中国油茶主产区传粉昆虫群落多样性分析*

张 欢[1**] 刘文平[1] 魏 玮[1] 赵凯旋[1] 陆欢欢[1] 李红英[1]
周泽扬[1] 牛泽清[2] 朱朝东[2***] 黄敦元[1***]

（1. 农业农村部长江上游传粉昆虫资源保护与利用重点实验室（部省共建），重庆师范大学生命科学学院，重庆 401331；
2. 中国科学院动物研究所，北京 100101）

摘 要 **【目的】** 油茶是我国特有的传统木本食用油料植物，具有较高的食用和药用价值，自花授粉结实率低，主要依靠传粉昆虫授粉。为综合了解我国油茶花期传粉昆虫种类，以及不同地区传粉昆虫群落差异，以期为油茶传粉昆虫的保护与利用提供本底资料。**【方法】** 于 2015-2020 年，采用定时扫网法对全国 16 个省份 80 个样地进行传粉昆虫采集与鉴定，采用物种均匀度、优势度及丰富度等指数对传粉昆虫进行多样性分析。**【结果】** 共采集到油茶传粉昆虫 4 379 只，分别隶属于 6 目 26 科 53 属 90 种，主要以膜翅目和双翅目为主。其中，地蜂科（Andrenidae）、蜜蜂科（Apidae）、胡蜂科（Vespidae）、分舌蜂科（Colletidae）和食蚜蝇科（Syrphidae）分别占传粉昆虫总数的 28.48%、24.27%、16.78%、10.78%和 10.12%。油茶传粉昆虫物种数（*S*）、个体数（*N*）、Shannon-Wiener 多样性指数（*H′*）和 Berger-Parker 优势度指数（*D*）最高的样地均是湖南省永州市林业科学研究所油茶基地，最低的是广西壮族自治区来宾市维都林场油茶基地；丰富度指数（*Chao1*）最高是福建南平市武夷山市五夫镇样地，最低的是广西壮族自治区来宾市维都林场油茶基地；Pielou 均匀度指数（*J′*）最高的是湖南省永州市林业科学研究所油茶基地，而较低的是云南省文山州广南县莲城镇、江西省吉安市峡江县戈坪乡和福建省福州市闽侯县荆溪镇样地。福建三明市沙县高砂镇与安徽黄山市歙县徽城镇样地相似性系数最高（*CS* = 0.97），而江西省新余市渝水区水北镇与福建省福州市晋安区岭头山乡、陕西省汉中市南郑区新集镇样地的相似性系数均最低（*CS* = 0.07）。**【结论】** 油茶传粉昆虫优势类群中的地蜂科和分舌蜂科物种均属土壤筑巢野生蜜蜂，成虫活动期与油茶花期高度吻合，是油茶专性传粉者，对解除油茶花粉资源限制，提高油茶产量起到重要的作用。

关键词 油茶；传粉昆虫；优势类群；多样性

Pollinator communities diversity in the main *Camellia oleifera* producing areas of China

ZHANG Huan[1**] LIU Wen-Ping[1] WEI Wei[1] ZHAO Kai-Xuan[1]
LU Huan-Huan[1] LI Hong-Ying[1] ZHOU Ze-Yang[1] NIU Ze-Qing[2]
ZHU Chao-Dong[2***] HUANG Dun-Yuan[1***]

(1. Key Laboratory of Conservation and Utilization of Pollinator Resources in the Upper Reaches of the Yangtze River of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China;
2. Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract **[Objectives]** To investigate the main of pollinators of *Camellia oleifera*, a woody plant endemic to China that has a high edible oil content and medicinal value, differences in pollinator communities in different regions, and provide information useful for the conservation and utilization of pollinators. **[Methods]** Pollinators of *C. oleifera* were collected and identified at 80 sample sites in 16 provinces using the timed sweep-net method between 2015 and 2020. Pollinator diversity

*资助项目 Supported projects：国家自然科学基金（31970484）；科技部基础资源调查专项（2018FY100405）；重庆市自然科学基金（CSTB2022NSCQ-MSX0985）；重庆师范大学研究生科研创新项目（YKC21051）

**第一作者 First author，E-mail：1652236138@qq.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors，E-mail：20170054@cqnu.edu.cn；zhucd@ioz.ac.cn

收稿日期 Received：2022-07-21；接受日期 Accepted：2022-09-24

was analyzed using indices of species evenness, dominance and richness. **[Results]** A total of 4 379 pollinators were collected and classified into 6 orders, 26 families, 53 genera and 90 species. The main orders were the Hymenoptera and Diptera. Among these, the Andrenidae, Apidae, Vespidae, Colletidae and Syrphidae comprised 28.48%, 24.27%, 16.78%, 10.78%, and 10.12% of the total number of pollinators, respectively. The Yongzhou forestry research institute in Hunan had the highest number of species (*S*), number of individuals (*N*), Shannon-Wiener diversity index (*H'*), and Berger-Parker dominance index (*D*), of pollinators, whereas the Weidu forestry farm in Laibin city Guangxi had the lowest of these indices. Wufu town, Wuyishan city in Nanping city, Fujian had the highest richness correlation index (*Chao1*), whereas the Weidu forest farm had the lowest. The Yongzhou forestry science research institute had the highest Pielou evenness index (*J'*) whereas Liancheng town, Guangnan county, Wenshan city, Yunnan, Geping town, Xiajiang county, Jian city in Jiangxi, and Jingxi town, Minhou county, Fuzhou city, Fujian, had the lowest. A community similarity analysis showed that Gaosha town, Shaxian county, Sanming city in Fujian, and Huicheng town, Shexian county, Huangshan city, Anhui, had the highest similarity coefficient (*CS* =0.97), whereas Shuibei town, Yushui county, Xinyu city in Jiangxi, and Lingtoushan town, Jinan county, Fuzhou city, Fujian and Xinji town, Nanzheng county Hanzhong city in Shaanxi, had the lowest (*CS*=0.07). **[Conclusion]** Members of the Andrenidae and Colletidae families, soil-nesting wild bees, are the dominant pollinators of *C. oleifera*. The activity periods of these bees coincide with the flowering period of *C. oleifera* and they are important pollinators of this plant.

Key words *Camellia oleifera*; pollinators; dominant species; diversity

传粉昆虫是生物多样性的组成部分之一，在维持生态系统方面发挥着重要作用，尤其是在农业生产方面，它所提供的传粉服务是保障全球粮食安全的重要措施（段美春等，2014；Connelly *et al.*，2015；戴漂漂等，2015）。据报道，全球超过 85%以上的农作物都依靠昆虫等动物授粉(Kremen，2018)。但随着栖息地环境破坏、气候变化及杀虫剂的大量施用等因素导致传粉昆虫多样性下降，而间接影响了农作物的授粉服务功能(Vanbergen and Initiative，2013；Siviter *et al.*，2018)。所以开展传粉昆虫多样性调查为促进传粉物种保护和授粉服务应用功能的整体提升显得尤为重要。

油茶 *Camellia oleifera* 属山茶科 Theaceae 山茶属 *Camellia* 植物，是我国重要的木本食用油料作物（庄瑞林，1998；王瑞和陈永忠，2015），适宜在气候暖和、坡度缓和酸性土壤上生长（吴丽等，2017；黎木相，2022）。我国现有油茶种植面积 480 万 hm^2，预计到 2025 年，油茶种植面积将达到 600 万 hm^2，茶油产量 200 多万吨，可解决 1-2 亿人的食用油问题（国家林业和草原局，2020）。油茶是典型的异花授粉植物，自交不亲和，主要依靠传粉昆虫实现异花授粉，传粉昆虫的多样性及主要传粉昆虫的丰富度直接影响油茶座果率，进而影响油茶产量（邓园艺等，2011；黄华艳等，2014；韦维等，2017；Li *et al.*，2021a）。

目前，油茶相关研究主要集中在品种选育、肥水管理及病虫害防治等高效栽培方面（谷平等，2017；王金凤等，2020；徐安糠等，2021；张立伟和王辽卫，2021），而在传粉昆虫多样性方面的研究相对匮乏。尽管已有油茶传粉昆虫种类调查的报道，但该类调查研究都局限于单一省份，如罗辑等（2014）对广西壮族自治区 5 个油茶样地的传粉昆虫调查，发现油茶主要传粉昆虫为蜜蜂科（Apidae）、胡蜂科（Vespidae）和食蚜蝇科（Syrphidae）；韦小平等（2020）对贵州省油茶传粉昆虫的多样性进行相关研究，发现贵州省境内油茶传粉昆虫主要由地蜂科（Andrenidae）、蜜蜂科与胡蜂科昆虫组成。单一省份的调查不能全面反映我国油茶传粉昆虫资源的全面性，且不同省份也会因气候或地域差异，导致传粉昆虫主要种类不同。因此，本研究在全国油茶主要栽培区开展油茶传粉昆虫调查，旨在了解全国油茶传粉昆虫种类，以及不同样地间传粉昆虫群落的分布规律，一方面为更好地保护和利用传粉昆虫资源提供依据，另一方面也为后续如何保护和合理利用当地的传粉昆虫资源解决油茶异花授粉提供新的视角。

1　材料与方法

1.1　样地设置

根据地理条件和物种适应性, 我国油茶可划分为四大分布区：中心栽培区、南部边缘区、西部适宜栽培区和北部边缘区（黄志伟等, 2016）。基于可达性、代表性和全面性原则, 本研究在四大区域内选择了 80 个油茶树长势良好, 且种植面积不小于 5.0 hm^2 的样地（PL1–PL80）进行油茶传粉昆虫多样性调查, 研究样地基本覆盖我国油茶主产区（表 1）。

表 1　油茶传粉昆虫采集样地具体信息

Table 1　Sample plots of pollinators in *Camellia oleifera*

编号 Number	样地 Sample plots	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔（m） Altitude (m)	日期 Date
PL1	江西省九江市九江县马回岭镇 Mahuiling town of Jiujiang county of Jiujiang city in Jiangxi	29°27′	115°47′	42	2015.11.25
PL2	江西省九江市星子县海会镇 Haihui town of Xingzi county of Jiujiang city in Jiangxi	29°32′	116°03′	65	2015.11.26
PL3	江西省新余市渝水区水北镇 Shuibei town of Yushui district of Xinyu city in Jiangxi	28°04′	115°03′	60	2016.12.01
PL4	江西省抚州市黎川县日峰镇 Rifeng town of Lichuan county of Fuzhou city in Jiangxi	27°18′	116°55′	246	2015.10.26
PL5	江西省新余市渝水区罗坊镇 Luofang town of Yushui district of Xinyu city in Jiangxi	27°52′	115°07′	289	2016.12.15
PL6	江西省上饶市鄱阳县游城乡 Youcheng town of Poyang county of Shangrao city in Jiangxi	29°14′	116°49′	59	2016.11.09
PL7	江西省赣州市崇义县铅厂镇 Qianchang town of Chongyi county of Ganzhou city in Jiangxi	25°38′	114°17′	549	2016.11.25
PL8	江西省赣州市章贡区湖边镇 Hubian town of Zhanggong district of Ganzhou city in Jiangxi	25°53′	114°54′	138	2015.11.29
PL9	江西省宜春市丰城市董家镇 Dongjia town of Fengcheng city of Yichun city in Jiangxi	28°16′	115°30′	75	2015.10.23
PL10	江西省吉安市峡江县戈坪乡 Geping town of Xijiang county of Jian city in Jiangxi	27°39′	115°07′	265	2017.10.24
PL11	江西省赣州市石城县松山下镇 Songshanxia town of Shicheng county of Ganzhou city in Jiangxi	26°22′	116°22′	248	2018.10.26
PL12	江西省赣州市石城县珠坑乡 Zhukeng town of Shicheng county of Ganzhou city in Jiangxi	26°12′	116°21′	289	2016.12.15
PL13	江西省赣州市赣县区沙地镇 Shadi town of Ganzhou county of Ganzhou city in Jiangxi	26°06′	114°48′	232	2017.11.09
PL14	江西省赣州市崇义县思顺乡 Sishun town of Chongyi county of Ganzhou city in Jiangxi	25°49′	114°03′	615	2017.11.25
PL15	江西省赣州市兴国县茶园乡 Chayuan town of Xingguo county of Ganzhou city in Jiangxi	26°28′	115°09′	386	2017.10.25
PL16	江西省抚州市黎川县龙安镇 Longan town of Lichuan county of Fuzhou city in Jiangxi	27°14′	116°48′	278	2016.11.27

续表 1 (Table 1 continued)

编号 Number	样地 Sample plots	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔（m） Altitude (m)	日期 Date
PL17	江西省吉安市泰和县老营盘镇 Laoyingpan town of Taihe county of Jian city in Jiangxi	26°34′	115°13′	357	2017.11.17
PL18	陕西省汉中市西乡县堰口镇 Yankou town of Xixiang county of Hanzhong city in Shanxi	33°01′	107°53′	619	2018.10.30
PL19	陕西省汉中市南郑区新集镇 Xinji town of Nanzheng district of Hanzhong city in Shanxi	32°56′	106°47′	669	2018.11.30
PL20	陕西省安康市汉滨县洪山镇 Hongshan town of Hanbin county of Ankang city in Shanxi	32°41′	108°43′	558	2018.11.01
PL21	陕西省汉中市南郑区元坝镇 Yuanba town of Nanzheng district of Hanzhong city in Shanxi	32°50′	106°35′	605	2016.11.16
PL22	陕西省安康市汉阴县龙垭镇 Longya town of Hanyin county of Ankang city in Shanxi	33°01′	108°33′	568	2016.11.19
PL23	广东省茂名市化州市中垌镇 Zhongtong town of Huazhou county of Maoming city in Guangdong	21°52′	110°27′	57	2018.12.10
PL24	广东省广州市花都区赤坭镇 Chini town of Huadu district of Guangzhou city in Guangdong	23°28′	113°01′	41	2017.11.16
PL25	广东省河源市东源县漳溪乡 Zhangxi town of Dongyuan county of Heyuan city in Guangdong	24°04′	114°55′	227	2017.11.07
PL26	广东省珠海市香洲区南屏镇 Nanping town of Xiangzhou district of Zhuhai city in Guangdong	22°12′	113°29′	216	2018.11.15
PL27	广东省梅州市兴宁市新陂镇 Xinpi town of Xingning county of Meizhou city in Guangdong	24°07′	115°37′	213	2018.11.17
PL28	广东省东莞市长安镇 Changan town of Dongguang city in Guangdong	22°48′	113°42′	653	2019.11.15
PL29	云南省文山州广南县莲城镇 Liancheng town of Guangnan county of Wenshan prefecture in Yunnan	24°02′	105°02′	1 232	2020.10.24
PL30	云南省玉溪市易门县龙泉镇 Longquan town of Yimen county of Yuxi city in Yunnan	24°38′	102°11′	1 622	2020.10.25
PL31	湖南省衡阳市耒阳市遥田镇 Yaotian town of of Leiyang county of Hengyang city in Hunan	26°31′	112°49′	147	2015.11.15
PL32	湖南省永州市道县祥霖铺镇 Xianglinpu town of Dao county of Yongzhou city in Hunan	26°28′	112°47′	99	2016.11.17
PL33	湖南省永州市林业科学研究所油茶基地 Yongzhou forestry research institute in Hunan	26°23′	111°45′	152	2017.11.14
PL34	湖南省长沙市望城区 Wangcheng district of Changsha city in Hunan	28°19′	112°48′	76	2019.12.08
PL35	湖南省衡阳市耒阳市哲桥镇 Zheqiao town of Leiyang county of Hengyang city in Hunan	26°28′	112°48′	82	2019.12.16
PL36	湖南省怀化市城北区 Chengbei district of Huaihua city in Hunan	27°17′	110°11′	292	2016.10.18

续表 1 (Table 1 continued)

编号 Number	样地 Sample plots	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔（m） Altitude (m)	日期 Date
PL37	湖南省永州市道县长江圩镇 Changjiangxu town of Dao county of Yongzhou city in Hunan	25°19′	111°31′	193	2018.11.24
PL38	湖南省株洲市攸县网岭镇 Wangling town of You county of Zhuzhou city in Hunan	27°16′	113°25′	128	2018.10.31
PL39	湖南省怀化市芷江县岩桥镇 Yanqiao town of Zhijiang county of Huaihua city in Hunan	27°27′	109°46′	268	2017.11.15
PL40	湖南省岳阳市岳阳楼区 Yueyanglou district of Yueyang city in Hunan	29°20′	113°07′	38	2015.12.06
PL41	福建省福州市晋安区岭头山乡 Lingtoushan town Jinan district of Fuzhou city in Fujian	26°09′	119°16′	435	2015.12.03
PL42	福建省龙岩市新罗区和溪镇 Hexi town of Xinluo district of Longyan city in Fujian	24°53′	117°13′	253	2018.11.26
PL43	福建省福州市闽侯县荆溪镇 Jingxi town of Minhou county of Fuzhou city in Fujian	26°28′	119°32′	239	2018.11.24
PL44	福建省南平市武夷山市五夫镇 Wufu town of Wuyishan county of Nanping city in Fujian	27°38′	118°12′	242	2018.11.29
PL45	福建省三明市沙县高砂镇 Gaosha town of Sha county of Sanming city in Fujian	26°25′	117°54′	216	2016.12.01
PL46	福建省南平市光泽县寨里镇 Zhaili town of Guangze county of Nanping city in Fujian	27°42′	117°24′	284	2017.11.24
PL47	福建省龙岩市上杭县官庄乡 Guanzhuang town of Shanghang county of Longyan city in Fujian	25°22′	116°19′	253	2016.11.27
PL48	浙江省金华市婺城区白龙桥镇 Bailongqiao town of Wucheng district of Jinhua city in Zhejiang	29°01′	119°29′	84	2018.11.25
PL49	浙江省衢州市开化县马金镇 Majin town of Kaihua county of Quzhou city in Zhejiang	29°16′	118°22′	228	2017.11.25
PL50	浙江省温州市苍南县桥墩镇 Qiaodun town of Cangnan county of Wenzhou city in Zhejiang	27°27′	120°15′	436	2018.11.24
PL51	浙江省金华市武义县坦洪乡 Tanhong town of Wuyi county of Jinhua city in Zhejiang	28°41′	119°38′	266	2019.11.26
PL52	浙江省丽水市青田县章旦乡 Zhangdan town of Qingtian county of Lishui city in Zhejiang	28°04′	120°13′	720	2020.11.25
PL53	四川省自贡市荣县铁厂乡 Tiechang town of Rongxian county of Zigong city in Sichuan	29°27′	104°19′	501	2020.11.19
PL54	四川省自贡市荣县保华镇 Baohua town of Rong county of Zigong city in Sichuan	29°24′	104°11′	492	2018.11.27
PL55	四川省宜宾市南溪县罗龙镇 Luolong town of Nanxi county of Yibin city in Sichuan	28°52′	104°54′	432	2018.11.03
PL56	四川省乐山市犍为县龙孔镇 Longkong town of Qianwei county of Leshan city in Sichuan	29°12′	104°31′	336	2018.11.04
PL57	海南省屯昌县南坤镇 Nankun town of Tunchang county in Hainan	19°20′	110°01′	132	2018.11.16

续表 1 (Table 1 continued)

编号 Number	样地 Sample plots	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔（m） Altitude (m)	日期 Date
PL58	海南省琼中县亭岭镇 Tingling town of Qiongzhong county in Hainan	19°10′	109°57′	267	2018.11.19
PL59	海南省定安县高林乡 Gaolin town of Dingan county in Hainan	19°34′	110°28′	54	2018.11.15
PL60	河南省信阳市新县周河乡 Zhouhe town of Xin county of Xinyang city in Henan	31°36′	115°03′	287	2018.10.24
PL61	河南省信阳市商城县长竹园乡 Changzhuyuan town of Shangcheng county of Xinyang city in Henan	31°30′	115°14′	314	2018.12.25
PL62	湖北省恩施州巴东县溪丘湾乡 Xiqiuwan town of Badong county of Enshi prefecture in Hubei	30°17′	109°33′	671	2019.10.29
PL63	湖北省黄冈市麻城市福田河镇 Futianhe town of Macheng city of Huanggang city in Hubei	31°13′	115°07′	58	2019.11.28
PL64	重庆市秀山县石堤镇 Shidi town of Xiushan county in Chongqing	28°25′	109°07′	544	2020.12.15
PL65	重庆市酉阳县五福镇 Wufu town of Youyang county in Chongqing	28°59′	108°58′	318	2020.12.17
PL66	江苏省南宁江宁区禄口街道 Lukou Street of Jiangning district of Nanning city in Jiangsu	31°40′	118°52′	96	2015.12.15
PL67	安徽省黄山市歙县徽城镇 Huicheng town of She county of Huangshan city in Anhui	29°49′	118°22′	210	2015.12.17
PL68	安徽省黄山市屯溪区 Tunxi district of Huangshan city in Anhui	29°43′	118°19′	190	2016.12.19
PL69	安徽省池州市青阳县蓉城镇 Rongcheng town of Qingyang county of Chizhou city in Anhui	30°12′	117°24′	163	2017.12.05
PL70	安徽省黄山市徽州区 Huizhou district of Huangshan city in Anhui	30°21′	118°01′	168	2018.12.23
PL71	安徽省黄山市祁门县塔坊乡 Tafang town of Qimen county of Huangshan city in Anhui	29°47′	117°40′	148	2018.12.21
PL72	安徽省六安市舒城县汤池镇 Tangchi town of Shucheng county of Liuan city in Anhui	31°14′	116°52′	106	2018.12.25
PL73	广西壮族自治区柳州市城中区 Chengzhong district of Liuzhou city in Guangxi	24°21′	109°28′	197	2018.11.12
PL74	广西壮族自治区来宾市维都林场油茶基地 Weidu forestry farm of Laibin city in Guangxi	23°34′	109°09′	66	2018.11.15
PL75	广西壮族自治区桂林市灌阳县新圩镇 Xinxu town of Guanyang county of Guilin city in Guangxi	25°35′	111°07′	393	2018.12.03
PL76	广西壮族自治区桂林市叠彩区大河乡 Dahe town of Diacai district of Guilin city in Guangxi	25°17′	110°21′	188	2019.12.27
PL77	广西壮族自治区贺州市富川县松柏瑶族乡 Songbaiyaozu town of Fuchuan county of Hezhou city in Guangxi	25°07′	111°27′	406	2018.12.23
PL78	贵州省铜仁市松桃县正大镇 Zhengda town of Songtao county of Tongren city in Guizhou	27°55′	109°18′	660	2019.12.17

续表 1 (Table 1 continued)

编号 Number	样地 Sample plots	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔（m） Altitude (m)	日期 Date
PL79	贵州省黔东南州天柱县蓝田镇 Lantian town of Tianzhu county of Qiandongnan prefecture in Guizhou	27°00′	109°17′	425	2019.11.23
PL80	贵州省黔东南州三穗县桐林镇 Tonglin town of Sansui county of Qiandongnan prefecture in Guizhou	26°58′	108°53′	704	2018.11.22

1.2　昆虫采集与鉴定

2015-2020 年油茶花期，选择平均温度高于 17 ℃的晴好天气，采用扫网法于 9:00-16:00 采集每个样地的传粉昆虫。将采集的传粉昆虫独立分装于 5 mL 冻存管或密封袋内带回实验室，置于 - 20 ℃冰箱内保存。实验室内完成所有样地油茶传粉昆虫的标本整理并参考《中国动物志》、《中国经济昆虫志》、《浙江蜂类志》等文献资料进行昆虫形态学鉴定（吴燕如，1965，2000；范滋德，1997；祝长清，1999；何俊华，2004）。

1.3　数据分析

1.3.1　传粉昆虫群落多样性分析　将不同样地油茶传粉昆虫的种类及数目数据录入 Excel 2010 中，并利用该软件对不同样地的昆虫个体数（Individual number，*N*）、物种数（Species number，*S*）和 Berger-Parker 优势度指数（Dominance index，*D*）进行计算，其中 Berger-Parker 优势度指数是通过表征群落中物种的优势或集中程度以表达群落组成状况，当 *D*>10%时，为优势类群；当 10%≥*D*≥1%为常见类群；当 *D*<1%时，为稀有类群。物种多样性评价主要选择以下三个指标：Chao1 丰富度指数（Chao1 richness index，*Chao1*）、Pielou 均匀度指数（Pielou's evenness index，*J′*）以及 Shannon-Wiener 多样性指数（Shannon-Wiener diversity index，*H′*），这些指数是用来判断生物群落结构变化或生态系统稳定性的指标（Pielou，1966；Shannon and Weaver，1971；Chao，1984；吴亮亮，2014；韦柳妮，2014）。不同多样性指数均使用 R 语言 picante 和 vegan 包进行计算。

1.3.2　传粉昆虫群落相似性分析　传粉昆虫群落相似性采用基于 *Chao1* 丰富度估计量的 Sørensen 相似性指数（Chao-Sørensen-Est Abundance-based，*CS*）。使用 EstimateS 9.1.0 计算 *CS*，然后用 Origin 2020 软件绘制相似性图。根据定性指数相似性原理划分样地间相似程度，当 *CS* 为 0< *CS*≤0.25 时，为极不相似；当 *CS* 为 0.25<*CS*≤0.50 时，为中等不相似；当 *CS* 为 0.50<*CS*≤0.75 时，为中等相似；当 *CS* 为 0.75<*CS*≤1.00 时，为极相似。

2　结果与分析

2.1　油茶传粉昆虫的组成及其群落特征

全国 80 个油茶样地共获取油茶传粉昆虫标本 4 379 只，分别隶属于 6 目 26 科 53 属 90 种（表 2，表 3），其中膜翅目 11 科 61 种，占物种总数的 67.77%；双翅目 5 科 15 种，占物种总数的 16.67%；鞘翅目 5 科 7 种，占物种总数的 7.78%；鳞翅目 3 科 5 种，占物种总数的 5.56%；脉翅目和半翅目各有 1 种，分别占物种总数的 1.11%。油茶传粉昆虫主要类群方面，膜翅目个体数最多，占传粉昆虫总数的 83.15%；其次是双翅目，占传粉昆虫总数的 14.80%。优势类群、常见类群和稀有类群分别有 5 科、2 科和 19 科，其中优势类群为地蜂科（28.48%）、蜜蜂科（24.27%）、胡蜂科（16.78%）、分舌蜂科（10.78%）和食蚜蝇科（10.12%），常见类群为丽蝇科（3.72%）、马蜂科（1.65%）。稀有类群为蝇科（0.53%）、隧蜂科（0.43%）、瓢虫科（0.41%）、麻蝇科（0.41%）、灰蝶科（0.39%）、蛱蝶科（0.34%）、粉蝶科（0.34%）、蜾蠃科（0.34%）、

表 2 油茶传粉昆虫群落结构

Table 2 Community structure in pollinators of *Camellia oleifera*

目数 Order number	科数 Family number	属数 Genera number	种数 Species number	个体数 Individuals number
膜翅目 Hymenoptera	11	28	61	3 641
双翅目 Diptera	5	11	15	648
鳞翅目 Lepidoptera	3	5	5	47
鞘翅目 Coleoptera	5	7	7	36
半翅目 Hemiptera	1	1	1	5
脉翅目 Neuroptera	1	1	1	2
合计 Total	26	53	90	4 379

表 3 油茶传粉昆虫种类和数量

Table 3 Species and individual number of pollinators in *Camellia oleifera*

目名 Order	科名 Family	属名 Genus	种名 Species	数量 Number
膜翅目 Hymenoptera	地蜂科 Andrenidae	地蜂属 *Andrena*	油茶地蜂 *A. camellia*	803
			浙江地蜂 *A. chekiangensis*	101
			湖南地蜂 *A. hunanensis*	138
			纹地蜂 *A. striata*	205
	蜜蜂科 Apidae	无垫蜂属 *Amegilla*	绿条无垫蜂 *A. zonata*	14
			东亚无垫蜂 *A. parhypate*	9
		条蜂属 *Anthophora*	黑面条蜂 *A. nigrifrons*	1
		蜜蜂属 *Apis*	中华蜜蜂 *A. cerana*	680
			西方蜜蜂 *A. mellifera*	178
		熊蜂属 *Bombus*	三条熊蜂 *B. trifasciatus*	6
			萃熊蜂 *B. eximius*	29
			黑足熊蜂 *B. atripes*	8
			短头熊蜂 *B. breviceps*	1
		芦蜂属 *Ceratina*	拟黄芦蜂 *C. hieroghyphica*	31
			C. popovi	1
			绿芦蜂 *C. smaragdula*	8
		长须蜂属 *Eucera*	雅克长须蜂 *E. jocati*	1
		回条蜂属 *Habropoda*	模仿回条蜂 *H. imitatrix*	2
			黄斑回条蜂 *H. radoszkowskii*	9
			台湾回条蜂 *H. tainanicola*	7
		艳斑蜂属 *Nomada*	艳斑蜂 *Nomada* sp.	35
			绿彩带蜂 *N.viridicinctula*	10
		木蜂属 *Xylocopa*	竹木蜂 *X. nasalis*	4
			黄胸木蜂 *X. appendiculata*	12
			灰胸木蜂 *X. phalothorax*	12

续表 3 (Table 3 continued)

目名 Order	科名 Family	属名 Genus	种名 Species	数量 Number
			中华木蜂 *X. sinensis*	5
	分舌蜂科 Colletidae	分舌蜂属 *Colletes*	大分舌蜂 *C. gigas*	472
	蜾蠃科 Eumenidae	异喙蜾蠃属 *Allorhynchium*	中华异喙蜾蠃 *A. chinense*	4
		蜾蠃属 *Eumenes*	中华唇蜾蠃 *E. sinensis*	2
			孔蜾蠃 *E. punctatus*	1
			基蜾蠃 *E. pedunculatus*	4
		黄缘蜾蠃属 *Anterhynchium*	黄缘蜾蠃 *A. flavomarginatum*	3
		佳盾蜾蠃属 *Euodyneru*	日本佳盾蜾蠃 *E. nipanicus*	1
	隧蜂科 Halictidae	隧蜂属 *Halictus*	铜色隧蜂 *H. aerarius*	11
		淡脉隧蜂属 *Lasioglossum*	*L. ctenonmia*	1
			尖肩淡脉隧蜂 *L. subopaoum*	6
			褐足淡脉隧蜂 *L. vagans*	1
	马蜂科 Polistidae	马蜂属 *Polistes*	中华马蜂 *P. chinensis*	2
			亚非马蜂 *P. olivaceus*	48
			斯马蜂 *P. snelleni*	10
			果马蜂 *P. olivaceus*	6
			约马蜂 *P. jakahamae*	5
			柑马蜂 *P. mandarinus*	1
	土蜂科 Scoliidae	*Megacampsomeris*	*Megacampsomeris* sp.	1
			黄缘大长腹土蜂 *M. limbata*	2
		Scolia	德钦土蜂 *S. deqinensis*	2
		长腹土蜂属 *Campsomers*	金毛长腹土蜂 *C. prismatica*	1
	泥蜂科 Sphecidae	切方头泥蜂属 *Ectemnius*	*E. schlettereri*	1
		壁泥蜂属 *Sceliphron*	黄柄壁泥蜂 *S. madraspatanum*	6
	钩腹蜂科 Trigonalyidae	狼钩腹蜂属 *Lycogaster*	青翅狼钩腹蜂 *L. violaceipeunis*	2
	胡蜂科 Vespidae	胡蜂属 *Vespa*	黑盾胡蜂 *V. bicolor*	68
			金环胡蜂 *V. mandarinia*	89
			黄腰胡蜂 *V. affinis*	88
			变胡蜂 *V. variabilis*	2
			褐胡蜂 *V. binghami*	29
			黑尾胡蜂 *V. ducalis*	29
			墨胸胡蜂 *V. nigrithorax*	202
		黄胡蜂属 *Vespula*	细黄胡蜂 *V. flaviceps*	215
		侧异胡蜂属 *Parapolybia*	黄侧异腹胡蜂 *P. crocea*	8
			变侧异腹胡蜂 *P. varia*	5
	铃腹胡蜂科 Ropalidiidae	铃腹胡蜂属 *Ropalidia*	双色铃腹胡蜂 *R. bicolorata*	3

续表 3 (Table 3 continued)

目名 Order	科名 Family	属名 Genus	种名 Species	数量 Number
双翅目 Diptera	丽蝇科 Calliphoridae	绿蝇属 *Lucilia*	亮绿蝇 *L. illustris*	63
			壶绿蝇 *L. ampullacea*	27
			铜绿蝇 *L.uprina*	10
			中华绿蝇 *L. sinensis*	18
		金蝇属 *Chrysomya*	大头金蝇 *C. megacephala*	45
	麻蝇科 Sarcophagidae	别麻蝇属 *Boettcherisca*	棕尾别麻蝇 *B. peregrina*	14
		黑麻蝇属 *Helicophagella*	黑尾黑麻蝇 *H. melanura*	4
	虻科 Tabanidae	虻属 *Tabanus*	*Tabanus* sp.	1
	食蚜蝇科 Syrphidae	宽盾蚜蝇属 *Phytomia*	羽芒宽盾食蚜蝇 *P. zonata*	197
		管蚜蝇属 *Eristalis*	长尾管蚜蝇 *E. tenax*	69
			斑眼食蚜蝇 *E. arvorum*	47
		食蚜蝇属 *Syrphus*	凹带食蚜蝇 *S. nitens*	37
		黑带食蚜蝇属 *Episyrphus*	黑带食蚜蝇 *E. balteatus*	45
		斜额蚜蝇属 *Pipizella*	多色斜额蚜蝇 *P. varipes*	48
	蝇科 Muscidae	蝇属 *Musca*	家蝇 *M. domestica*	23
鞘翅目 Coleoptera	瓢虫科 Coccinellidae	瓢虫属 *Harmonia*	红肩瓢虫 *H. dimidiata*	11
		大瓢虫属 *Anisolemnia*	十斑大瓢虫 *A. dilatata*	7
	丽金龟科 Rutelidae	异丽金龟属 *Anomala*	翠绿异丽金龟 *A. millestriga*	3
		白星花金龟属 *Protaetia*	白星花金龟 *P. brevitarsis*	6
	花金龟科 Cetoniidae	青花金龟属 *Oxycetonia*	小青花金龟 *O. jucunda*	3
	锹甲科 Lucanidae	前锹甲属 *Prosopocoilas*	狭长前锹甲 *P. gracilis*	1
	天牛科 Cerambycidae	星天牛属 *Anoplophora*	星天牛 *A. chinensis*	5
脉翅目 Neuroptera	草蛉科 Chrysopidae	草蛉属 *Chrysopa*	丽草蛉 C. formosa	2
鳞翅目 Lepidoptera	蛱蝶科 Nymphalidae	蟠蛱蝶属 *Pantoporia*	金蟠蛱蝶 *P. hordonia*	8
		豹蛱蝶属 *Argynnis*	裴豹蛱蝶 *A.hyperbius*	7
	粉蝶科 Pieridae	菜粉蝶属 *Pieris*	菜粉蝶 *P. rapae*	15
	灰蝶科 Lycaenidae	新灰蝶属 *Neozephyrus*	台湾翠灰蝶 *N. taiwanus*	1
		亮灰蝶属 *Lampides*	亮灰蝶 *L. boeticus*	16
半翅目 Hemiptera	红蝽科 Pyrrhocoridae	棉红蝽属 *Dysdercus*	棉二点红蝽 *D. cingulatus*	5

丽金龟科（0.23%）、泥蜂科（0.16%）、土蜂科（0.14%）、天牛科（0.11%）、红蝽科（0.11%）、花金龟科（0.07%）、钩腹蜂科（0.05%）、铃腹胡蜂科（0.07%）、草蛉科（0.05%）、虻科（0.02%）和锹甲科（0.02%）。油茶传粉昆虫从物种层次上分析结果表明：优势种主要有油茶地蜂 *Andrena camellia*（803 只，占 18.34%）、中华蜜蜂 *Apis cerana*（680 只，占 15.53%）和大分舌蜂 *Colletes gigas*（472 只，占 10.78%）；常见种主要有细黄胡蜂 *Vespulat flaviceps*（215 只，占 4.91%）、纹地蜂 *A. striata*（205 只，占 4.68%）、墨胸胡蜂 *Vespa nigrithorax*（202 只，占 4.61%）、羽芒宽盾食蚜蝇 *Phytomia zonata*（197 只，占 4.50%）、西方蜜蜂 *Apis mellifera*（178 只，占

4.06%）、湖南地蜂 *A. hunanensis*（138 只，占 3.15%）及浙江地蜂 *A. chekiangensis*（101 只，占 2.31%）等。稀有种则包括 54 种昆虫，其中：绿条无垫蜂 *Amegilla zonata*、三条熊蜂 *Bombus trifasciatus*、绿芦蜂 *Ceratina smaragdula*、台湾回条蜂 *Habropoda tainanicola* 等 39 种昆虫个体数少于 10 只；雅克长须蜂 *Eucera jocati*、黄斑回条蜂 *Habropoda radoszkowskii* 和黄侧异腹胡蜂 *Parapolybia crocea* 等 15 种昆虫个体数仅 1 只。

2.2　不同样地油茶传粉昆虫群落多样性分析

不同样地油茶传粉昆虫多样性分析结果显示：油茶传粉昆虫物种数和个体数最多的样地是湖南省永州市林业科学研究所油茶基地（PL33），最少的样地是广西壮族自治区来宾市维都林场油茶基地（PL74），Shannon-Wiener 多样性指数（*H′*）和优势度指数（*D*）最高的是湖南省永州市林业科学研究所油茶基地，最低的是广西壮族自治区贺州市富川瑶族自治县松柏瑶族乡样地（PL77）。Chao1 丰富度指数（*Chao1*）最高的样地是湖南永州市道县祥霖铺镇样地（PL32），最低的是广西壮族自治区来宾市维都林场油茶基地（PL74）。而 Pielou 均匀度指数（*J′*）较低的是云南省文山州广南县莲城镇（PL29）、江西吉安市峡江县戈坪乡（PL10）、福建省福州市闽侯县荆溪镇（PL43）、重庆市秀山县石堤镇（PL64）和重庆市酉阳县五福镇（PL65）等样地（表 4）。

表 4　不同样地传粉昆虫群落特征值

Table 4　Characteristic values of pollinator community in different sampling plots

样地 Plots	多样性指标 Diversity index						样地 Plots	多样性指标 Diversity index					
	N	*S*	*H′*	*J′*	*Chao1*	*D*		*N*	*S*	*H′*	*J′*	*Chao1*	*D*
PL1	120.00	13.00	8.43	0.83	13.33	0.027	PL22	125.00	13.00	7.47	0.78	13.33	0.029
PL2	48.00	15.00	9.54	0.83	16.67	0.011	PL23	108.00	18.00	12.79	0.88	21.00	0.025
PL3	73.00	22.00	13.71	0.85	25.00	0.017	PL24	86.00	13.00	8.33	0.83	16.00	0.020
PL4	43.00	16.00	11.26	0.87	19.00	0.010	PL25	50.00	10.00	6.33	0.80	13.00	0.011
PL5	47.00	14.00	10.53	0.89	14.43	0.011	PL26	29.00	11.00	9.69	0.95	12.00	0.007
PL6	39.00	9.00	5.61	0.79	9.20	0.009	PL27	43.00	6.00	4.29	0.81	6.00	0.010
PL7	53.00	17.00	12.69	0.90	19.00	0.012	PL28	31.00	10.00	7.16	0.85	13.00	0.007
PL8	28.00	8.00	5.79	0.84	8.25	0.006	PL29	149.00	10.00	3.94	0.60	10.00	0.034
PL9	19.00	8.00	5.99	0.86	10.00	0.004	PL30	92.00	15.00	7.75	0.76	20.00	0.021
PL10	57.00	11.00	4.12	0.59	13.00	0.013	PL31	82.00	7.00	5.16	0.84	7.00	0.019
PL11	36.00	12.00	8.36	0.85	14.50	0.008	PL32	61.00	15.00	10.22	0.86	30.00	0.014
PL12	42.00	7.00	4.04	0.72	7.00	0.010	PL33	219.00	27.00	18.46	0.88	27.00	0.050
PL13	86.00	18.00	12.29	0.87	20.50	0.020	PL34	59.00	7.00	5.56	0.88	7.00	0.013
PL14	81.00	16.00	10.20	0.84	16.17	0.018	PL35	41.00	12.00	9.48	0.91	13.00	0.009
PL15	26.00	6.00	3.95	0.77	9.00	0.006	PL36	39.00	8.00	5.46	0.82	8.50	0.009
PL16	34.00	12.00	9.05	0.89	12.43	0.008	PL37	49.00	11.00	8.22	0.88	11.00	0.011
PL17	28.00	6.00	4.33	0.82	7.00	0.006	PL38	43.00	5.00	3.85	0.84	5.00	0.010
PL18	46.00	9.00	6.24	0.83	9.50	0.011	PL39	67.00	12.00	8.26	0.85	12.33	0.015
PL19	17.00	5.00	4.40	0.92	5.00	0.004	PL40	100.00	11.00	9.18	0.92	11.00	0.023
PL20	102.00	14.00	7.06	0.74	14.00	0.023	PL41	42.00	9.00	6.56	0.86	9.00	0.010
PL21	39.00	7.00	4.20	0.74	7.00	0.009	PL42	25.00	6.00	4.36	0.82	6.00	0.006

续表 4 (Table 4 continued)

样地 Plots	多样性指标 Diversity index						样地 Plots	多样性指标 Diversity index					
	N	*S*	*H′*	*J′*	*Chao1*	*D*		*N*	*S*	*H′*	*J′*	*Chao1*	*D*
PL43	27.00	4.00	2.13	0.54	4.00	0.006	PL62	55.00	9.00	4.95	0.73	9.25	0.013
PL44	45.00	17.00	13.25	0.91	22.25	0.010	PL63	22.00	7.00	5.72	0.90	7.50	0.005
PL45	22.00	10.00	6.80	0.83	15.00	0.005	PL64	55.00	7.00	3.51	0.65	7.00	0.013
PL46	39.00	14.00	7.87	0.78	26.00	0.009	PL65	70.00	5.00	2.06	0.45	5.00	0.016
PL47	133.00	13.00	6.45	0.73	14.50	0.030	PL66	40.00	9.00	6.10	0.82	12.00	0.009
PL48	65.00	12.00	7.87	0.83	13.50	0.015	PL67	30.00	10.00	6.40	0.81	11.50	0.007
PL49	58.00	8.00	6.11	0.87	8.00	0.013	PL68	30.00	7.00	5.37	0.86	7.00	0.007
PL50	67.00	12.00	9.57	0.91	12.00	0.015	PL69	33.00	5.00	2.89	0.66	5.00	0.008
PL51	55.00	7.00	4.77	0.80	7.00	0.013	PL70	28.00	11.00	8.27	0.88	12.20	0.006
PL52	90.00	17.00	11.47	0.86	17.17	0.021	PL71	29.00	9.00	6.99	0.88	9.25	0.007
PL53	73.00	12.00	7.72	0.82	15.00	0.017	PL72	32.00	7.00	5.79	0.90	7.00	0.007
PL54	65.00	7.00	5.55	0.88	7.00	0.015	PL73	120.00	15.00	8.42	0.79	20.00	0.027
PL55	74.00	10.00	6.59	0.82	10.33	0.017	PL74	65.00	11.00	5.73	0.73	11.20	0.015
PL56	49.00	10.00	7.82	0.89	10.50	0.011	PL75	31.00	11.00	8.96	0.91	11.75	0.007
PL57	17.00	4.00	3.79	0.96	4.00	0.004	PL76	62.00	11.00	6.58	0.79	11.00	0.014
PL58	23.00	7.00	5.43	0.87	10.00	0.005	PL77	12.00	2.00	1.89	0.92	2.00	0.003
PL59	18.00	3.00	2.61	0.87	3.00	0.004	PL78	34.00	10.00	8.67	0.94	10.33	0.008
PL60	38.00	6.00	3.88	0.76	6.00	0.009	PL79	26.00	7.00	5.30	0.86	7.33	0.006
PL61	24.00	5.00	4.29	0.91	5.00	0.005	PL80	19.00	6.00	5.30	0.93	6.00	0.004

PL：实验样地；PL1-PL80：表示 80 个采集样地，同表 1；*N*：个体数；*S*：物种数；*H′*：Shannon-Wiener 多样性指数；*J′*：Pielou 均匀度指数；*Chao1*：Chao1 丰富度指数；*D*：Berger-Parker 优势度指数。

PL: Plot locations; PL1-PL80: Represents 80 sample plots, the same as table 1; *N*: Individual number; *S*: Species number; *H′*: Shannon-Wiener diversity index; *J′*: Pielou's evenness index; *Chao1*: Chao1 richness index; *D*: Dominance index.

此外，Shannon-Wiener 多样性指数（*H′*）的变化趋势基本也与 Chao1 丰富度指数（*Chao1*）保持一致，呈显著正相关（R=0.71，P<0.01）。如江西新余市渝水区水北镇（PL3）、湖南省永州市林业科学研究所油茶基地（PL33）、福建南平市武夷山市五夫镇（PL44）等样地的 Chao1 丰富度指数（*Chao1*）较高，其 Shannon-Wiener 多样性指数（*H′*）也较高。结合 Pielou 均匀度指数（*J′*）发现，昆虫群落的均匀度指数（*J′*）和多样性指数（*H′*）也具有显著相关性（R=0.30，P<0.01）。如湖南省永州市林业科学研究所油茶基地样地的昆虫群落的均匀度指数最高，其多样性指数也高；福建省福州市闽侯县荆溪镇样地的昆虫群落的均匀度指数最低，使得多样性指数也低。综上所述，湖南省永州市林业科学研究所油茶基地样地和湖南永州市道县祥霖铺镇样地群落多样性程度较高，广西壮族自治区来宾市维都林场油茶基地群落多样性程度最低。

2.3 不同样地油茶传粉昆虫群落相似性分析

基于不同样地传粉昆虫群落组成的相似性分析结果发现，各样地油茶传粉昆虫群落间的相似性系数在 0.07-0.97 之间。两两样地极为相似个数为 264 个、中等相似为 1 238 个、中等不相似为 1 383 个、极不相似为 275 个。其中福建三明市沙县高砂镇样地与安徽黄山市歙县徽城镇

样地的相似性最高（*CS*=0.97，*P*<0.01），以油茶地蜂、中华蜜蜂、羽芒宽盾食蚜蝇和金环胡蜂为主要相似特征，江西吉安市峡江县戈坪乡和福建龙岩市上杭县官庄乡样地之间的相似性次之（*CS*=0.94，*P*<0.01），以中华蜜蜂、油茶地蜂和大分舌蜂为主要相似特征。江西新余市渝水区水北镇与福建福州市晋安区岭头山乡和陕西汉中南郑县郑黎路样地的相似性均最低（*CS*=0.07，*P*<0.01），这 3 个样地在昆虫群落组成上，除仅含有油茶地蜂外，没有明显相似（图 1）。

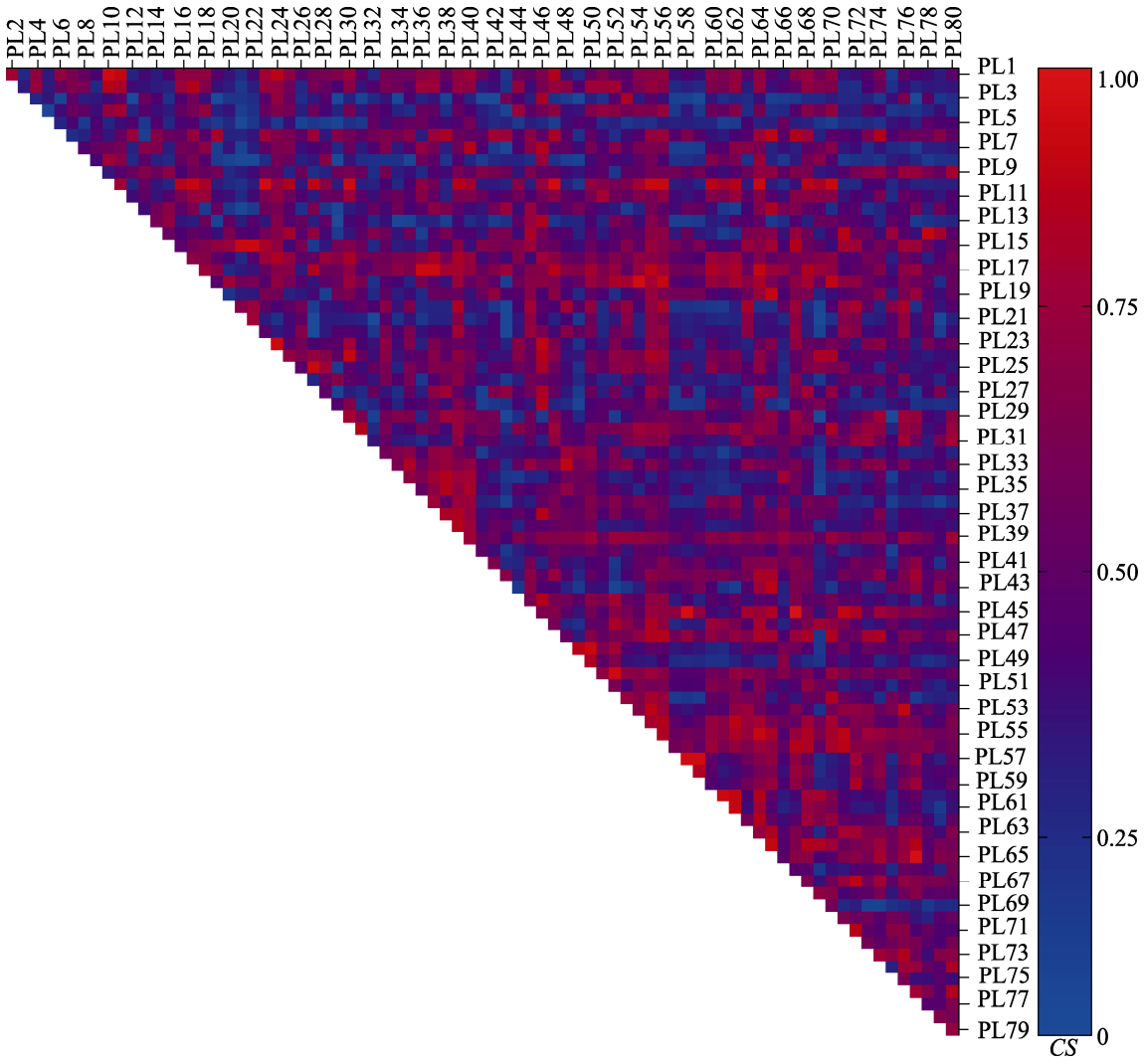

图 1　不同样地间的相似性分析

Fig. 1　Similarity analysis between different sampling plots

纵坐标仅标注 PL1–PL79 的奇数样地编号，横坐标仅标注 PL2–PL80 的偶数样地编号。样地编码同表 1。

The odd number sample plots PL1–PL79 are marked on the ordinate, and the even number sample plots PL2–PL80 are marked on the abscissa. The sample plot number is the same as table 1.

3　讨论与结论

全国 80 个油茶样地传粉昆虫种类的野外调查，共记录油茶传粉昆虫种类 90 种，远多于前人关于油茶传粉昆虫地区性的调查结果（邓园艺等，2010；罗辑等，2014）。油茶传粉昆虫中膜翅目类群在物种数和个体数上均具有明显优势，其中，油茶地蜂、中华蜜蜂和大分舌蜂为传粉优势种。这与韦小平等（2020）和何学友等（2010）的调查结果基本相似；认为油茶优势传粉昆虫主

要是中华蜜蜂、油茶地蜂、墨胸胡蜂和大分舌蜂。但由于油茶花蜜（粉）中含有生物碱、甙类和寡糖等，尤以其中棉籽糖和水苏糖所形成半乳糖能够引发采食后蜜蜂生理代谢障碍和消化不良而中毒，西方蜜蜂较中华蜜蜂更为严重（康雪冬和范正友，1991；郭冬生，2014），同时油茶花期正处于秋冬季节，中华蜜蜂和西方蜜蜂易受到低温抑制而不出巢访花，导致中华蜜蜂和西方蜜蜂为油茶授粉一直未得到推广应用（黄敦元等，2017；何波，2019）。此外，在其它常见的传粉昆虫中，羽芒宽盾食蚜蝇、细黄胡蜂和墨胸胡蜂等，由于不具备地蜂科和分舌蜂科昆虫的携粉足及体表被毛等特征，传粉效率远不如大分舌蜂和油茶地蜂（何学友等，2010）。而野生油茶地蜂和大分舌蜂的成虫活动期与油茶花期高度吻合，并且两者身体特征与油茶花部结构相吻合，在访问油茶花并取食花粉过程中，体表所携带的大量新鲜花粉能有效帮助油茶实现异花授粉（黄敦元等，2008, 2017；夏剑萍等，2010；邱建生，2015）。李红英等（2021b）对油茶林中中华蜜蜂和野生蜜蜂的传粉效率进行比较，结果发现大分舌蜂、浙江地蜂、油茶地蜂、湖南地蜂和纹地蜂是油茶有效传粉者且传粉效率明显高于中华蜜蜂。因此，保护并利用油茶林地及周边林区大分舌蜂、浙江地蜂及油茶地蜂等野生蜜蜂对解除油茶花粉资源限制，提高油茶坐果率和产量方面具有重要意义。

昆虫群落多样性指数是生物多样性的综合指标，它不但反映了昆虫群落的均匀度、丰富度和优势度等指数，在一定程度上还反映了其所处的栖息环境（韩争伟等，2013）。湖南省永州市林业科学研究所油茶基地、福建南平市武夷山市五夫镇和江西新余市渝水区水北镇样地的昆虫群落多样性指数较高，其均匀度和丰富度指数也较高，表明这些样地的昆虫群落结构较稳定，可能是因为这些样地的蜜（粉）源植物种类丰富且覆盖度较高，土壤肥沃、疏松，为各类昆虫的取食提供了丰富的食源，同时也为一些土壤筑巢的传粉昆虫提供了良好的栖息环境，从而促进传粉昆虫多度的迅速增高。福建省福州市闽侯县荆溪镇、重庆市酉阳县五福镇和安徽省池州市青阳县蓉城镇等样地多样性指数低，昆虫群落均匀度和丰富度指数也较低，可能是由于这些样地的植物群落结构单一，蜜（粉）源植物较少且零星分布于油茶林，而导致多样性较低。虽然广西壮族自治区来宾市兴宾区城厢乡样地的均匀度较高，但昆虫群落的多样性指数和丰富度指数却很低，说明这些样地的群落稳定性较差（尤平和李后魂，2006；Song *et al.*，2007；Gu *et al.*，2011；崔麟等，2016）。因此我们认为油茶传粉昆虫结构的稳定需要通过多个指数特征综合反映，并且油茶林区及周边林区蜜（粉）源植物多样性是影响传粉昆虫多样性与稳定性的关键。刘娅萌等（2020）在研究不同农业景观背景下传粉昆虫群落的分布差异时发现：农业景观中的自然、半自然生境为传粉昆虫提供丰富蜜（粉）源植物、适宜的栖息地环境，对维持传粉昆虫生物多样性起着不可替代的作用。

昆虫群落相似性主要是反映群落结构的相似性（张华普等，2017）。在本研究中福建三明市沙县高砂镇与安徽黄山市歙县徽城镇两样地自然环境较相似；如光照较充足，降水量 1 500-2 000 mm 左右，年均温 16-21 ℃左右（栾淑丽等，2021），植物种类丰富且相似（主要为千里光 *Senecio scandens*，马兰 *Kalimeris indica* 及野菊 *Chrysanthemum indicum* 等草本植物），因此这两样地的油茶传粉昆虫群落结构相似性很高（*CS*=0.97），主要以油茶地蜂、中华蜜蜂、羽芒宽盾食蚜蝇和金环胡蜂为相似特征。而江西新余市渝水区水北镇与陕西省汉中市南郑区新集镇、湖南省衡阳市耒阳市遥田镇、海南定安县高林乡和广西壮族自治区来宾市维都林场油茶基地等样地在植被组成、光照时长、经纬度和海拔等方面有较大差异，且样地之间的距离跨度较大，导致油茶传粉昆虫群落相似很低，同时某些样地由于稀有物种的存在，如中华唇蜾蠃 *Eumenes sinensis*、青翅狼钩腹蜂 *Lycogaster violaceipeunis*、褐足淡脉隧蜂 *Lasioglossum vagans* 和亚非马蜂

Polistiche olivaceus 等稀有物种，使其重叠种类较少，导致样地间昆虫群落组成差异更大。另外，油茶样地由于抚育管理模式、土壤类型及立地条件、油茶单一树种的种植面积、油茶林龄、除草方式及是否使用除草剂、油茶林区周边生境等因素也会对油茶传粉昆虫群落的结构和组成造成一定的影响。因此后续油茶人工林的新造和管护过程中应避免人为过度干扰对这些野生蜜蜂适宜栖息地环境的破坏。

综上所述，本研究对全国 80 个油茶样地的传粉昆虫多样性进行调查，发现访问油茶花的昆虫种类较多，但油茶地蜂和大分舌蜂等是油茶的最有效传粉昆虫，在油茶的生产上具有积极作用，因此我们建议应当在油茶林下及周边适当保留一定的开花植物，及时给油茶林土地松土以防止土地板结，从而为这些昆虫创造良好栖息环境和提供充足的食物。不同样地传粉昆虫种类与数量也具有明显差异，认识它们之间的差异对油茶的生产具有理论和实际意义。此外，昆虫群落多样性高的油茶种植区还可为多样性低的油茶种植区的人工改造提供科学依据，以期能提高油茶的坐果率，为油茶增产创造条件。

参考文献 (References)

Chao A, 1984. Nonparametric estimation of the number of classes in a population. *Scandinavian Journal of Statistics*, 11: 265–270.

Connelly H, Poveda K, Loeb G, 2015. Landscape simplification decreases wild bee pollination services to strawberry. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 211: 51–56.

Cui L, Liao WC, Wei HY, 2016. Insect community characteristics and diversity in mountain meadow of Wugongshan national natural reserve. *Guizhou Agricultural Sciences*, 44(10): 138–143. [崔麟, 廖为财, 魏洪义, 2016. 武功山国家级自然保护区山地草甸昆虫的群落特征及多样性. 贵州农业科学, 44(10): 138–143.]

Dai PP, Zhang XZ, Liu YH, 2015. Conserving pollinator diversity and improving pollination services in agricultural landscapes. *Biodiversity Science*, 23(3): 408–418. [戴漂漂, 张旭珠, 刘云慧, 2015. 传粉动物多样性的保护与农业景观传粉服务的提升. 生物多样性, 23(3): 408–418.]

Deng YY, Yu XL, Luo YB, 2010. The role of native bees on the reproductive success of *Camellia oleifera* in Hunan province, central south China. *Acta Ecologica Sinica*, 30(16): 4427–4436. [邓园艺, 喻勋林, 罗毅波, 2010. 传粉昆虫对我国中南地区油茶结实和结籽的作用. 生态学报, 30(16): 4427–4436.]

Duan MC, Zhang X, Li X, Tao YY, Zhu CY, Liu YH, Yu ZR, 2014. Layout, type and function of farmland vegetable buffer with insect pests control in agricultural landscape. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 30(1): 264–270. [段美春, 张鑫, 李想, 陶渊渊, 朱春阳, 刘云慧, 宇振荣, 2014. 农田景观虫害控制植被缓冲带布局、模式和功能. 中国农学通报, 30(1): 264–270.]

Fan ZD, 1997. Fauna Sinica. Insecta: Volume. 6, Diptera: Calliphoridae. Beijing: Science Press. 1–707. [范滋德, 1997. 中国动物志. 昆虫纲: 第六卷, 双翅目: 丽蝇科. 北京: 科学出版社. 1–707.]

Gu W, Ma L, Ding XH, Zhang J, Han ZW, 2011. Insect diversity of different habitat types in Zhalong wetland, Northeast China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 22(9): 2405–2412. [顾伟, 马玲, 丁新华, 张静, 韩争伟, 2011. 扎龙湿地不同生境的昆虫多样性. 应用生态学报, 22(9): 2405–2412.]

Gu P, Huang DY, Song DF, Li GD, He B, Peng F, 2017. Comparison of damage degrees and parasitic rates of *Casmara patrona* in different habitats. *Nonwood Forest Research*, 33(1): 124–128. [谷平, 黄敦元, 宋墩福, 李国栋, 何波, 彭飞, 2017. 不同生境下油茶蛀茎虫的危害程度及寄生率的比较. 经济林研究, 33(1): 124–128.]

Guo DS, 2014. Analysis on the situation of bee colony when bees collect *Camellia oleifera* honey powder. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2014(12): 125–126. [郭冬生, 2014. 蜜蜂采集油茶蜜粉时蜂群的状况分析. 黑龙江畜牧兽医, 2014(12): 125–126.]

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.]

He B, 2019. Comparative mitochondrial genomics and phylogeny of the main pollinator of *Camellia oleifera*. Master dissertation. Changsha: Central South University of Forestry and Technology. [何波, 2019. 油茶主要传粉蜜蜂的比较线粒体基因组学及系统发育研究. 硕士学位论文. 长沙: 中南林业科技大学.]

He JH, 2004. Hymenoptera Insect Fauna of Zhejiang. Beijing: Science Press. 1–1373. [何俊华, 2004. 浙江蜂类志. 北京: 科学出版社. 1–1373.]

He XY, Cai SP, Xiong Y, Han GY, Chen YD, Huang LR, Wu QR, 2010. Investigation on the pollination insect species and their foraging behaviors on *Camellia oleifera* in Fujian province. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology*, 37(4): 1–5.

[何学友, 蔡守平, 熊瑜, 韩国勇, 陈元德, 黄铃荣, 吴清荣, 2010. 福建省油茶林主要传粉昆虫种类及访花行为. 福建林业科技, 37(4): 1–5.]

Huang DY, Ding L, Zhang YZ, Huang HR, Yu JF, Hao JS, Zhu CD, 2008. Life history and relevant biological features of *Andrena camellia* Wu (Hymenoptera: Andrenidae). *Acta Entomologica Sinica*, 51(7): 778–783. [黄敦元, 丁亮, 张彦周, 黄海荣, 余江帆, 郝家胜, 朱朝东, 2008. 油茶地蜂生活史及相关生物学习性. 昆虫学报, 51(7): 778–783.]

Huang DY, He B, Gu P, Su TJ, Zhu CD, 2017. Discussion on current situation and research direction of pollination insects of *Camellia oleifera*. *Journal of Environmental Entomology*, 39(1): 213–220. [黄敦元, 何波, 谷平, 苏田娟, 朱朝东, 2017. 油茶传粉昆虫研究现状与方向的探讨. 环境昆虫学报, 39(1): 213–220.]

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.]

Huang ZW, Cao J, Yuan DZ, He L, 2016. Cultural regionalization of *Camellia oleifera* C. Abel. based on principal component analysis and cluster analysis. *Journal of West China Forestry Science*, 45(3): 155–160. [黄志伟, 曹剑, 袁德桔, 何莉, 2016. 基于主成分聚类分析的中国油茶栽培区划. 西部林业科学, 45(3): 155–160.]

Kang XD, Fan ZY, 1991. Study on toxic substances of honeybee in *Camellia oleifera* honey. *Journal of Bee*, 1991(1): 8–10. [康雪冬, 范正友, 1991. 蜜蜂油茶蜜中毒物质的分析研究. 蜜蜂杂志, 1991(1): 8–10.]

Kremen C, 2018. The value of pollinator species diversity. *Science*, 359(6377): 741–742.

Li HY, Orr MC, Luo AC, Dou FY, Kou RM, Hu F, Zhu CD, Huang DY, 2021a. Relationships between wild bee abundance and fruit set of *Camellia oleifera*. *Journal of Applied Entomology*, 145(4): 277–285.

Li HY, Luo AC, Hao YJ, Dou FY, Kou RM, Orr MC, Zhu CD, Huang DY, 2021b. Comparison of the pollination efficiency of *Apis cerana* with wild bees in oil-seed camellia fields. *Basic and Applied Ecology*, 56: 250–258.

Li MX, 2022. Study on planting advantages and high yield cultivation techniques of *Camellia oleifera*. *China Forestry Industry*, 2022(1): 68–69. [黎木相, 2022. 油茶种植优势及丰产栽培技术研究. 中国林业产业, 2022(1): 68–69.]

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.]

Luan SL, Ren HY, Shi RH, Cui C, 2021. Evaluation on the suitability of *Camellia oleifera* planting and suggestions for productivity improvement in China. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 42(10): 39–47. [栾淑丽, 任红艳, 施润和, 崔成, 2021. 中国油茶种植适宜性评价及产能提升建议. 中国农业资源与区划, 42(10): 39–47.]

Luo J, Zhao CJ, Huang HY, Jiang XJ, 2014. Variety investigation on pollinating insect of *Camellia oleifera* in Guangxi province. *Journal of Guangxi Forestry Science*, 43(1): 61–65. [罗辑, 赵程劼, 黄华艳, 蒋学建, 2014. 广西油茶传粉昆虫多样性调查. 广西林业科学, 43(1): 61–65.]

National Forestry and Grassland Administration, 2020. China Forester and Grassland Statistical Yearbook 2018. Beijing: China Forestry Publishing House. 1–386. [国家林业和草原局, 2020. 中国林业和草原统计年鉴 2018. 北京: 中国林业出版社. 1–386.]

Pielou EC, 1966. Shannon's formula as a measure of specific diversity: Its use and misuse. *American Naturalist*, 100(914): 96–465.

Qiu JS, 2015. Study on the pollinators of *Camellia* plants in southwest China. Doctoral dissertation. Beijing: China Academy of Forestry. [邱建生, 2015. 中国西南山茶属植物传粉昆虫研究. 博士学位论文. 北京: 中国林业科学研究院.]

Shannon CE, Weaver W, 1971. The mathematical theory of communication. Urbana: University of Illinois Press. 1–144.

Siviter H, Brown MJF, Leadbeater E, 2018. Sulfoxaflor exposure reduces bumblebee reproductive success. *Nature*, 561(7721): 109–112.

Song WJ, Ma L, Wang H, Han XB, 2007. Diversity of insect communities by the lakeside in Zhalong nature reserve. *Journal of Northeast Forestry University*, 2007(7): 80–81. [宋文军, 马玲, 王慧, 韩小兵, 2007. 扎龙自然保护区湖泊边昆虫群落多样性. 东北林业大学学报, 2007(7): 80–81.]

Vanbergen AJ, Initiative TIP, 2013. Threats to an ecosystem service: Pressures on pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(5): 251–259.

Wang JF, Tan XJ, Wu XC, Li QP, Zhong QP, Yan C, Guo HY, Ge XN, 2020. Development status and suggestions of Camellia industry in China. *World Forestry Research*, 33(6): 80–85. [王金凤, 谭新建, 吴喜昌, 李清平, 钟秋平, 晏巢, 郭红艳, 葛晓宁, 2020. 我国油茶产业发展现状与对策建议. 世界林业研究,

33(6): 80–85.]

Wang R, Chen YZ, 2015. Development status and upgrading ideas of *Camellia oleifera* industry in China. *China Forestry Science and Technology*, 29(4): 6–10. [王瑞, 陈永忠, 2015. 我国油茶产业的发展现状及提升思路. 林业科技开发, 29(4): 6–10.]

Wei LN, 2014. Study on the Arthropod community structure and dynamics in tobacco field of Jingxi county. Master dissertation. Nanning: Guangxi University. [韦柳妮, 2014. 靖西县烟田节肢动物群落结构及其动态研究. 硕士学位论文. 南宁: 广西大学.]

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.]

Wei W, Li XY, Wei X, Lu W, Yang XH, Zheng XL, 2017. Review of species, nesting and pollination behaviors of pollinating insects in *Camellia* spp. *Guangxi Forestry Science*, 46(1): 98–101. [韦维, 李雪媛, 韦幸, 陆温, 杨秀好, 郑霞林, 2017. 油茶传粉昆虫种类、筑巢及访花行为的研究进展. 广西林业科学, 46(1): 98–101.]

Wu L, Guo SL, Li Y, Huang FP, Guo L, 2017. High yield and excellent yield of *Camellia oleifera* and analysis of meteorological factors. *Agriculture of Jilin*, 2017(21): 81–82. [吴丽, 郭水连, 李鹰, 黄福平, 郭亮, 2017. 油茶丰产优产与气象因子分析. 吉林农业, 2017(21): 81–82.]

Wu LL, 2014. Arthropod community research on canoa. Master dissertation. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University. [吴亮亮, 2014. 油菜田节肢动物群落研究. 硕士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学.]

Wu YR, 1965. Economic Entomology of China. Volume. 9. Hymenoptera: Apioidea. Beijing: Science Press. 1–83. [吴燕如, 1965. 中国经济昆虫志. 第九册. 膜翅目: 蜜蜂总科. 北京: 科学出版社. 1–83.]

Wu YR, 2000. Fauna Sinica. Insecta: Volume 20, Hymenoptera: Melittidae Apidae. Beijing: Science Press. 1–443. [吴燕如, 2000. 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. 1–443.]

Xia JP, Chen JY, Deng XZ, 2010. Dicussion on current situation and importance of pollination insects of *Camellia oleifera* Abel. in the future. *Hubei Forestry Science and Technology*, 2010(4): 61–63. [夏剑萍, 陈京元, 邓先珍, 2010. 油茶传粉昆虫研究现状与今后研究重点探讨. 湖北林业科技, 2010(4): 61–63.]

Xu AK, Lu HH, Yan Q, Hu F, Li HY, Zhang H, Zhou ZY, Huang DY, 2021. Primary exploration on pollinating solution of *Camellia oleifera*. *Journal of Chongqing Normal University* (*Natural Science*), 38(6): 129–136. [徐安糠, 陆欢欢, 晏巧, 胡锋, 李红英, 张欢, 周泽扬, 黄敦元, 2021. 油茶花粉液配方初探. 重庆师范大学学报(自然科学版), 38(6): 129–136.]

You P, Li HH, 2006. Species richness and diversity of moth communities in Tianjin wetlands; implications for environmental management. *Acta Ecologica Sinica*, 26(3): 629–637. [尤平, 李后魂, 2006. 天津湿地蛾类丰富度和多样性及其环境评价. 生态学报, 26(3): 629–637.]

Zhang HP, Li ZW, Zhang Y, 2017. Composition and similarities of insect community in different Jujube regions. *Journal of Yunnan Agricultural University* (*Natural Science*), 32(5): 762–773. [张华普, 李占文, 张怡, 2017. 不同枣区昆虫群落组成及相似性分析. 云南农业大学学报(自然科学), 32(5): 762–773.]

Zhang LW, Wang LW, 2021. Prospect and development status of *Camellia oleifera* industry in China. *China Oils and Fats*, 46(6): 6–27. [张立伟, 王辽卫, 2021. 我国油茶产业的发展现状与展望. 中国油脂, 46(6): 6–27.]

Zhu CQ, 1999. Insect Fauna of Henan. Coleoptera (1). Zhengzhou: Henan Science and Technology Press. 1–414. [祝长清, 1999. 河南昆虫志. 鞘翅目(一). 郑州: 河南科学技术出版社. 1–414.]

Zhuang RL, 1998. *Camellia oleifera* in China. Beijing: China Forestry Publishing House. 1–366. [庄瑞林, 1998. 中国油茶. 北京: 中国林业出版社. 1–366.]