

晋中万柏林生态园不同海拔及干扰程度 访桃花昆虫群落差异*

杜秀娟^{1**} 尚利娜² 任炳忠³ 刘俊英¹ 杞杰¹
武晓红¹ 时宝凌¹ 张金荣¹

(1. 山西林业职业技术学院林学系, 太原 030009; 2. 太原理工大学《煤炭转化》编辑部, 太原 030024;
3. 东北师范大学生命科学学院, 长春 130024)

摘要 【目的】明确万柏林生态园不同海拔及干扰程度访桃花昆虫群落组成、丰富度、多度和多样性参数差异。【方法】不同海拔高度, 设置不同生境样地, 定点定树拍照法采样, 利用统计学分析方法, 分析万柏林生态园不同海拔及干扰程度分类阶元访桃花昆虫群落物种组成、丰富度、多度及多样性。【结果】经鉴定, 万柏林生态园共采集访桃花昆虫 126 个体, 15 种; 游人汽车干扰强小生境、汽车干扰小生境、游人汽车干扰强生境、汽车干扰生境、游人汽车干扰弱生境、游人干扰生境中各采到访桃花昆虫 7 种、4 种、7 种、4 种、10 种和 8 种。相同年份内游人汽车干扰强小生境与游人汽车干扰强生境、汽车干扰强生境访桃花昆虫群落极相似 ($q=1.000$), 游人汽车干扰强小生境、游人汽车干扰强生境与汽车干扰小生境、汽车干扰生境访桃花昆虫群落极不相似 ($q=0.100$); 低海拔样地访桃花昆虫群落丰富度 ($R=10$) 和多度 ($P=46$) 分别低于高海拔样地访桃花昆虫群落丰富度 ($R=12$) 和多度 ($P=82$)。【结论】不同海拔及干扰程度访桃花昆虫群落丰富度、多度和多样性参数存在差异; 不同干扰程度桃园生境中特有访桃花昆虫物种可作为生境指示物种; 优势访桃花昆虫物种可作为桃树传粉昆虫。万柏林生态园桃树花期与果成熟期, 干扰严重, 需要大力保护花期与果期桃园。

关键词 桃花, 访桃花昆虫, 物种丰富度, 物种多度, 多样性, 差异

Differences between insect communities visiting *Prunus persica* flowers in habitats at different altitudes and with different degrees of disturbance in the Wanbailin Ecological Garden, Shanxi, China

DU Xiu-Juan^{1**} SHANG Li-Na² REN Bing-Zhong³ LIU Jun-Ying¹ QI Jie¹
WU Xiao-Hong¹ SHI Bao-Ling¹ ZHANG Jin-Rong¹

(1. Forestry Department, Shanxi Forestry Vocational Technical College, Taiyuan 030009, China;

2. Coal Conversion Editorial Department, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;

3. School of Life Science, Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

Abstract 【Objectives】To determine differences in the composition, species richness, abundance, and diversity, of the insect communities visiting flowering *Prunus persica* in habitats with different degrees of disturbance in Wanbailin Ecological Garden, China. 【Methods】Species composition, richness, abundance and diversity of the insect communities visiting flowering *P. persica* in habitats with various degrees of disturbance in Wanbailin Ecological Garden were investigated by taking pictures of each habitat and sample tree. 【Results】A total of 126 individuals of 15 flower-visiting insect species were collected. The results show that TADM, ADM, TADH, ADH, TADW, TDH species richness were 7, 4, 7, 4, 10 and 8, respectively. The most similar habitats had a q value of 1.000 whereas the least similar habitats had a q value of 0.100.

* 资助项目 Supported projects: 山西林业职业技术学院科研教改基金项目 (201502) 和山西省留学人员管理委员会 2016 年度省筹资金

**第一作者 First author, E-mail: dudragonfly@163.com

收稿日期 Received: 2016-03-23, 接受日期 Accepted: 2016-09-18

Flower-visiting insect community species richness at low altitude sites ($R=10$) were lower than at high altitude sites ($R=12$), but insect abundance at low altitude sites ($P=46$) was higher than at high altitude sites ($P=82$). **[Conclusion]** There were significant differences among the flower-visiting insect communities associated with flowering *P. persica* at habitats with various degrees of disturbance in Wanbailin Ecological Garden. Pollinators of *P. Persica* were the dominant species. Large numbers of people visiting and taking photos and associated motor vehicle activity caused serious disturbance to flower-visiting insects during the *P. Persica* flowering and fruiting period. Better management of human and motor vehicle activity is required to improve pollination of *P. Persica* in the Wanbailin Ecological Garden.

Key words *Prunus persica*, visiting *P. persica* flower insect, species richness, abundance, diversity, difference

访桃花昆虫指频繁活动于桃花上昆虫,主要包括为桃花授粉昆虫、取食花朵昆虫和桃花害虫天敌昆虫。显花植物桃花 *Prunus persica* (L.) Batsch 吸引昆虫访问传粉后才能结果 (Pablo *et al.*, 2013)。访花昆虫可以为显花植物荷花、大樱桃、山楂海棠、青桐传播花粉,保证和促进显花植物结实,提高丰收程度 (Jordi *et al.*, 2006; 贺春玲等, 2011; 张云毅等, 2012; 张旭凤和邵有全, 2014; 冯立超等, 2015)。访花昆虫种类、群落特征反应促进开花植物结实丰收程度,也影响与反应生境中访植物群落结构的构建与稳定 (彭艳琼等, 2002; 王俊等, 2011; 张云毅等, 2012; 张旭凤和邵有全, 2014; 冯立超等, 2015)。此外,昆虫可以作为指示生物评价森林健康的生物学与生态学特性 (王义平等, 2008; 张亚男等, 2016), 也用于监测和评价森林环境质量 (刘佳敏与徐华潮, 2012); 还可以检测和评价森林生态系统健康研究中一些问题 (童博与张丹丹, 2012)。不同生境访桃花昆虫组成不同,与访桃花昆虫种类对桃花响应有关 (Nanda *et al.*, 2007)。访桃花昆虫为桃树传粉与授粉促进结果,与桃树关系密切,优势访桃花昆虫是桃树的传粉昆虫;特有访桃花昆虫物种指示与改善访问生境特征;因此,访桃花昆虫群落特征可指示访问桃园生境对万柏林生态园生境改善效果。

1 研究地概况与调查方法

1.1 研究地概况

万柏林生态园位于山西省太原市西部万柏林区,北纬约 $37^{\circ}44'40''$,东经约 $112^{\circ}21'53''$,

海拔约 800~1 498 m,总面积 948 hm^2 ,从停车场附近至高海拔处,海拔较高处种植桃树 *Prunus persica*、苹果树 *Malus pumila*、杏树 *Armeniaca vulgaris* 等观赏食用树种。调查期间,万柏林生态园温度 9~31 $^{\circ}\text{C}$,湿度 27%~48%,降水概率 5%~90%,日照时数 2~12 h,风力 2~3 级,紫外线强度弱到很强,气压 1 002~1 016 Pa,日出时间 05:00—5:52,日落时间 19:06—19:53。低海拔 (876.6 m) 样地选 2 个生境,每个生境分别选 2 个小生境,游人汽车干扰强小生境和,汽车干扰小生境和;高海拔 (1 280.0 m) 样地阴坡和阳坡各选 1 个生境,游人汽车干扰弱生境和游人干扰生境。

游人汽车干扰强小生境 (TADM) 桃树 20 棵,离桃园中心 200 m 汽车 10 辆/d;桃园中心、离桃园中心 10 m 游人各 80 人/d 和 100 人/d。游人汽车干扰强小生境 (TADM),桃树 12 棵,离桃园中心 5 m 汽车 5 辆/d;桃园中心、离桃园中心 50 m 游人各 100 人/d 和 200 人/d。汽车干扰小生境 (ADM) 5 棵,离桃园中心 5 m 的汽车 10 辆/d;桃园中心、离桃园中心 5 m 游人各 8 和 10 人/d。汽车干扰小生境 (ADM) 桃树 5 棵,离桃园中心 10 m 汽车 10 辆/d;桃园中心、离桃园中心 5 m 游人各 6 人/d 和 10 人/d。游人汽车干扰弱生境 (TADW) 桃树 186 棵,离桃园中心 500 m 汽车 200 辆/d;桃园中心、离桃园中心 200 m 和 500 m 游人各 200、200、100 人/d。游人干扰生境 (TDH) 桃树 169 棵,离桃园中心 600 m 汽车 200 辆/d;桃园中心、离桃园中心 200 m 和 600 m 游人各 50、50、100 人/d。

1.2 调查取样方法

2015 年 4—6 月, 桃花盛花期采样 2~3 d/次, 其余时间 5~7 d/次, 采样时间 9:00—17:00。4 月 18 日—6 月 7 日, 定点定树法采样, 共采样 14 次。低海拔样地 阳坡与阴坡 4 个小生境各选样树 5 棵; 高海拔样地 2 个生境, 也选样树 5 棵。对每棵固定桃树 3 个桃花枝进行拍照, 有虫飞停桃花上或采食花蜜花粉时即拍照, 采样时间控制在 5 min 内。观察照片鉴定访桃花昆虫物种, 昆虫物种鉴定主要参照《中国动物志》(吴燕如, 2000) 和《中国蝇类》(薛万琦和赵建铭, 1996), 熊蜂属 *Bombus* 昆虫请中国农业科学研究院蜜蜂研究所安建东鉴定, 毛跗黑条蜂 *Anthophora plumipes* (Pallas) 请中国农业大学的徐怀李鉴定。最后统计桃树上访花昆虫物种名、丰富度、多度与多样性, 分析低海拔与高海拔样地不同干扰程度生境访桃花昆虫群落物种相似性、目与属级同级分类阶元访桃花昆虫群落物种相似性。

1.3 数据统计分析

数据统计分析方法参照杜秀娟等 (2009)。

(1) Patrick 丰富度参数: 丰富度参数为物种数 $R=S$ 。

(2) 多度参数: 多度参数为物种个体数 $A=N$ 。

(3) 群落相似性分析:

根据 Jaccard 相似性系数原理, 当 q 值 0.000~0.250 时, 群落极不相似; 当 q 值 0.250~0.500 时, 群落中等不相似; 当 q 值 0.500~0.750 时, 群落中等相似; 当 q 值为 0.750~1.000, 群落极相似。

Jaccard 相似性系数公式如下:

$$q = c/(a+b-c),$$

式中, c 为两个群落共有物种数, a 和 b 各为群落 A 和群落 B 物种数。

(4) 群落多样性分析: 采用 Shannon-Wiener 多样性参数

$$H' = -\sum P_i \ln P_i, P_i = N_i/N,$$

式中, N_i 为第 i 物种个体数, N 所有物种个体数。

(5) SPSS17.0 成对样本 t -检验 (Paired-Samples t -test) 访桃花昆虫群落参数差异。

2 结果与分析

2.1 访桃花昆虫物种

2.1.1 访桃花昆虫物种组成 表 1 可知, 2015 年, 万柏林生态园桃树花期, 共采集访桃花昆虫 126 头, 15 种, 隶属 13 属, 4 目。富士凹头蚁 *Formica fukaii* 既是传粉昆虫又是天敌昆虫, 桃花传粉昆虫 10 种, 隶属 8 属, 2 目; 暂时停留桃花昆虫 4 种, 隶属 3 属, 2 目; 桃花天敌昆虫 2 种, 隶属于 2 属, 2 目。所有物种中, 游人汽车干扰强小生境 7 种、汽车干扰小生境 4 种、游人汽车干扰强生境 7 种、汽车干扰生境 4 种、游人汽车干扰弱生境 10 种, 游人干扰生境 8 种; 优势访桃花昆虫物种在 6 个生境分布分别 1、1、2、2、4 和 2 种。

2.1.2 优势物种与特有物种 万柏林生态园不同生境访桃花昆虫群落物种与数量分布研究(表 1) 表明: 晋中万柏林生态园 15 种访桃花昆虫分布为: 游人汽车生境、汽车干扰小生境、汽车干扰小生境、汽车干扰生境均无特有物种或传粉昆虫特有物种分布, 但具有生境优势物种和传粉昆虫优势物种。游人汽车干扰强小生境优势物种和传粉昆虫优势物种都是 1 种, 为中华蜜蜂 *Apis cerana*, 分布所有生境; 中华蜜蜂和凹唇壁蜂 *Osmia excavata* 又是游人汽车干扰强生境(低海拔样地) 优势访桃花物种和传粉昆虫优势物种。而汽车干扰小生境优势物种和传粉优势物种也都是 1 种, 为西方蜜蜂 *A. mellifera*, 西方蜜蜂还分布游人汽车干扰弱生境、游人干扰生境; 汽车干扰生境优势物种和传粉昆虫优势物种是西方蜜蜂和富士凹头蚁 *Formica fukaii*。富士凹头蚁与角额壁蜂 *Osmia cornifrons*、西方蜜蜂、毛跗黑条蜂 *Anthophora plumipes* 4 种是游人汽车干扰弱生境优势物种和传粉昆虫优势物种; 只在游人汽车干扰生境(高海拔样地) 分布的特有访桃花昆虫物种 2 种, 分别为黄猄蚁 *Oecophylla*

表 1 晋中万柏林生态园不同生境访桃花昆虫物种组成与多度
Table 1 Species composition and abundance of flower-visiting insect from *Prunus persica* in different habitats of Wanbailin Ecological Garden

目 Order	属 Genus	物种名 Species name	低海拔样地 Low site (876.6 m altitude)				高海拔样地 High site (1 280.0 m altitude)	
			TADM (阳坡 Sunny slope)	ADM (阴坡 Shady slope)	TADH (阳坡 Sunny slope)	ADH (阴坡 Shady slope)	TADW (阳坡 Sunny slope)	TDH (阴坡 Shady slope)
膜翅目 Hymenoptera			12	13	20	23	53	16
	壁蜂属 <i>Osmia</i>		3		5		13	3
		角额壁蜂 <i>Osmia cornifrons</i> (Rodoszkowski)*					9	
		凹唇壁蜂 <i>Osmia excavata</i> Alfken*	3		5		2	4
	蜜蜂属 <i>Apis</i>		6	7	11	12	11	5
		中华蜜蜂 <i>Apis cerana</i> Fabricius*	6	1	11	1	1	3
		西方蜜蜂 <i>Apis mellifera</i> Linnaeus*		6		11	10	2
	木蜂属 <i>Xylocopa</i>		1		1			
		中华木蜂 <i>Xylocopa Sinensis</i> Smith*	1		1			
	条蜂属 <i>Anthophora</i>			1		1	10	7
		毛跗黑条蜂 <i>Anthophora plumipes</i> (Pallas)*		2		4	10	5
	熊蜂属 <i>Bombus</i>		1		1		4	2
		兰州熊蜂 <i>Bombus lantschouensis</i> Vogt*	1		1		4	2
	多刺蚁属 <i>Polyrhachis</i>		1		2		2	
		拟黑多刺蚁 <i>Polyrhachis vicina</i> Roger**	1		2		2	
	獠蚁属 <i>Monomorium</i>						2	
		黄獠蚁 <i>Oecophylla smaragdina</i> (Fabricius)**					2	
	蚁属 <i>Formica</i>			4		7	13	
		富士凹头蚁 <i>Formica fukaii</i> Wheeler****		4		7	13	
双翅目 Diptera			1		2			9

续表 1 (Table 1 continued)

目 Order	属 Genus	物种名 Species name	低海拔样地 Low site (876.6 ma.s.l.)				高海拔样地 High site (1 280.0 ma.s.l.)	
			TADM (阳坡 Sunny slope)		ADM (阴坡 Shady slope)		TADW (阳坡 Sunny slope)	
			TADH (阳坡 Sunny slope)		ADH (阴坡 Shady slope)		TDH (阴坡 Shady slope)	
	管蚜蝇属 <i>Eristalis</i>							9
		长尾管蚜蝇 <i>Eristalis tenax</i> Linnaeus*						9
	食蚜蝇属 <i>Syrphus</i>							
		大灰食蚜蝇 <i>Syrphus corollae</i> Fabricius*	1		2			
鞘翅目 Coleoptera							1	
	褐花蚤属 <i>Higehananomia</i>				1			
		大褐花蚤 <i>Higehananomia palpalis</i> Kono**	1		1			
	瓢虫属 <i>Harmonia</i>						1	
		异色瓢虫 <i>Harmonia axyridis</i> (Pallas)***					1	
半翅目 Hemiptera								3
	蝽属 <i>Eurydema</i>							3
		菜蝽 <i>Eurydema dominulus</i> (Scopoli)**						3
生境优势物种 Habitat dominant species			1	1	2	2	4	2
传粉昆虫优势物种 Dominant pollinator species			1	1	2	2	4	2
暂时停留桃花优势物种 Dominant temporary insects								
桃花天敌昆虫优势物种 Dominant enemy insects								
生境特有物种 Habitat special species							2	2
传粉昆虫特有物种 Special pollinator species								1
暂时停留桃花特有物种 Special temporary insects							1	
桃花天敌昆虫特有物种 Special enemy insects							1	1

TADM、ADM、TADH、ADH、TADW、TDH 各代表游人汽车干扰强小生境、汽车干扰小生境、游人汽车干扰强生境、汽车干扰生境、游人汽车干扰弱生境、游人干扰生境, 下表同。采用 2015 年有虫访桃花日子 4 月 18 日、4 月 23 日、4 月 25 日、4 月 29 日、5 月 2 日 (4 月 4 日、4 月 11 日、5 月 7 日、5 月 13 日、5 月 18 日、5 月 22 日、5 月 28 日、6 月 2 日、6 月 7 日无虫访桃花数据未采用) 数据和, 多度是访 3 个桃花枝昆虫个体数总和, 低海拔样地 TADM、ADM 丰富度与多度值为两个小生境平均值, TADH、ADH 丰富度与多度个体数为两个小生境和, 个体数采取四舍五入取整。1~2 为稀有物种, 个体数 3~5 为常见物种, 个体数 5 以上为优势物种。*、**、***、代表桃花传粉昆虫、暂时停留花朵昆虫和天敌昆虫。下表同。

TADM, ADM, TADH, ADH, TADW, TDH represents shady slope tourist and autocar disturbance serious microhabitat, autocar disturbance microhabitat, tourist and autocar disturbance serious habitat, autocar disturbance habitat, tourist and autocar disturbance weak habitat, tourist disturbance habitat, respectively. the same below. Flower-visiting insect from *Prunus persica* data from all investigative date in 2015, individual mean values from 3 sprays from *Prunus persica*. Tourist and autocar disturbance and autocar disturbance microhabitat species richness and abundance value were two microhabitat mean value, rounds decimal value to the nearest integer. Tourist and autocar disturbance and autocar disturbance habitat species richness and abundance were two microhabitat sum. Individual 1-2: Occurance species, individual 3-5: Common species, individual over 5: Dominant species. Species with *, **, *** represents pollinator, tempetary and enemy insects. The same below.

smaragdina 和异色瓢虫 *Harmonia axyridis* ,其中 ,黄猷蚁又是生境暂时停留花朵昆虫特有物种 ;而异色瓢虫是生境天敌昆虫特有物种。毛跗黑条蜂和长尾管蚜蝇 *Eristalis tenax* 是游人干扰弱生境 (高海拔样地)优势物种 ,此生境特有物种 2 种 ,分别是长尾管蚜蝇和菜蜂 *Eurydema dominulus* ,长尾管蚜蝇是传粉昆虫优势物种 ,而菜蜂为暂时停留花朵优势物种。

2.2 物种相似性

2.2.1 生境访桃花昆虫群落物种级相似性

表 2 可知 ,万柏林生态园低海拔与高海拔样地的访桃花昆虫群落中等不相似 ($q=0.500$)。群落相似性系数最低的生境是 TADM、TADH 与 ADM、ADH $q=0.100$;其次为生境 TADM、TADH 与 TDH 访桃花昆虫群落的相似性系数 $q=0.250$, q 值均在 $0.000 \sim 0.250$,群落极不相似。 q 值在 $0.250 \sim 0.500$,群落相似性系数分别为 $q=0.308$ 、 $q=0.333$ 和 $q=0.385$ 、 $q=0.400$;其中 , $q=0.400$ 的生境为 ADM、ADH 与 TADW ;TADM、TADH 与 TADW 生境相似性系数 $q=0.308$;ADM、ADH 与 TDH 相似性系数 $q=0.333$;TDH 与 TADW $q=0.385$, q 值均在 $0.250 \sim 0.500$,群落中等不相似。生境 TADM 与 TADH ($q=1.000$) ADM 与 ADH ($q=1.000$) 极相似。

2.2.2 目级或属级群落物种相似性 不同生境膜翅目访桃花昆虫的目级群落相似性系数大于 0.000 (表 3)。TADM、TADH 与 ADM、ADH ($q=0.125$) 膜翅目昆虫群落极不相似。TADW 与 TADM、TADH 的生境相似性系数 $q=0.400$;

TDH 与 TADM、TADH 的生境相似性系数 $q=0.429$;TADW 与 ADM、ADH 的生境相似性系数 $q=0.444$;TDH 与 ADM、ADH 的生境相似性系数 $q=0.500$,群落均中等不相似 ;TADW 与 TDH 群落中等相似 ($q=0.556$) ;TADM 与 TADH ($q=1.000$) , ADM 与 ADH ($q=1.000$) ,群落均极相似。鞘翅目群落的生境相似性与双翅目类似 ,除 TADM 与 TADH 访桃花昆虫群落极相似外 ($q=1.000$) ,其余两两生境访桃花昆虫双翅目群落均极不相似 ($q=0.000$)。半翅目的不同生境间的相似性系数 $q=0.000$,群落都极不相似。

2.2.3 属级群落物种相似性 不同生境的属级群落之间 ,除猷蚁属 *Monomorium*、管蚜蝇属 *Eristalis*、瓢虫属 *Harmonia* 和蜡属 *Eurydema* 4 个属不同生境的属级访桃花昆虫群落相似性系数均为 0.000 ,群落极不相似 ;其余 9 个属壁蜂属 *Osmia*、蜜蜂属 *Apis*、木蜂属 *Xylocopa*、条蜂属 *Anthophora*、熊蜂属、多刺蚁属 *Polyrhachis*、蚁蜂属 *Smigromyren*、食蚜蝇属 *Syrphus* 和褐花蚤属 *Higehananomia* 属级群落若有相似性 ,则生境群落间中等相似或极相似 (表 3)。蜜蜂属属级群落间均有相似性系数 ,TADM 与 ADM、TADM 与 ADH、TADM 与 TADW、TADM 与 TDH、ADM 与 TADH、TADH 与 ADH、TADH 与 TADW、TADH 与 TDH 的群落相似性系数为 0.500 ,访桃花昆虫群落中等相似 ;TADM 与 TADH、ADM 与 ADH、ADM 与 TADW、ADM 与 TDH、ADH 与 TADW、ADH 与 TDH、TADW

表 2 不同干扰程度生境访桃花昆虫群落物种相似性

Table 2 Flower-visiting insect community similarity from different distanbance *Prunus persica* habitats

生境 Habitats	高海拔样地 High site	TADM	ADM	TADH	ADH	TADW	TDH
低海拔样地 Low site	0.500						
TADM		1.000	0.100	1.000	0.100	0.308	0.250
ADM			1.000	0.100	1.000	0.400	0.333
TADH				1.000	0.100	0.308	0.250
ADH					1.000	0.400	0.333
TADW						1.000	0.385
TDH							1.000

Table 3 Flower-visiting insect order community similarity from different distance *Prunus persica* habitats

[illegible]

Table 4 Flower-visiting insect genus community similarity from different distance *Prunus persica* habitats

[illegible]

与 TDH 的访桃花昆虫群落相似性系数为 1.000, 生境访桃花昆虫群落极相似。壁蜂属属级群落若有相似性系数, $q=0.500$ 和 $q=1.000$; TADM 与 TADW、TADH 与 TADW、TADH 与 TDH、TADM 与 TDH 的生境群落相似性系数为 0.500, 生境访桃花昆虫群落中等相似; TADM 与 TADH、TADM 与 TDH 的生境群落相似性系数为 0.000, 生境访桃花昆虫群落极相似。熊蜂属、条蜂属、多刺蚁属、蚊蜂属、食蚜蝇属、褐花蚤属属级不同生境群落若有相似性系数, 值均为 1.000, 访桃花昆虫群落极相似。

2.3 群落丰富度、多度与多样性差异

不同生境丰富度及多度存在差异(表 5), TADW 和 TDH 访桃花昆虫丰富度较高(10 和 8), 多度也较高(54 和 28); 低海拔样地多度低于高海拔样地, 生境 TADW 多度最高 $A = 54$ 。TADH 和 ADH 丰富度和多度都低。低海拔样地丰富度与多度各 10 和 46, 高海拔样地各 12 和 82, 高海拔样地个体数占总个体数 64.06%。高海拔与低海拔样地丰富度差异显著 ($t = -8.000$, $df=15$, $P=0.015<0.050$), 而高海拔样地与低海拔样地多度差异不显著 ($t = -2.498$, $df=15$, $P=0.130>0.100$)。高海拔样地与低海拔样地传粉昆虫的丰富度差异显著 ($t = -5.000$, $df=15$, $P=0.038<0.050$), 生境 ADH 最低, TADW 传粉昆虫丰富度最高; 但生境 TADH 与 ADH 传粉昆虫的多度相等 $A = 23$, 而生境 TADW 的多度最高 $A = 51$ 。不同生境多样性存在差异, TADW 多样性参数最高, ADH 多样性最低; ADH 传粉昆虫多样性也最低, 但 TDH 传粉昆虫多样性最高。低海拔与高海拔样地多样性差异显著 ($t = -4.615$, $df=15$, $P=0.044<0.050$), 传粉昆虫多样性不存在差异 ($t = -4.177$, $df=15$, $P=0.053>0.050$)。

3 结论与讨论

3.1 生境访桃花昆虫

晋中万柏林生态园不同海拔及干扰程度访桃花昆虫群落物种组成存在差异。低海拔样地

中, 访桃花昆虫群落物种 10, 个体数 46; 高海拔样地中, 访桃花昆虫群落物种数 12 种, 个体数 82。膜翅目昆虫访问所有生境桃花, 各个生境个体数为 12、13、20、23、53、16, 验证了膜翅目昆虫是优势访桃花昆虫类群(吴燕如等, 2000; 安建东等, 2007; Henry *et al.*, 2012)。蜜蜂属昆虫分子所有生境, 各个生境个体数分别 6、7、11、12、10 和 6; 低海与高海拔样地生境都分布 6 个属为壁蜂属、条蜂属、熊蜂属、多刺蚁属、蚊属。低海拔样地特有属为木蜂属、食蚜蝇属和褐花蚤属; 高海拔样地特有属为狼蚁属、管蚜蝇属、瓢虫属、蜡属(刘佳敏和徐华潮, 2012; Tong and Zhang, 2012)。

特有物种与优势物种是生境指示物种, 也是传粉昆虫物种。低海拔样地中, 生境 TADH 访问桃花昆虫优势物种中华蜜蜂多度 $A=11$, 而与其多度相等的生境 ADH 的优势物种为西方蜜蜂, 人为干扰因素改变、传粉昆虫活动时间与形式发生改变有关(Manu and Gary, 2014)。TADM 与 ADM 优势物种数($R=1$)与特有物种数($R=0$)相等; 高海拔样地中, 阳坡 TADW 比阴坡 TDH 优势物种数高(分别为 4 和 2), 特有物种数相等($R=2$); 花蜜的碳水化合物决定访花昆虫种类(Davis *et al.*, 1998), 干扰强生境中, 汽车尾气中释放大量的二氧化碳, 二氧化碳升高可增加花蜜量(Andreas and Hans, 2005); 而生态学背景影响传粉昆虫发现花的蜂蜜(Gegear *et al.*, 2007), 同样也就会增加前来访问昆虫种类与数量; 也与万柏林生态园生态系统起源于人工改造环境有关。可推测, 低海拔样地, 人为干扰因素对访桃花昆虫群落优势物种与特有物种数的正影响大于自然因素光照与坡向; 高海拔样地中, 人为干扰因素对访问桃花昆虫群落优势物种与特有物种的干扰比自然因素光照与坡向低。低海拔样地位于停车场附近, 高海拔样地位于汽车行驶园路附近; 强汽车尾气对访桃花昆虫群落干扰强于人干扰因素。特有物种可以指示桃园生境受干扰程度, 而优势物种为桃花传粉, 促进桃树健康生长与结果; 低海拔样地中, 生境 TADH 访桃花昆虫优势物种分别为凹唇壁蜂($A=5$)与中

表 5 调查生境访桃花昆虫群落丰富度、多度及多样性参数
Table 5 The richness, abundance and diversity index of flower-visiting insects in surveyed habitats

生境 Habitats	访桃花昆虫丰富度 Species richness	传粉昆虫丰富度 Pollinator richness	多度 Species abundance	传粉昆虫多度 Pollinator abundance	多样性 Species diversity(H')	传粉昆虫多样性 Pollinator diversity(H')
低海拔样地 Low site	10	9	46	43	1.955	1.789
TADH	7	5	23	20	1.518	1.205
ADH	4	4	23	23	1.155	1.155
TADW	10	7	54	49	1.973	1.726
TDH	7	6	28	25	1.806	1.641
高海拔样地 High site	12	10	82	74	2.255	2.002

华蜜蜂 ($A = 11$), 而生境 ADH 为西方蜜蜂 ($A = 11$) 与富士凹头蚁 ($A = 7$), 可推测低海拔 876.6 m 的 TADH 桃园采用中华蜜蜂与凹唇壁蜂传粉, 而 ADH 桃园采用西方蜜蜂与富士凹头蚁传粉。高海拔样地, TADW 访桃花昆虫优势物种分别为角额壁蜂 ($A = 9$)、西方蜜蜂 ($A = 10$)、毛跗黑条蜂 ($A = 10$)、富士凹头蚁 ($A = 13$), TDH 访桃花昆虫优势物种分别为毛跗黑条蜂 ($A = 5$) 和长尾管蚜蝇 ($A = 9$); 因而, 可推测海拔 1 280.0 m 的 TADW 桃园采用角额壁蜂、西方蜜蜂、毛跗黑条蜂与富士凹头蚁传粉、TDH 桃园采用毛跗黑条蜂与长尾管蚜蝇传粉。

3.2 访桃花昆虫群落相似性

万柏林生态园低海拔与高海拔样地的访桃花昆虫群落中等不相似 ($q = 0.500$), 相似于花椒园中低海拔样地与高海拔样地昆虫群落不相似 (张承祚等, 2006); 低海拔阳坡, 食蚜蝇群落与高海拔阴坡群落的相似性最低 (Keil and Konvicka, 2005)。本研究中, 中等不相似群落, 两因素 (游人和汽车) 干扰强生境与两因素 (游人和汽车) 干扰弱生境访桃花昆虫群落相似性 ($q = 0.308$), 低于两因素 (游人和汽车) 干扰弱与单一因素 (汽车) 干扰生境访桃花昆虫群落相似性 ($q = 0.400$); 可推测, 中等不相似群落, 两因素干扰弱与两因素、单一因素干扰群落的相似性; 干扰因素越多, 与两因素干扰弱群落的相似性越低 (杜秀娟等, 2009; Morano *et al.*, 2010;

Henry *et al.*, 2012)。两因素干扰强 (游人和汽车) 与单一因素 (游人) 干扰群落的相似性 ($q = 0.385$), 高于两因素干扰弱 (游人和汽车) 与单一因素 (游人) 干扰的相似性 ($q = 0.250$), 可推测两因素干扰与单一因素干扰生境群落, 干扰越强相似性越高 (杜秀娟等, 2009; Henry *et al.*, 2012)。两因素 (游人和汽车) 干扰强生境与两因素 (游人和汽车) 干扰、单一因素 (汽车) 干扰强生境访桃花昆虫群落相似性系数 $q = 1.000$, q 值为 0.750~1.000, 群落极相似; 可推测, 极相似群落两因素干扰强与两因素干扰弱生境的相似性, 等于两因素干扰强与单因素干扰强群落相似性 (杜秀娟等, 2009; Morano *et al.*, 2010)。

不同生境膜翅目 Hymenoptera 访桃花昆虫的目级群落相似性系数均大于 0.000, 与膜翅目昆虫大多数种类访开花植物, 为大多数开花植物传粉有关 (吴燕如等, 2000; Tsuji *et al.*, 2004; 安建东等, 2007; Grixti *et al.*, 2009; Biddinger *et al.*, 2011; 赵亚周等, 2011; An *et al.*, 2014)。膜翅目昆虫群落, 两因素 (游人和汽车) 干扰强与单一因素 (汽车、游人) 干扰生境访桃花膜翅目昆虫群落相似系数 $q = 1.125$, 群落极不相似 (杜秀娟等, 2009; Morano *et al.*, 2010; Henry *et al.*, 2012)。中等相似群落, 两因素 (游人和汽车) 干扰弱强于两因素干扰强 (游人和汽车) 与单一因素 (游人) 干扰生境访桃花昆虫群落的相似性 (Hendriekx *et al.*, 2007; Henry *et al.*, 2012)。游人汽车干扰弱小生境与游人汽车干扰弱生境

访桃花昆虫双翅目 *Diptera* 群落相似性 $q=1.000$, 群落极相似, 验证了长白山部分生境的访花食蚜蝇群落具有相似性, 部分生境不具有相似性 (杜秀娟等, 2009)。不同生境访桃花昆虫鞘翅目、半翅目的目级群落之间相似性系数 $q=0.000$, 群落极不相似。访桃花昆虫鞘翅目目级群落生境的不相似性验证了双石镇与锅巴岩、蜂桶寨、麻黄沟昆虫群落甲虫均不相似 (于晓东等, 2003); 半翅目的目级群落极不相似, 验证不同海拔高度部分的生境取食藤本的半翅目昆虫的群落不相似 (Morano *et al.* , 2010)。

不同生境蜜蜂属属级群落相似性系数为 0.500 或 1.000; 壁蜂属、蜜蜂属、木蜂属、条蜂属、熊蜂属、多刺蚁属、蚁蜂属、食蚜蝇属、褐花蚤属 9 个属若有访桃花昆虫不同生境属级群落相似性, 中等相似 ($q=0.005$) 或极相似 ($q=1.000$); 但蜜蜂属与熊蜂属昆虫是桃花优势传粉昆虫 (安建东等, 2007; Williams and Kremen, 2007; 赵亚周等, 2011; Henry *et al.* , 2012; Jiandong *et al.* , 2014)。猿蚁属、管蚜蝇属、瓢虫属、蜡属 4 个属属级不同生境访桃花昆虫群落极不相似 ($q=0.000$); 这 4 个属访桃花生境的访桃花昆虫群落间不具有相似性, 可能为某种生境特有属, 可以作为某生境的指示属 (张红玉和欧晓红, 2006; 王义平等, 2008; 刘佳敏和徐华潮, 2012; Tong and Zhang, 2012)。熊蜂属条蜂属、多刺蚁属、蚁蜂属、食蚜蝇属、褐花蚤属属级不同生境群落若有相似性, 群落极相似 ($q=1.000$); 熊蜂属访桃花生境的差异大, 而条蜂属、多刺蚁属、蚁蜂属、食蚜蝇属、褐花蚤属访桃花群落生境的特征差别不大, 可能与昆虫访问桃花的开放程度、粉色桃花颜色的深浅, 也与蜜腺结构与产蜜量及花粉量的多少有关 (Ness, 2003; Mondor *et al.* , 2006; Nanda *et al.* , 2006; Nanda *et al.* , 2007; Pulice and Packer, 2008; Ralph *et al.* , 2013)。

3.3 访桃花昆虫丰富度、多度与多样性不同

访桃花昆虫群落壁蜂属与蜜蜂属群落丰富度随海拔高度变化规律均验证了取食木质部害

虫分布随海拔高度的变化差异显著 (Morno *et al.* , 2010)。随着海拔的升高, 访桃花昆虫群落的物种丰富度先降低后升高, 多度随海拔的升高而升高; 这与花椒园中, 昆虫群落物种数 (丰富度) 随着海拔升高而降低不同, 与多度随海拔升高而升高相同 (张承祚等, 2006)。TADM 与 TADH 的物种丰富度均为 7, ADM 与 ADH 丰富度均为 4; 前者多度为 13 和 23; 后者多度为 12 和 23; 此外, 小生境多度为两个采样小生境平均值, 生境多度为两个采样小生境多度和; 采样桃花总枝数均未超过 15 个; 可以推断相同类型生境中, 面积增加物种数不变, 多度增大, 与热带雨林中很小空间改变, 植食性昆虫群落就会有很大变化相类似 (Heinonen *et al.* , 2013)。就采样桃树棵数与访问桃花枝的数量分析; 干扰逐渐增强的 TDH、ADH、TADW、TADH 访桃花昆虫群落的丰富度分别为 7、4、10 和 7 种, 多度分别为 28、23、54、23; 随着游人和汽车干扰的增加访桃花昆虫群落的丰富度与多度呈先降后升高再降低; 与长春南湖公园土壤昆虫群落随人为干扰程度增强, 科的丰富度与多度降低不同 (苏志刚等, 2013); 所以, 访桃花昆虫, 尤其是特有物种指示访问桃园生境对万柏林生态园桃园生境影响程度。

访桃花昆虫在生态园桃花繁衍、生存与改善生态环境中起着重要作用。高海拔样地多度比低海拔样地丰富度高, 与高海拔样地采样的样树分布在桃树棵数较多生境, 非采样桃树吸引昆虫访问, 进而增加访问采样桃树的昆虫个体数 (Heinonen *et al.* , 2013; Ralph *et al.* , 2013)。访桃花昆虫中传粉昆虫, 高海拔样地与低海拔样地传粉昆虫丰富度差异显著, 物种也不同; 人为因素干扰下, 海拔对访桃花昆虫物种数影响大。生境 TADH 传粉昆虫丰富度比 TADW 低, TADH 和 TADW 均有较强人为和汽车干扰, 可推测游人和汽车影响两个生境访桃花昆虫物种程度相同; 但 TADH 传粉昆虫多度最低, TADW 多度最高, 与 TADH 生境桃树棵数少树龄低, TADW 桃树棵数较多、树龄高有关。低海拔样地 9 种传

粉昆虫, 高海拔样地 10 种传粉昆虫, 与桃园桃花传粉和结实密切相关。中华蜜蜂是桃花的传粉昆虫, 分布于所有生境, 应用于所有生境桃花传粉与授粉 (Henry *et al.*, 2012; An *et al.*, 2014)。西方蜜蜂是桃花优势传粉昆虫, 低海拔样地, 阴坡多度高; 高海拔样地, 阳坡多度高; 西方蜜蜂应用于低海拔阴坡和高海拔阳坡桃树的授粉 (Williams *et al.*, 2007; 赵亚周等, 2011; Henry *et al.*, 2012; An *et al.*, 2014)。

参考文献 (References)

- An JD, Huang JX, Shao YQ, Zhang SW, Wang B, Liu XY, Wu J, Williams PH, 2014. The bumblebees of North China (Apidae, *Bombus* Latreille). *Zootaxa*, 3830 (1): 1–89.
- An JD, Wu J, Peng WJ, Tong YM, Guo ZB, Li JL, 2007. Foraging behavior and pollination ecology of *Bombus lucorum* L. and *Apis mellifera* L. in greenhouse peach garden. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1(5): 1071–1076. [安建东, 吴杰, 彭文君, 童越敏, 国占宝, 李继莲, 2007. 明亮熊蜂和意大利蜜蜂在温室桃园的访花行为和传粉生态学比较. 应用生态学报, 1(5): 1071–1076.]
- Andreas E, Hans PR, 2005. Elevated carbon dioxide increases nectar production in *Epilobium angustifolium* L. *Oecologia*, 146(2): 311–317.
- Biddinger D, Rajotte E, Josi N, Ritz A, 2011. Wild bees as alternative pollinators. Pennsylvania State University Extension Fruit Production News. September 27, 2011 (<http://extension.psu.edu/fruit-production/news/2011/wild-bees-as-alternative-pollinators>, accessed Feb 6, 2013).
- Davis AR, Pylatuik J D, Paradis JC, Low NH, 1998. Nectar-carbohydrate production and composition vary in relation to nectary anatomy and location within individual flowers of several species of Brassicaceae. *Planta*, 205(2): 305–318.
- Du XJ, Ren BZ, Wu YG, Song LW, 2009. Differences of flower-visiting hoverfly (Diptera: Syrphidae) communities in habitats with various degrees of disturbance and altitude in Changbai Mountain, N. E. China. *Acta entomologica Sinica*, 52(5): 551–560. [杜秀娟, 任炳忠, 吴艳光, 2009. 长白山北坡不同海拔及干扰程度下访花食蚜蝇群落的差异. 昆虫学报, 52(5): 551–560.]
- Feng LC, Meng QF, Gao WT, 2015. Diversity and behavior of flower visitors insects of *Malus komarovii* in the southwest slop of Changbai Mountain. *Guangdong Agricultural Sciences*, 4(3): 147–152. [冯立超, 孟庆繁, 高文韬, 2015. 长白山西南坡山楂海棠访花昆虫多样性及其行为研究. 广东农业科学, 42(3): 147–152.]
- Gegear RJ, Manson JS, Thomson JD, 2007. Ecological context influences pollinator deterrence by alkaloids in floral nectar. *Ecology Letters*, 10(5): 375–382.
- Grixti JC, Wong LT, Cameron SA, Favret C, 2009. Decline of bumblebees (*Bombus*) in the North American Midwest. *Biol. Conserv.*, 142(1): 75–84.
- He CL, Ji BZ, Liu SX, 2011. Morphology and biology of *Xylocopa tranquebarorum*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(6): 1751–1758. [贺春玲, 嵇宝中, 刘曙霞, 2011. 长木蜂的形态和生物学观察. 应用昆虫学报, 48(6): 1751–1758.]
- Hendriekx F, Maelfait JP, Van Wingerden W, Schweiger O, Speelmans M, Aviron S, Augenstein I, Billeter R, Bailey D, Bukacek R, 2007. How landscape structure land-use intensity and habitat diversity affect components of total arthropod diversity in agricultural landscapes. *Journal of Applied Ecology*, 44(2): 340–351.
- Henry M, Froeche M, Mailliet MJ, Breyne E, Allier F, Jean FO, Decourtye A, 2012. Spatial autocorrelation in honeybee foraging activity reveals optimal focus scale for predicting agro-environmental scheme efficiency. *Ecological Modeling*, 225(3): 103–114.
- Jordi B, William K, Glen ET, 2006. Bee population return and Cherry yields in an orchard pollinated with *Osmia lignaria* (Hymenoptera: Megachilidae). *Journal of Economic Entomology*, 99(2): 408–413.
- Keil P, Konvicka M, 2005. Local species richness of Central European hoverflies (Diptera: Syrphidae): a lesson taught by local faunal lists. *Diversity and Distributions*, 11(5): 417–426.
- Liu JM, XU HC, 2012. Indicative insects for monitoring and evaluating the quality of forestry environment. *Journal of Environmental Entomology*, 34(2): 148–153. [刘佳敏, 徐华潮, 2012. 指示性昆虫用于监测和评价森林环境质量的研究. 环境昆虫学报, 34(2): 148–153.]
- Manu ES, Gary WL, 2014. Spatial and temporal variation in pollinator community structure relative to a woodland–almond plantation edge. *Agriculture and forest Entomology*, 16(4): 369–381.
- Mondor EB, Tremblay MN, Messing RH, 2006. Extrafloral nectary phenotypic plasticity is damage and resource-dependent in *Vicia faba*. *Biology Letters*, 2(2): 583–585.
- Morano L, Yoon JM, Abedi A, Mitchell F, 2010. Evaluation of xylem-feeding insects (Hemiptera: Auchenorrhyncha) in Texas vineyards: distribution along state-wide environmental gradients. *Southwestern Entomologist*, 35(4): 503–512.
- Nanda V, Bera B, Bakhshi AK, 2006. Optimization of the process parameters to establish the quality attributes of hydroxymethyl furfural content and diastatic activity of sunflower (*Helianthus annuus*) honey using response surface methodology. *European Food Research and Technology*, 222(1): 64–70.
- Nanda V, Kaur A, Bera MB, Singh B, Bakhshi AK, 2007. Palynological studies and application of response surface methodology to establish the quality attributes in *Eucalyptus* honey. *Acta Alimentaria*, 35(4): 409–422.
- Ness J, 2003. *Catalpa bignonioides* alters extrafloral nectar production after herbivory and attracts ant bodyguards. *Oecologia*, 134(2): 210–218.

- Peng YQ, Yang DY, Su SJ, 2002. Insect community of *Ficus auriculata* and *Ficus hispida*. *Research*, 15(2): 136–142. [彭艳琼, 杨大荣, 苏绍菊, 2002. 木瓜榕和对叶榕上昆虫群落结构. 林业科学研究, 15(2): 136–142.]
- Pablo MP, Karim B, Cristina Nerin, 2013. Patern recognition of peach cultivars (*Prunus persica* L.) from their volatile components. *Food Chemistry*, 138(1): 724–731.
- Pulice CE and Packer AA, 2008. Simulated herbivory induces extrafloral nectary production in *Prunus avium*. *Functional Ecology*, 22(5): 801–807.
- Ralph S, Alissa BK, Ann MC, Kevin W, Mark D, Tim G, 2013. Spatial and temporal assessment of pollen and seed-mediated gene flow from genetically engineered plum *Prunus domestica*. *PLoS ONE*, 8(10): e75291.
- Su ZG, Fang Y, Sun G, Hu ZW, Du XL, 2013. Soil insect community structure and the relationship with artificial disturbance intensity in the Nanhu Park of Changchun. *Northern Horticulture*, (5): 2351–2352. [苏志刚, 房岩, 孙刚, 胡子伟, 2013. 长春南湖公园土壤昆虫群落结构及其与人为干扰强度的关系. 北方园艺, (5): 2351–2352.]
- Tong B, Zhang DD, 2012. The controversies of using insects to assess forest ecosystem health. *Journal of Environmental Entomology*, 34(1): 88–94. [童博, 张丹丹. 利用昆虫评价森林生态系统健康研究中一些问题的探讨. 环境昆虫学报, 34(1): 88–94.]
- Tsuji K, Hasyim A, Harlion, Nakamura K, 2004. Asian weaver ants, *Oecophylla smaragdina*, and their repelling of pollinators. *Ecological Research*, 19(6): 669–673.
- Wang J, Ma YX, Cui DL, Wang RX, Lu YY, Qin J, 2011. An observation on pollinating insects and their flower-visiting behavior on *Fatsia japonica*. *Chinese Journal of Applied*, 48(3): 764–768. [王俊, 马玉心, 崔大练, 王日昕, 陆艳用, 2011. 八角金盘传粉昆虫及其访花行为, 2011. 应用昆虫学报, 48(3): 764–768.]
- Wang YP, Wu H, Xu HC, 2008. Biological and ecological bases of using insect as a bio-indicator to assess forest health. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 19(7): 1625–1630. [王义平, 吴鸿, 徐华潮, 2008. 以昆虫作为指示生物评估森林健康的生物学与生态学基础. 应用生态学报, 19(7): 1625–1630.]
- Williams NM, Kremen C, 2007. Resource distributions among habitats determine solitary bee offspring production in a mosaic landscape. *Ecological Applications*, 17(3): 910–921.
- Wu YR, 2000. *Fauna Sinica Insecta Insecta: (Vol.20), Hymenoptera, Melittidae Apidae*. Beijing: Science Press. 442. [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. 442.]
- Xue WQ, Zhao JM, 1996. *Flies of China*. Shenyang: Liaoning Science and Technology Publishing House. 118–223. [薛万琦, 赵建铭, 1996. 中国蝇类. 沈阳: 辽宁科学技术出版社. 118–223.]
- Yu XD, Luo TH, Zhou HZ, 2003. Species diversity of litter-layer beetes in the Fengtongzhai National Nature Reserve, Sichuan Province. *Acta Entomologica Sinica*, 46(5): 609–616. [于晓东, 罗天宏, 周红章, 2003. 四川蜂桶寨自然保护区地表甲虫物种多样性. 昆虫学报, 46(5): 609–616.]
- Zhang YY, Wu WQ, Ma WH, Shao YQ, 2012. The investigation of cherry pollinators Chinese. *Agricultural Science Bulletin*, 28(25): 272–276. [张云毅, 武文卿, 马卫华, 邵有全, 2012. 大樱桃传粉昆虫的调查研究. 中国农学通报, 28(25): 272–276.]
- Zhang CZ, Yao LZ, Li Q, Li ZY, Song JX, Ruan YZ, 2006. Insect community structure and its dynamics in Chinese prickly ash plantations at different altitudes in Yunnan Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 17(5): 915–919. [张祚祚, 姚利忠, 李强, 李正跃, 宋家雄, 阮应珍, 2006. 云南不同海拔花椒园昆虫群落结构及动态. 应用生态学报, 17(5): 915–919.]
- Zhang HY, Ou XH, 2006. Using insect for indicator to monitor and assess forest ecosystem health. *World Forestry Research*, 19(4): 22–25. [张红玉, 欧晓红, 2006. 以昆虫为指示物种检测和评价森林生态系统健康初探. 世界林业研究, 19(4): 22–25.]
- Zhang XF, Shao YQ, 2014. Species and diversity analysis of flower-visiting insects of Asian Sacred Lotus in Jiangxi, Hunan and Hubei Provinces. *Agricultural Science and Technology*, 15(2): 269–274. [张旭凤, 邵有全, 2014. 赣湘鄂三省荷花访花昆虫种类及群落多样性分析. 农业科学与技术(英文版), 15(2): 269–274.]
- Zhang YN, Wen QL, Gao HM, Zhang YB, Zhang J, Zhang YW, Yang F, Yang M, Long L, 2016. The function of city landscape architecture in the conservation of native pollinator *Apis cerana cerana* F. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(2): 357–364. [张亚男, 文庆利, 高红梅, 张燕斌, 张静, 张亚唯, 杨凤, 杨梅, 龙黎, 2013. 城市园林对本土传粉者中华蜜蜂的保护作用. 应用昆虫学报, 53(2): 357–364.]
- Zhao YZ, An JD, Zhou ZY, Dong J, Xing YH, Qin JJ, 2011. Pollination behavior of *Apis mellifera ligustica* and *Bombus hypocrita* (Hymenoptera, Apidae) and the influencing factors in peach greenhouse. *Acta Entomologica Sinica*, 54(1): 89–96. [赵亚周, 安建东, 周志勇, 董捷, 邢艳红, 秦建军, 2011. 意大利蜜蜂和小峰熊蜂在温室桃园的传粉行为及其影响因素. 昆虫学报, 54(1): 89–96.]