

城市园林对本土传粉者中华蜜蜂的保护作用*

张亚男^{1**} 文庆利¹ 高红梅¹ 张燕斌¹ 张静¹ 张亚唯¹
杨凤¹ 杨梅¹ 龙黎¹ 陈发军^{1,2***}

(1. 内江师范学院生命科学学院, 内江 641100; 2. 四川省高等学校特色农业资源研究与利用重点实验室, 内江 641100)

摘要 【目的】蜜蜂等传粉昆虫是生态系统的关键种, 其种群下降趋势是目前全球关注的热点问题, 探讨传粉昆虫现状和保护途径具有重要实践意义。【方法】对四川地区城市园林里中华蜜蜂 *Apis cerana cerana* 进行调查, 记录其拜访行为、蜜粉源植物和巢生境特征, 并观察主要植物的其他访花昆虫。

【结果】城市园林中有大量开花植物, 花期持续时间长, 是蜜蜂可利用的食物资源; 中华蜜蜂在城市中广泛活动, 所调查城市都观测到采集蜂进行有效采集, 在冬季中华蜜蜂蜂群也能正常活动; 城市中其他访花昆虫以鳞翅目和双翅目为主, 蝴蝶等会竞争食物资源, 行为分析认为蜜蜂具有竞争优势; 部分人工绿地和半自然生境可成为中华蜜蜂的巢生地。【结论】城市园林可为中华蜜蜂提供适宜的生存环境, 建议改善城市景观和园林管理以更好地发挥园林生境的保护作用。

关键词 传粉昆虫, 蜜蜂, 园林植物, 生物保护

The function of city landscape architecture in the conservation of native pollinator *Apis cerana cerana* F.

ZHANG Ya-Nan^{1**} WEN Qing-Li¹ GAO Hong-Mei¹ ZHANG Yan-Bin¹ ZHANG Jing¹
ZHANG Ya-Wei¹ YANG Feng¹ YANG Mei¹ LONG Li¹ CHEN Fa-Jun^{1,2***}

(1. College of Life Sciences, Neijiang Normal University, Neijiang 641100, China; 2. Key Laboratory of Regional Characteristic Agricultural Resources, Department of Education, Neijiang 641100, China)

Abstract [Objectives] Because insect pollinators, such as honeybees, are keystone species in many ecosystems, their global decline is the focus of intense, worldwide interest. Exploring the conservation status, and ways of conserving, pollinating insects are essential to prevent their extinction. [Methods] The feeding preferences and preferred hive habitat of *Apis cerana cerana* F. were studied in city gardens in Sichuan Province. Other flower visiting insects were also recorded on flowers of the main plant species. [Results] The gardens contained many nectar and pollen producing plants with long flowering periods that bees could utilize. *A. cerana cerana* workers were active in cities. Effective foraging by workers was observed in all cities included in the study, and normal bee activity was also observed in winter. The Diptera and Lepidoptera were also common in gardens and compete with honey bees for food, although bees had the competitive advantage. Some green land and semi-natural habitats were the preferred locations of *A. cerana cerana*. [Conclusion] City gardens can provide suitable habitats for *A. cerana cerana* improvement of city landscapes and garden management will promote the conservation value of city gardens.

Key words pollination insects, honey bees, landscape plants, biological conservation

* 资助项目 Supported projects: 四川省教育厅创新团队项目 (14TD0025); 内江师范学院自然科学研究项目 (14ZB03); 内江师范学院校级重点建设学科项目 (2012)

**第一作者 First author, E-mail: zhangyanan1010@yahoo.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: cfjbio@163.com

收稿日期 Received: 2015-05-06, 接受日期 Accepted: 2015-10-20

生物多样性保护是当前的全球性热点问题,关系生态系统的稳定和人类的福祉。传粉过程影响植物繁殖和农作物生产,蜜蜂等蜂类昆虫是最主要的传粉者(谢正华等,2011)。据 Costanza 等(1997)估算,全球每年提供的传粉生态服务价值高达 1 170 亿美元;中国 2006—2008 年 36 种主要作物蜜蜂授粉年均价值为 3 042.2 亿元,相当于中国农业总产值的 12.3% (刘朋飞等,2011)。然而,受人类活动影响,传粉昆虫的数量正在不断下降,部分种类分布区缩减,这种趋势将导致其提供的传粉服务功能降低,威胁本土物种生存和农业生产(杨冠煌,2005;Potts *et al.*,2010)。世界范围内传粉者减少的趋势已引起各国的普遍关注,需要加强对传粉昆虫的监测和保护(Potts *et al.*,2010;谢正华等,2011)。

在众多影响因素中,生境丧失是造成野生蜂数量减少的根本原因之一(Potts *et al.*,2010)。现代城市化进程使得城市面积扩大,越来越多的地区受人类高强度干扰,园林植物替代了自然植被(Dearborn and Kark,2010)。随着对人居环境质量和城市生态功能要求提高,城市的园林绿化得到改善,生境类型多样,甚至存在自然或半自然生境(陈波和包志毅,2003)。近期研究发现,城市园林中开花植物种类繁多,许多可为蜜蜂提供所需的花蜜和花粉,且能够被采集利用(Matteson *et al.*,2008;田悦等,2013);熊蜂等也可找到适宜的营巢地(McFrederick and LeBuhn,2006)。因此,有必要将城市环境纳入传粉昆虫保护的范畴,公园等绿地也应该发挥对生物多样性的支持作用(祁素萍等,2008;Hennig and Ghazoul,2011)。尽管近年对城市园林的传粉者类群和生态功能逐渐重视,但城市园林能否真正成为我国本土传粉者中华蜜蜂 *Apis cerana cerana* 的保护地尚不清楚。本研究对四川地区多个城市中植物的蜜粉资源、中华蜜蜂行为等进行了调查,综合评估了城市作为中华蜜蜂等蜂类栖息地的可能性,以期对本土传粉者保护和相应的城市园林管理提供理论和实践指导。

1 研究方法

1.1 研究地点

以川南内江市为主要研究区域。为探讨城市中蜜蜂活动的普遍性,调查地区还包括四川地区县级以上其他 8 个城市,分别为成都、南充、西昌、遂宁、越西、邻水、仪陇和江油,调查选择城区的公园、居民小区以及成熟的绿化带,每个城市选择 2~4 个点,尽量涵盖较多生境类型。

1.2 调查和观测方法

以中华蜜蜂等传粉昆虫及其拜访园林植物为主要研究对象,调查其对园林植物资源的利用及在城市生境中的生存情况。包括以下内容:1)在前期研究(田悦等,2013)基础上,2013 年 3 月—2015 年 3 月对内江市城区园林植物进行详细调查,结合定点观测法记录开花植物种类以及中华蜜蜂的采蜜和采粉情况;对其中 17 种主要开花植物的访花昆虫类型进行观察;2)2014 年 12 月—2015 年 3 月对四川另外 8 个城市的样点进行调查,记录蜜粉源植物、主要植物上蜜蜂拜访行为等,判定其能否有效采集;3)2015 年 1 月对园林中人工控制饲养的 3 群中华蜜蜂进行观测,连续 3 d 整点计数 5 min 内进出巢门采集蜂数量,判定其是否能够有效采集,分析其活动频次;4)调查城市里中华蜜蜂的营巢地,分析其生境特征。

1.3 数据分析

数据分析和作图利用 EXCEL 2003 和 SPSS13.0 进行。蜜粉源植物根据分类地位和生活型进行种类统计;不同时间对采集蜂活动数量的影响采用 Kruskal-Wallis H 分析,不同蜂群采集蜂活动频次的比较采用 One-way ANOVA;访花昆虫与开花植物的相互作用格局分析利用网络图呈现。

2 结果与分析

2.1 园林植物的蜜粉资源

城市园林中开花植物类型多样,包括乔木、

灌木、藤本和草本植物。调查的所有城市中都可观察到蜜蜂访花, 植物来源以园林栽培为主, 同时包括园林杂草、居民小区的蔬菜作物等(表 1)。多数植物可同时提供花蜜和花粉, 有些植物仅提供其中一种食物类型。梅、碧桃、火棘和山茶等

植物上拜访蜜蜂数量较多, 而碎米荠和三色堇等植物上拜访较少。最为普遍的园林植物为梅、贴梗海棠、山茶、红叶李及蜡梅, 几乎在所有调查的城市中均有栽培, 除蜡梅外其余种类拜访蜜蜂数量较多。

表 1 中华蜜蜂拜访的园林开花植物及其蜜粉资源
Table 1 Nectar and pollen resource and flowering plants visited by *Apis cerana cerana* in gardens

编号 No.	植物种类 Species	科名 Family	食物类型 Food type
1	梅 <i>Armeniaca mume</i>	蔷薇科 Rosaceae	花蜜 Nectar, 花粉 Pollen
2	贴梗海棠 <i>Chaenomeles sinensis</i>	蔷薇科 Rosaceae	花蜜 Nectar, 花粉 Pollen
3	垂丝海棠 <i>Malus halliana</i>	蔷薇科 Rosaceae	花蜜 Nectar, 花粉 Pollen
4	樱花 <i>Cerasus</i> sp.	蔷薇科 Rosaceae	花蜜 Nectar, 花粉 Pollen
5	樱桃 <i>Cerasus pseudocerasus</i>	蔷薇科 Rosaceae	花粉 Pollen
6	李 <i>Prunus salicina</i>	蔷薇科 Rosaceae	花蜜 Nectar, 花粉 Pollen
7	碧桃 <i>Amygdalus persica</i>	蔷薇科 Rosaceae	花蜜 Nectar, 花粉 Pollen
8	红叶李 <i>Prunus cerasifera</i>	蔷薇科 Rosaceae	花蜜 Nectar, 花粉 Pollen
9	梨 <i>Pyrus pyrifolia</i>	蔷薇科 Rosaceae	花蜜 Nectar, 花粉 Pollen
10	月季 <i>Rosa hybrida</i>	蔷薇科 Rosaceae	花蜜 Nectar, 花粉 Pollen
11	火棘 <i>Pyracantha fortuneana</i>	蔷薇科 Rosaceae	花蜜 Nectar, 花粉 Pollen
12	蔷薇 <i>Rosa</i> sp.	蔷薇科 Rosaceae	花粉 Pollen
13	木香花 <i>Rosa banksiae</i>	蔷薇科 Rosaceae	花粉 Pollen
14	碎米荠 <i>Cardamine hirsuta</i>	十字花科 Cruciferae	花蜜 Nectar
15	油菜 <i>Brassica napus</i>	十字花科 Cruciferae	花蜜 Nectar, 花粉 Pollen
16	白菜 <i>Brassica rapa</i>	十字花科 Cruciferae	花蜜 Nectar, 花粉 Pollen
17	羽衣甘蓝 <i>Brassica oleracea</i>	十字花科 Cruciferae	花蜜 Nectar, 花粉 Pollen
18	金盏菊 <i>Calendula officinalis</i>	菊科 Compositae	花蜜 Nectar, 花粉 Pollen
19	三叶鬼针草 <i>Bidens pilosa</i>	菊科 Compositae	花粉 Pollen
20	孔雀草 <i>Tagetes patula</i>	菊科 Compositae	花蜜 Nectar
21	瓜叶菊 <i>Pericallis hybrida</i>	菊科 Compositae	花蜜 Nectar, 花粉 Pollen
22	刺桐 <i>Erythrina variegata</i>	蝶形花科 Fabaceae	花蜜 Nectar
23	蚕豆 <i>Vicia faba</i>	蝶形花科 Fabaceae	花蜜 Nectar
24	白车轴草 <i>Trifolium repens</i>	蝶形花科 Fabaceae	花蜜 Nectar, 花粉 Pollen
25	刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	蝶形花科 Fabaceae	花蜜 Nectar
26	油麻藤 <i>Mucuna sempervirens</i>	蝶形花科 Fabaceae	花蜜 Nectar
27	白花紫藤 <i>Wisteria floribunda</i>	蝶形花科 Fabaceae	花蜜 Nectar, 花粉 Pollen
28	迎春花 <i>Jasminum nudiflorum</i>	木樨科 Oleaceae	花蜜 Nectar
29	女贞 <i>Ligustrum lucidum</i>	木樨科 Oleaceae	花蜜 Nectar, 花粉 Pollen
30	小叶女贞 <i>Ligustrum quihoui</i>	木樨科 Oleaceae	花蜜 Nectar, 花粉 Pollen
31	桂花 <i>Osmanthus fragrans</i>	木樨科 Oleaceae	花粉 Pollen

续表 1 (Table 1 continued)

编号 No.	植物种类 Species	科名 Family	食物类型 Food type
32	白玉兰 <i>Yulania denudata</i>	木兰科 Magnoliaceae	花蜜 Nectar、花粉 Pollen
33	广玉兰 <i>Magnolia grandiflora</i>	木兰科 Magnoliaceae	花粉 Pollen
34	含笑 <i>Michelia</i> sp.	木兰科 Magnoliaceae	花蜜 Nectar
35	紫荆 <i>Cercis chinensis</i>	苏木科 Caesalpiniaceae	花粉 Pollen
36	羊蹄甲 <i>Bauhinia purpurea</i>	苏木科 Caesalpiniaceae	花蜜 Nectar
37	山茶 <i>Camellia japonica</i>	山茶科 Theaceae	花蜜 Nectar, 花粉 Pollen
38	蜡梅 <i>Chimonanthus praecox</i>	蜡梅科 Calycanthaceae	花蜜 Nectar
39	十大功劳 <i>Mahonia fortunei</i>	小檗科 Berberidaceae	花蜜 Nectar, 花粉 Pollen
40	三色堇 <i>Viola tricolor</i>	堇菜科 Violaceae	花粉 Pollen
41	垂柳 <i>Salix pendulina</i>	杨柳科 Salicaceae	花粉 Pollen
42	杜鹃花 <i>Rhododendron</i> sp.	杜鹃花科 Ericaceae	花蜜 Nectar, 花粉 Pollen
43	海桐 <i>Pittosporum tobira</i>	海桐花科 Pittosporaceae	花蜜 Nectar
44	蝴蝶花 <i>Iris japonica</i>	鸢尾科 Iridaceae	花蜜 Nectar
45	美人蕉 <i>Canna generalis</i>	美人蕉科 Cannaceae	花蜜 Nectar, 花粉 Pollen
46	石榴 <i>Punica granatum</i>	石榴科 Punicaceae	花蜜 Nectar、花粉 Pollen
47	吉祥草 <i>Reineckea carnea</i>	百合科 Liliaceae	花蜜 Nectar
48	法国冬青 <i>Viburnum odoratissimum</i>	忍冬科 Caprifoliaceae	花蜜 Nectar, 花粉 Pollen
49	芭蕉 <i>Musa basjoo</i>	芭蕉科 Musaceae	花粉 Pollen
50	兰花楹 <i>Jacaranda mimosifolia</i>	紫葳科 Bignoniaceae	花蜜 Nectar
51	南天竹 <i>Nandina domestica</i>	小檗科 Berberidaceae	花粉 Pollen
52	银海枣 <i>Phoenix sylvestris</i>	棕榈科 Arecaceae	花粉 Pollen
53	红花酢浆草 <i>Oxalis corymbosa</i>	酢浆草科 Oxalidaceae	花蜜 Nectar

记录到中华蜜蜂拜访的植物共 53 种，不同类群植物的数量分布如图 1。植物分属 24 科，以蔷薇科最多，蝶形花科和十字花科次之，多数科仅记录到 1 种植物。

生活型分布以乔木和草本为主，分别占 41.51%和 32.08%。花期分散在四季，以春季开花植物种类最多，如贴梗海棠、红叶李和紫荆等；冬季较少，如蜡梅和银海枣等。花色包括白、黄、

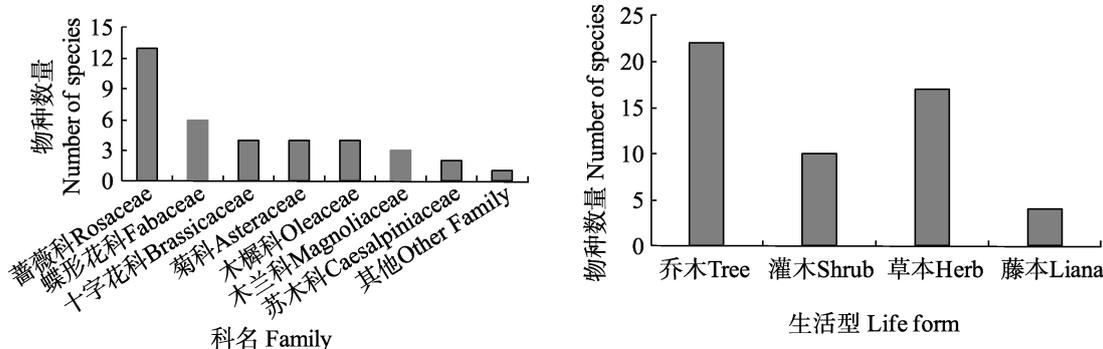


图 1 蜜粉源植物的类群分布
Fig. 1 The groups of plants with nectar and pollen

红和紫色等,花径从较小的南天竹、火棘到较大的羊蹄甲和芭蕉等均有。

2.2 中华蜜蜂的拜访行为

中华蜜蜂拜访园林植物的花朵采集花粉和花蜜作为食物(图 2)。对不同植物的拜访表现出不同的时间格局,与植物花朵的泌蜜散粉规律相关。部分植物蜜蜂拜访集中在上午,而有些植物下午访花次数较多,有些植物仅在温度较高的时段可观察到蜜蜂拜访。采集花蜜和花粉时采集蜂的行为不同,对花朵的处理方式各具特点。山

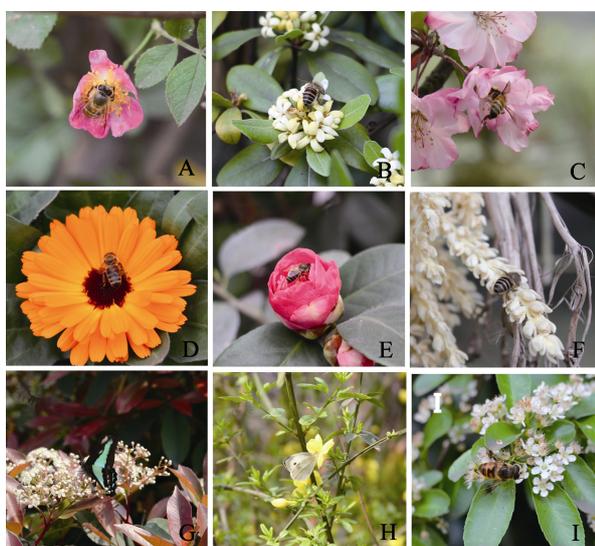


图 2 访花昆虫对城市园林植物的拜访行为

Fig. 2 Foraging behaviors of flower-visiting insects in city gardens

A~C: 蜜蜂拜访春季开花植物; D~F: 蜜蜂拜访冬季开花植物; G~I: 其他昆虫访花。

A-C: Bees visiting flowers in spring; D-F: Bees visiting flowers in winter; G-I: Visiting of other insects.

茶上蜜蜂访花频次为每朵(0.01~0.6)只/min,樱花为每朵(0.03~0.09)只/min,贴梗海棠为每朵(0.01~0.12)只/min,不同地点和不同时间差异很大。单花拜访时间不同植物之间也不一致,山茶和贴梗海棠上最长,可达数分钟;而在火棘等花上停留较短,往往仅有数秒。

中华蜜蜂群体的采集活动格局如图 3(A)。在适宜天气,从黎明到傍晚均可见到采集蜂外出采集,活动持续时间长。不同时段出巢和回巢采集蜂数量差异显著($\chi^2=41.39, P<0.01$; $\chi^2=61.88, P<0.01$),最高频次分别可达 $39.6 \text{ 只} \cdot \text{min}^{-1}$ 和 $34.8 \text{ 只} \cdot \text{min}^{-1}$ 。活动高峰期出现在午后,此时温度最高,蜜蜂采集最为活跃。蜂群平均出巢蜂数量在 $3.75\sim 8.76 \text{ 只}/\text{min}$,不同群之间差异显著($F=3.817, P<0.05$);回巢蜂数量与之相当,不同群之间差异不显著($F=1.953, P>0.05$)(图 3:B)。总体上,中华蜜蜂在冬季仍能在城市园林中有效采集食物。

2.3 访花竞争者和捕食者

城市中访花昆虫除中华蜜蜂等膜翅目昆虫外,还包括鳞翅目、双翅目和鞘翅目等昆虫(图 2)。在食物资源获取过程中,这些访花昆虫之间存在竞争,尤其是拜访相同植物的种类。图 4 展示了内江市市区访花昆虫和主要开花植物之间的相互作用。由图 4 可知,中华蜜蜂拜访的植物种类最多,蝴蝶等鳞翅目昆虫也在多种植物上进行采集,两者的食物生态位重叠较大。就植物而言,车轴草、油菜和蔷薇的访花昆虫类群最多;多数植物的主要访花昆虫仅为 1~2 个功能群。由于蜜

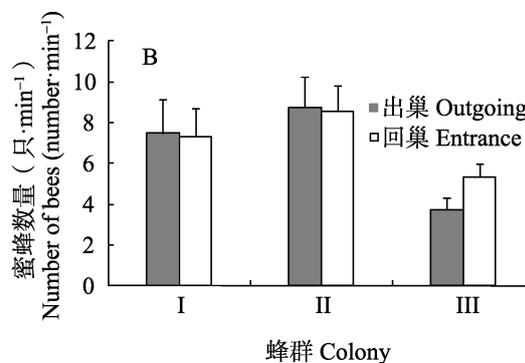
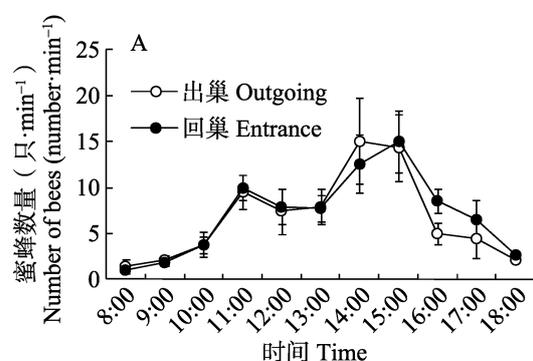


图 3 园林中冬季中华蜜蜂群体的活动频次

Fig. 3 Activity frequencies of *Apis cerana cerana* in gardens in winter

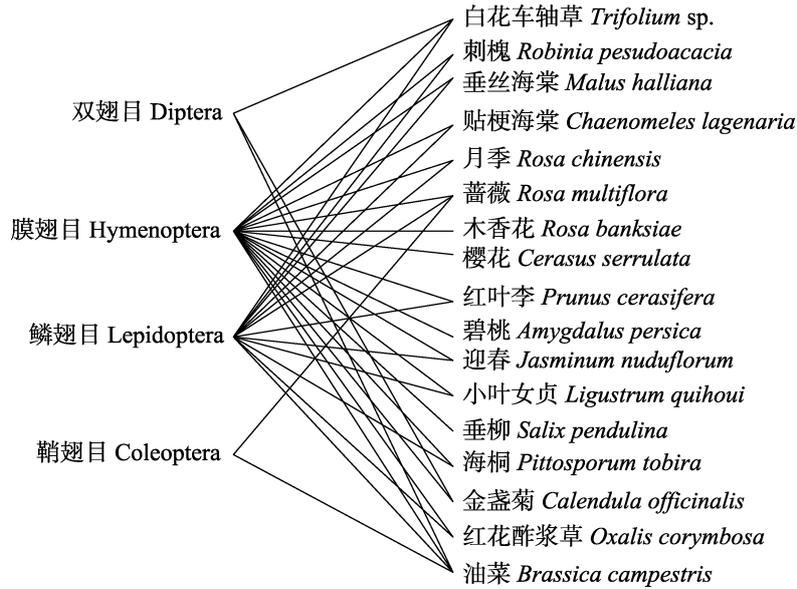


图 4 城市环境中主要植物-访花昆虫相互作用网络
 Fig. 4 Interaction network of main flowering plants and insect pollinators in the city

蜂个体数量较多，且蜂类昆虫具有一定的攻击性，故可见到其排挤其他访花昆虫；但蜜蜂的采集活动也往往受到干扰。对于中华蜜蜂而言，食物采集中的最大竞争者应为意大利蜂，城市边缘蜂场中的意大利蜂也能进入城市园林进行采集，许多植物种类二者均可采集。

胡蜂为中华蜜蜂的主要捕食者，在园林调查中可见其在树上或建筑物上筑巢，但常被人为清理。调查中仅见到 1 例胡蜂拜访花朵，未观察到捕食行为。

2.4 栖息地价值评价

城市园林除了提供蜜粉食物资源外，也可作为中华蜜蜂的巢地。调查中发现内江市城区范围内两群野生中华蜜蜂，其蜂巢分别筑在岩壁石缝和灌木丛中，小环境为人工花坛和残留次生灌丛，周围种植较茂盛的园林植物，巢门较为隐蔽。两群中华蜜蜂飞行活跃，能够成功越冬。但容易发现城市环境存在较多的干扰因素，车辆和人流都会对蜜蜂产生一定影响。此外，城市环境污染较大，也可能对访花昆虫造成不利影响。综上所述调查结果，城市园林能够为中华蜜蜂提供适宜的巢地地点，但总体上适宜巢地面积不大，生境质量有待进一步提高。

3 讨论和结论

城市园林对中华蜜蜂的维持和保护作用主要体现在提供食物资源和营巢地这两个重要方面。访花昆虫的拜访行为与植物提供的食物资源等因素密切相关，对不同植物的拜访行为存在差异（龚燕兵和黄双全，2007；Garbuzov and Ratnieks, 2014）。梅、海桐和蔷薇等可被认为是重要的蜜粉源植物，而部分开花植物未观测到中华蜜蜂拜访。相关研究也表明，不同植物对蜂类具有不同的吸引力（Garbuzov and Ratnieks, 2014），蜂群会根据自身状况调节采集行为（陈璇和胡福良，2009），园林植物选择时需要考虑与传粉昆虫等其他生物的关系，提高生态效应。有些植物开花数量多且蜜粉丰富，对蜜蜂具有更大的吸引力，在园林配置中应优先考虑。城市社区的农作物种植也有利于为蜜蜂提供食物，同时获得传粉服务（Matteson and Langellotto, 2009）。花期上，春季开花植物数量较多，秋冬季节较少，可有针对性地选择冬季开花植物以帮助中华蜜蜂等度过环境较严酷的时期。城市中其他访花昆虫共同利用部分植物的蜜粉资源（魏琮等，2005；龙见坤等，2010），尤其是意大利蜜蜂、蝴蝶等与中华蜜蜂生态位重叠较大。行为分析可知蜂类

在食物竞争中往往占有优势,而总体上其他昆虫的拜访频次较低,部分种类只是偶尔观察到。意大利蜜蜂对中华蜜蜂存在竞争且造成不利影响(杨冠煌, 2005),当城市周边有意大利蜜蜂蜂场时,这种情况在园林生境中可能也是不可忽视的。

城市环境可提供生境支持等多种生态服务,也面临诸多问题(毛齐正等, 2015)。许多地区人为干扰影响大,建筑和设施均用水泥等处理,树木不够繁盛,不适合作为营巢地。但公园绿地、人工林地和残留的半自然生境植被覆盖良好,局部环境多样,可能是中华蜜蜂等昆虫营巢的适宜环境。Ahrné等(2009)发现城市私用园地可为熊蜂提供适宜生境,尽管随周围城市化水平提高种类有所减少。具有本土植物种类的自然园林拥有更高的蜜蜂多度和部分类群的丰富度,生境特征对其有着较大影响(Pardee and Philpott, 2014)。调查和相关资料表明自然保留地等生境也有助于提高城市生物多样性水平,在城市和园林规划设计及相关人类活动时应当更多地考虑对其他生物的影响(王绪平等, 2007; Dearborn and Kark, 2010),尽可能保留或创造适宜的营巢地。

综上所述,城市园林可为中华蜜蜂提供食物和营巢地,具有适宜生活环境,能够支持本土传粉昆虫的生存。南方地区冬季气候较温和,中小城市蜜蜂容易进入,这些地方可能更容易发挥保护作用。但目前因食物资源数量有限、季节分布不均、营巢地生境质量不高,城市园林生态功能尚未充分发挥。在传粉者衰减和城市扩张的背景下,筛选蜜粉丰富的园林植物、科学配置花期的时空分布,以及创建良好的营巢生境等有针对性的改善举措对于中华蜜蜂等传粉昆虫保护具有重要的实践意义。

致谢: 感谢内江师范学院地理与资源科学学院许斌老师在制图过程中给予的帮助;感谢生命科学学院何宇、田悦同学所做的前期工作。

参考文献 (References)

Ahrné K, Bengtsson J, Elmquist T, 2009. Bumble bees (*Bombus* spp.)

along a gradient of increasing urbanization. *PLoS ONE*, 4(5): e5574.

Chen B, Bao ZY, 2003. Indicators for monitoring biodiversity in urban and suburban parks. *Biodiversity Science*, 11(2): 169–176.

[陈波, 包志毅, 2003. 城市公园和郊区公园生物多样性评估的指标. 生物多样性, 11(2): 169–176.]

Chen X, Hu FL, 2009. Regulatory mechanism of pollen foraging behavior in honeybees. *Chinese Bulletin of Entomology*, 46(3): 490–494. [陈璇, 胡福良, 2009. 蜜蜂花粉采集行为的调控机制. 应用昆虫学报, 46(3): 490–494.]

Costanza R, D'Arge R, De Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill RV, Paruelo J, Raskin RG, Sutton P, Den Belt MV, 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630): 253–260.

Dearborn DC, Kark S, 2010. Motivations for conserving urban biodiversity. *Conservation Biology*, 24(2): 432–440.

Garbuzov M, Ratnieks FLW, 2014. Quantifying variation among garden plants in attractiveness to bees and other flower-visiting insects. *Functional Ecology*, 28(2): 364–374.

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

Hennig EI, Ghazoul J, 2011. Plant–pollinator interactions within the urban environment. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 13(2): 137–150.

Liu PF, Wu J, Li HY, Lin SW, 2011. Economic values of bee pollination to China's agriculture. *Scientia Agricultura Sinica*, 44(24): 5117–5123. [刘朋飞, 吴杰, 李海燕, 林素文, 2011. 中国农业蜜蜂授粉的经济价值评估. 中国农业科学, 44(24): 5117–5123.]

Long JK, Luo QH, Pan SB, Mang DZ, Shu M, Zhang ZY, 2010. Study on species diversity and foraging behavior of flower-visiting hoverflies on *Ligustrum vicaryi* in Guiyang district. *Journal of Environmental Entomology*, 32(2): 235–242. [龙见坤, 罗庆怀, 潘盛波, 忙定泽, 舒敏, 张志燕, 2010. 贵阳市区金叶女贞上访花食蚜蝇物种多样性及访花行为研究. 环境昆虫学报, 32(2): 235–242.]

Mao QZ, Huang GL, Wu JG, 2015. Urban ecosystem services: a review. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 26(4): 1023–1033. [毛齐正, 黄甘霖, 邬建国, 2015. 城市生态系统服务研究综述. 应用生态学报, 26(4): 1023–1033.]

Matteson KC, Ascher JS, Langellotto GA, 2008. Bee richness and abundance in New York city urban gardens. *Annals of the Entomological Society of America*, 101(1): 140–150.

Matteson KC, Langellotto GA, 2009. Bumble bee abundance in

- New York city community gardens: implications for urban agriculture. *Cities and the Environment*, 2(1): 1–12.
- McFrederick QS, LeBuhn G, 2006. Are urban parks refuges for bumble bees *Bombus* spp. (Hymenoptera: Apidae)? *Biological Conservation*, 129(3): 372–382.
- Pardee GL, Philpott SM, 2014. Native plants are the bee's knees: local and landscape predictors of bee richness and abundance in backyard gardens. *Urban Ecosystems*, 17(3): 641–659.
- 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.
- Qi SP, Liu FF, Wang YH, 2008. Effects of species diversity conservation in urban landscape. *Chinese Landscape Architecture*, 24(7): 25–28. [祁素萍, 刘飞凤, 王义辉, 2008. 城市园林物种多样性保护效应. *中国园林*, 24(7): 25–28.]
- Tian Y, Cui Y, Wang AR, Chen FJ, 2013. The honey and pollen resource of landscape plants and visiting behavior of honeybees in the city. *Journal of Bee*, 33(12): 17–19. [田悦, 崔玉, 王安蕊, 陈发军, 2013. 城市园林植物的蜜粉资源及蜜蜂的访花行为. *蜜蜂杂志*, 33(12): 17–19.]
- Wang XP, Li DZ, Sheng LJ, Zhu ZL, Ke SZ, Wang CH, 2007. Significance of birds, bees and butterflies in urban gardens and their attraction and protection. *Scientia Silvae Sinicae*, 43(12): 134–143. [王绪平, 李德志, 盛丽娟, 朱志玲, 柯世朕, 王超华, 2007. 城市园林中鸟类及蜂蝶的重要性及其招引与保护. *林业科学*, 43(12): 134–143.]
- Wei C, Zhang YL, He H, 2005. Analysis of aesthetical values of enjoyable insects in Chinese gardens. *Chinese Bulletin of Entomology*, 42(1): 103–108. [魏琮, 张雅林, 贺虹, 2005. 略论中国园林观赏昆虫的美学价值. *昆虫知识*, 42(1): 103–108.]
- 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.]
- Yang GH, 2005. Harm of introducing the western honeybee *Apis mellifera* L. to the Chinese honeybee *Apis cerana* F. and its ecological impact. *Acta Entomologica Sinica*, 48(3): 401–406. [杨冠煌, 2005. 引入西方蜜蜂对中蜂的危害及生态影响. *昆虫学报*, 48(3): 401–406.]