerana</i>)	182
			<i>Apis</i> sp.	11
		熊蜂属(<i>Bombus</i>)	短头熊蜂(<i>B. breviceps</i>)	9
			黑足熊蜂(<i>B. atripes</i>)	1
		芦蜂属(<i>Ceratina</i>)	冲绳芦蜂(<i>C. okinawana</i>)	5
			南方芦蜂(<i>C. cognata</i>)	4
			拟黄芦蜂(<i>C. hieroglyphica</i>)	2
		木蜂属(<i>Xylocopa</i>)	中华木蜂(<i>X. sinensis</i>)	10
			竹木蜂(<i>X. nasalis</i>)	10
	隧蜂科(Halictidae)	淡脉隧蜂属(<i>Lasioglossum</i>)	红镰淡脉隧蜂(<i>L. rubsectum</i>)	3
			<i>Lasioglossum</i> sp.-1	4
			<i>Lasioglossum</i> sp.-2	9
			近淡脉隧蜂(<i>L. affine</i>)	8
		隧蜂属(<i>Halictus</i>)	铜色隧蜂(<i>Seladonia aeraria</i>)	23
	分舌蜂科(Colletidae)	叶舌蜂属(<i>Hylaeus</i>)	<i>H. nobuyukii</i> (无中文名)	3
	切叶蜂科(Megachilidae)	壁蜂属(<i>Osmia</i>)	<i>Osmia</i> sp.	7
	胡蜂科(Vespidae)	直盾蜾蠃属(<i>Stenodynerus</i>)	中华直盾蜾蠃(<i>S.chinensis chinensis</i>)	3
		佳盾蜾蠃属(<i>Euodynerus</i>)	日本佳盾蜾蠃(<i>E. nipanicus</i>)	1
		黄胡蜂属(<i>Vespula</i>)	细黄胡蜂(<i>V. flaviceps</i>)	1
		马蜂属(<i>Polistes</i>)	斯马蜂(<i>P. snelleni</i>)	5
			中华马蜂(<i>P. chinensis</i>)	2
	方头泥蜂科(Crabronidae)	阳完眼泥蜂属(<i>Solierella</i>)	<i>S. cypriaca</i> (无中文名)	5
	土蜂科(Scoliidae)	长腹土蜂属(<i>Campsomeris</i>)	金毛长腹土蜂(<i>C. prismatica</i>)	1