



# 不同时空情境下杭州市城市花境植物与访花昆虫间的相关性

俞诗音, 王雅男, 李泽勋, 江玲, 胡立辉

(浙江理工大学建筑工程学院, 杭州 310018)

**摘要:** 随着城市化进程的快速推进, 城市绿地生态系统在高密度环境中的保护功能、美化功能、文化游憩等服务价值研究具有重要意义。应用样方法对杭州市城市花境植物物种和访花昆虫物种进行现状调研, 计算其物种丰富度指数和多样性指数, 并通过不同时空情境下植物与访花昆虫的相关性分析解释花境植物组成对访花昆虫种类与数量的影响。调查结果显示: 在杭州城市花境中常用植物共计 132 种, 隶属 63 科 115 属; 访花昆虫以蝇类、蜂类、蝶类、蛾类和其他 5 大类为主。蜂类在各时段的访花频次高于其他访花昆虫类型; 低不透水面密度花境开花植物种数和访花昆虫多样性均高于中高不透水面密度花境; 秋季访花昆虫的访花频次高于春季和夏季访花昆虫。城市区域内不透水面密度是影响花境中植物物种结构和访花昆虫种类的重要因素。根据城市花境生境条件, 对营建访花昆虫友好型的城市花境植物配置提出可行性建议, 从而为城市生物多样性保护与利用提供科学依据。

**关键词:** 生物多样性; 时空分布; 城市花境; 植物景观; 访花昆虫

**中图分类号:** TU986

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-3851(2024)03-0229-09

**引文格式:** 俞诗音, 王雅男, 李泽勋, 等. 不同时空情境下杭州市城市花境植物与访花昆虫间的相关性[J]. 浙江理工大学学报(自然科学), 2024, 51(2): 229-237.

**Reference Format:** YU Shiyin, WANG Yanan, LI Zexun, et al. The correlation between urban flower border plants and flower-visiting insects of Hangzhou in different spatio-temporal scenarios[J]. Journal of Zhejiang Sci-Tech University, 2024, 51(2): 229-237.

## The correlation between urban flower border plants and flower-visiting insects of Hangzhou in different spatio-temporal scenarios

YU Shiyin, WANG Yanan, LI Zexun, JIANG Ling, HU Lihui

(School of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** With the rapid advancement of urbanization, it is of great significance to study the service value of urban green space ecosystem in high-density environment, such as protection function, beautification function and cultural recreation. The sample method was used to investigate the current status of plant species and flower-visiting insect species in urban flower borders in Hangzhou, and the species richness index and diversity index were calculated. The correlation between plants and flower-visiting insects in different spatio-temporal scenarios was analyzed to explain the influence of plant composition on the species and number of flower-visiting insects. The results show that there are 132 species of commonly used plants in Hangzhou's urban flower borders, and they belong to 63 families and 115 genera. Flower-visiting insects are mainly divided into the five categories of flies, bees, butterflies,

收稿日期: 2022-12-31 网络出版日期: 2023-10-08

基金项目: 浙江理工大学科研启动基金项目(21052290-Y); 浙江省土木工程一流学科(B)队伍建设及人才培养基金(11140031281901)

作者简介: 俞诗音(1999—), 女, 浙江舟山人, 硕士研究生, 主要从事植物景观规划方面的研究。

通信作者: 胡立辉, E-mail: hulihui@zstu.edu.cn

moths and others. The flower-visiting frequency of bees in each period is higher than that of other flower-visiting insects; the number of flowering plant species and the diversity of flower-visiting insects in flower borders with low impervious surface density are higher than those in medium and high impervious surface density flower borders. The frequency of flower-visiting insects in autumn is higher than that in spring and summer. The impervious surface density in urban areas is an important factor affecting the structure of plant species and the species of flower-visiting insects in flower borders. According to the habitat conditions of urban flower borders, feasible suggestions are put forward for the construction of flower-visiting insect-friendly urban flower border plant configuration, so as to provide a scientific basis for the protection and utilization of urban biodiversity.

**Key words:** biodiversity; spatio-temporal scale; urban flower border; plant landscape; flower-visiting insects

0 引 言

陆地上约 85% 的开花植物的繁殖依靠昆虫传粉<sup>[1]</sup>; 访花昆虫主要以植物的花粉、花蜜为食, 与开花植物形成了互惠互生的关系。随着城市化进程的加快, 城市绿地作为城市中具备自然特性和再生机制的实体空间, 具有维护城市生态系统生物多样性的作用<sup>[2]</sup>。城市绿地可以作为访花昆虫的重要食物来源地、避难所和栖息地<sup>[3]</sup>; 城市绿地的斑块面积和植物物种丰富度是影响蜂类、蝶类等访花昆虫多样性的主要因素<sup>[4]</sup>, 城市绿地中蜂蝶类昆虫物种多样性与植物多样性呈正相关<sup>[5]</sup>。相关研究除了探讨某单一物种与城市绿地之间的关系外, 还包括探讨绿地植物与访花昆虫多样性的综合性研究<sup>[6]</sup>, 如不同季节昆虫群落特征<sup>[7-8]</sup>, 不同植物群落组成对蜂类物种丰富度的影响差异性<sup>[9-10]</sup>, 以及不同景观类型对蜂类觅食模式的影响机制<sup>[11]</sup>等。对不同透水面密度下绿地植物群落的调查发现, 不同情境下城市绿地植物群落的物种多样性差异明显<sup>[12-15]</sup>, 这种差异性对访花昆虫的影响显著<sup>[16]</sup>。因此, 城市绿地空间异质性影响着访花昆虫的多样性。

花境作为城市绿地造景的重要手法之一, 以宿根花卉、观赏草和花灌木为材料表现其形态、色彩、高度、质地和季相变化之美的园林植物应用形式, 在城市绿化美化、生境创造和生境再生等方面起到关键作用<sup>[17]</sup>。本文以杭州城市花境为例, 从物种组成、空间、时间等多个角度对城市花境植物与访花昆虫的相关性进行分析, 参照当地的生境条件和开花物候, 合理配置植物, 对于植物群落稳定性和访花昆虫多样性均具有积极作用, 可维护城市的生态平衡, 改善城市人居环境。

1 研究方法

1.1 研究区域

杭州市是 19 个国家生态园林城市之一, 十分重视城市园林绿化建设和生态型植物景观营造。同时, 作为国内最早引入花境的城市之一, 杭州市对于花境的应用和推广处于国内领先地位<sup>[18]</sup>。本文通过在杭州市西湖区、上城区和钱塘区 3 个主城区研究区域内的实地调查, 选择其中 9 处样地内的 38 个样方, 每个样方选取面积 5 m<sup>2</sup> 左右的典型花境作为研究对象。

1.2 遥感解译

研究以 2021 年 9 月 27 日 Landsat 8 OLI\_TIRS 卫星遥感影像为基础数据, 2021 年 Google 卫星影像为辅助数据, 按照 30 m 的空间分辨率将获得的原始影像数据导入 Arc GIS 10.8 软件, 对研究区域内土地覆盖情况进行解译处理和分析。在此基础上合并耕地、林地、草地等相似土地利用分类, 将研究区域划分为绿地、水体、不透水面和裸地; 对城市不透水面面积比例进行核密度分析, 将其分为低密度、较低密度、中密度、较高密度、高密度 5 个等级。根据城市花境所处位置, 将其分为高不透水密度花境、中不透水密度花境和低不透水密度花境 3 类调查样地, 样地的空间分布如图 1 所示。

1.3 实地调查

花境植物调查: 在 2021 年 10 月至 2022 年 5 月的秋、春、夏三季, 对样地中花境植物进行样方调查, 设置 5 m×5 m 样方, 记录其中植物的物种、物种数量、物种面积等信息。

访花昆虫调查: 在 2021 年 10 月至 2022 年 5 月的秋、春、夏三季, 选择晴朗且风速较小的天气, 于每天 9:00—19:00 进行观测, 每个样方调查期为 2 d。每个样方观察时间为 5 min, 每隔 2 h 重复观察 1 次, 记录访花昆虫的类型、访花频次、被访问植物等信息。

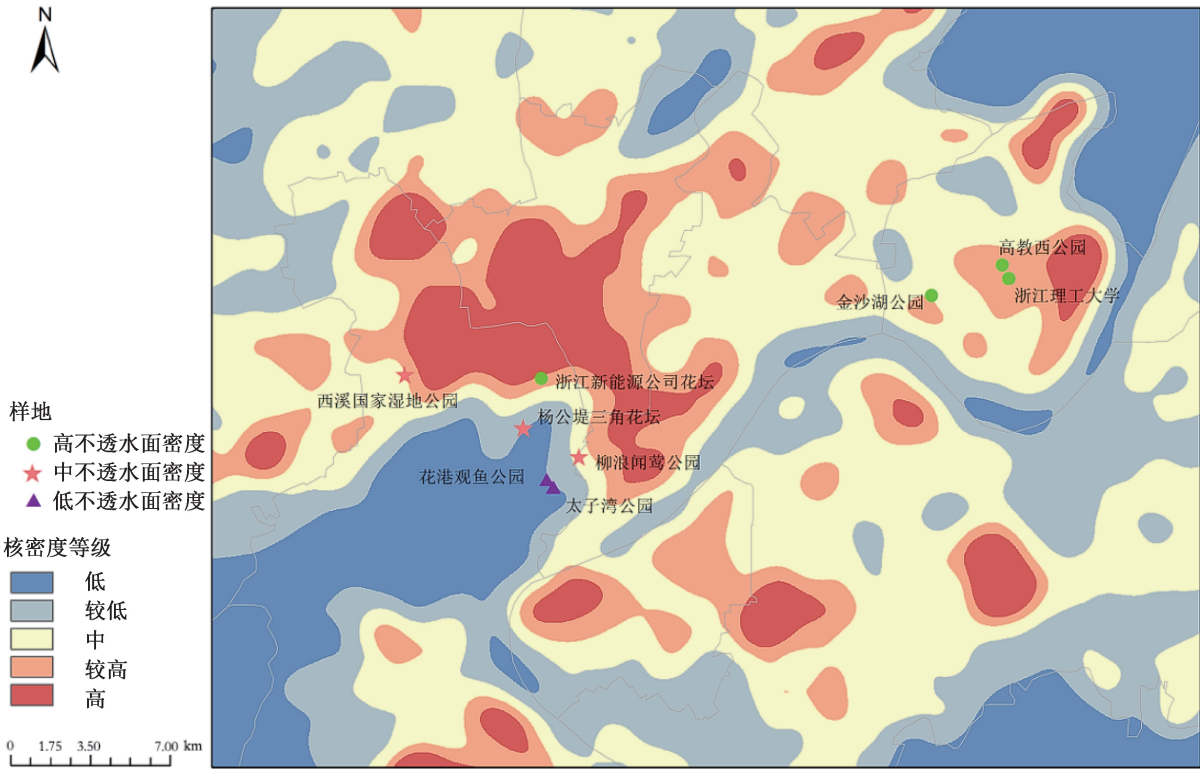


图 1 研究区域不透水面密度与调查样地的空间分布

1.4 统计分析

使用 Microsoft Excel 对数据进行整理,并计算样方物种 Margalef 丰富度指数(以下简称丰富度指数)和 Shannon-Wiener 多样性指数(以下简称“多样性指数”)[2]。

Margalef 丰富度指数  $d$ ,可用式(1)计算:

$$d = (s - 1) / \ln N \tag{1}$$

其中: $S$  为花境中植物物种总数; $N$  为花境植物物种数目。

Shannon-Wiener 多样性指数  $H$ ,可用式(2)计算:

$$H = -P_i \ln P_i \tag{2}$$

其中: $P_i$  为第  $i$  种物种所占的比例。

运用 SPSS 26 软件进行植物与访花昆虫的相关性分析,利用冗余分析 (Redundancy analysis, RDA)方法分析样方花境不透水面积密度对植物与访花昆虫的影响。在 Origin 2022 软件中运用线性回归分析方法将重要植物因子与访花昆虫相关指数进行拟合。

2 结果与分析

2.1 杭州城市花境植物与访花昆虫物种组成调查

统计杭州城市花境植物调查与访花昆虫调查数

据,将花境植物物种进行科属种分类,将访花昆虫进行大类划分,并分析两者之间的相关性,得到杭州城市花境植物的物种组成与构成特点,以及访花昆虫的组成与行为特点。

2.1.1 花境植物物种组成及其特点

本文共调查记录了杭州城市花境植物 63 科 115 属 132 种,可分为草本、灌木、蕨类三大类。a)草本 91 种,占有花境植物物种的 68.94%,隶属 40 科、80 属,其中:菊科植物数量最多,占有花境植物物种的 20.84%;其次为唇形科,占 9.89%;第三位为石竹科和百合科,均占 5.43%。b)灌木物种数量少于草本,有 39 种,隶属 26 科,34 属,占 29.55%,其中:柏科植物数量最多,占 10.16%;其次为山茶科和蔷薇科,均占 7.69%;其他优势科还包括唇形科、豆科、锦葵科、木犀科、卫矛科。c)蕨类植物物种数量最少,仅为 2 种,占 1.52%。

从本次调查植物的科属种分布情况可以看出: a)菊科和唇形科植物应用最多,分别占有花境植物科数的 15.16%、8.33%;其次为石竹科和百合科,均占 3.78%。b)鼠尾草属植物数量最多,有 6 种,占有花境植物属数的 4.55%;其次是石竹属,有 5 种,占 3.79%。c)植物应用优势种中绣球 (*Hydrangea macrophylla*)应用数量最多,占有



花境植物个体总数的 4.04%；其次为黄金菊(*Euryops pectinatus*)和山桃草(*Gaura lindheimeri*)，两者占均为 2.53%；还包括马缨丹(*Lantana camara*)、三色堇(*Viola tricolor*)、银叶菊(*Jacobaea maritima*)、天竺葵(*Pelargonium hortorum*)、五星花(*Pentas lanceolata*)、红花矾根(*Heuchera sanguinea*)等植物物种。

2.1.2 花境访花昆虫组成及其特点

本文将访花昆虫分为蝇类、蜂类、蝶类、蛾类和其他<sup>①</sup>共 5 类。通过昆虫访花行为调查发现，蜂类的访花频次最高，蝇类的访花频次次之，蝶类访花频次位列第三，蛾类和其他访花频次最少。在昆虫访花频次较高的优势种植物中，蝇类常访问的花境植物有蓝霸鼠尾草(*Salvia 'Mystic Spires Blue'*)、白晶菊(*Mauranthemum paludosum*)、黄金菊等；蜂类常访问的花境植物有阔叶半枝莲(*Portulaca oleracea* var. *granatus*)、细叶萼距花(*Cuphea hyssopifolia*)、多叶羽扇豆(*Lupinus polyphyllus*)等；蝶类常访问的花境植物有黄金菊、蓝花草(*Ruellia simplex*)、马缨丹等；蛾类常访问的花境植物有蓝霸鼠尾草、黄金菊、柳叶白菟(*Aster ericoides*)等。

不同的花境植物的访问者和访问频次有所差

异。对比分析 9 种优势种植物物种的单位面积访花频次发现：蓝霸鼠尾草、穗花婆婆纳(*Pseudolysimachion spicatum*)和细叶萼距花的访花频次明显高于其他 6 种植物。它们的花色均为鲜艳的蓝紫色，对访花昆虫具有较强的吸引力，其中：蓝霸鼠尾草、穗花婆婆纳对 4 类访花昆虫均具有较强的访问吸引力。此外，五星花也能吸引 4 类访花昆虫，而其余植物仅能吸引 2~3 类访花昆虫。

2.2 花境植物物种组成指标与访花昆虫行为指标相关性

对 38 个样方中花境植物物种数、草本植物种数、开花植物种数、开花植物面积、开花植物覆盖度和开花乡土植物面积等 6 个植物物种组成指标与访花昆虫多样性、访花频次、单位面积访花频次等 3 个访花行为指标进行双变量回归分析，进一步分析花境植物对访花昆虫与访花行为的影响。花境植物组成指标与访花昆虫行为指标的 Pearson 相关系数见表 1。从表 1 可以看出：访花昆虫多样性与开花植物覆盖度存在显著相关性；单位面积访花频次与开花植物的面积存在显著相关性；而物种数、草本植物种数、开花植物种数和开花乡土植物面积与访花昆虫行为指标的相关性不显著。

表 1 花境植物物种组成指标与访花昆虫行为指标的 Pearson 相关系数

访花昆虫行为指标	Pearson 相关系数					
	物种数	草本植物种数	开花植物种数	开花植物面积	开花植物覆盖度	开花乡土植物面积
访花昆虫多样性	−0.015	0.170	0.166	0.055	0.473**	0.116
访花昆虫访花频次	0.080	0.149	0.136	−0.098	0.257	0.250
单位面积访花频次	−0.031	−0.011	−0.040	−0.361*	−0.041	0.061

注：\*  $P<0.05$ ，\*\*  $P<0.01$ 。

通过 Origin 2022 软件对 38 个样方进行线性回归分析，结果如图 2 所示。从图 2 中可以看出，部分植物组成指标与访花昆虫访花行为指标表现出较强的相关性，表明花境植物组成影响访花昆虫访花种类和频次，但不同指标之间存在一定的差异性。访花昆虫的访问频次、多样性与开花植物的覆盖度、面积呈显著正相关，开花植物占据的面积越大，越有利于吸引访花者，访花昆虫的多样性越高。通过研究不同的花境植物物种对访花昆虫物种组成与访花行为的相关性，可有效指导昆虫友好型城市花境的植物物种选择。

2.3 不同空间中杭州城市花境植物与访花昆虫相关性分析

以不透水面密度变化为变量，讨论不同空间情景下花境植物物种组成、植物多样性、开花植物物种

数及多样性对昆虫访花行为的影响，特别是环境因素指标与昆虫访花行为的关联性。

2.3.1 不同不透水面密度花境植物组成及其特点

不同不透水面密度花境植物组成情况见表 2。由表 2 可知，各不透水面密度下花境的科数、属数、种数存在一定差异。3 类不透水面密度花境中，低不透水面密度花境草本丰富度指数最高，开花丰富度指数较高，开花植物物种数占花境植物总物种数的 74.6%，其中绣球的应用频次最高，总计 5 次；中不透水面密度花境草本植物物种数最多，开花丰富度指数最高，但与低不透水面密度花境接近，开花植物物种数占花境植物总物种数的 77.3%，其中绣球

① “其他”表示蝇类、蜂类、蝶类、蛾类之外较少出现的昆虫种类，包括黄蜀马、七星瓢虫、大草蛉等物种。

的应用频次最高,总计 9 次;高不透水面密度花境植物物种数最少,草本丰富度指数、开花丰富度指数均为最低,其开花植物物种数占花境植物总物种数的 55.8%,其中三色堇应用频次最高,总计 5 次。

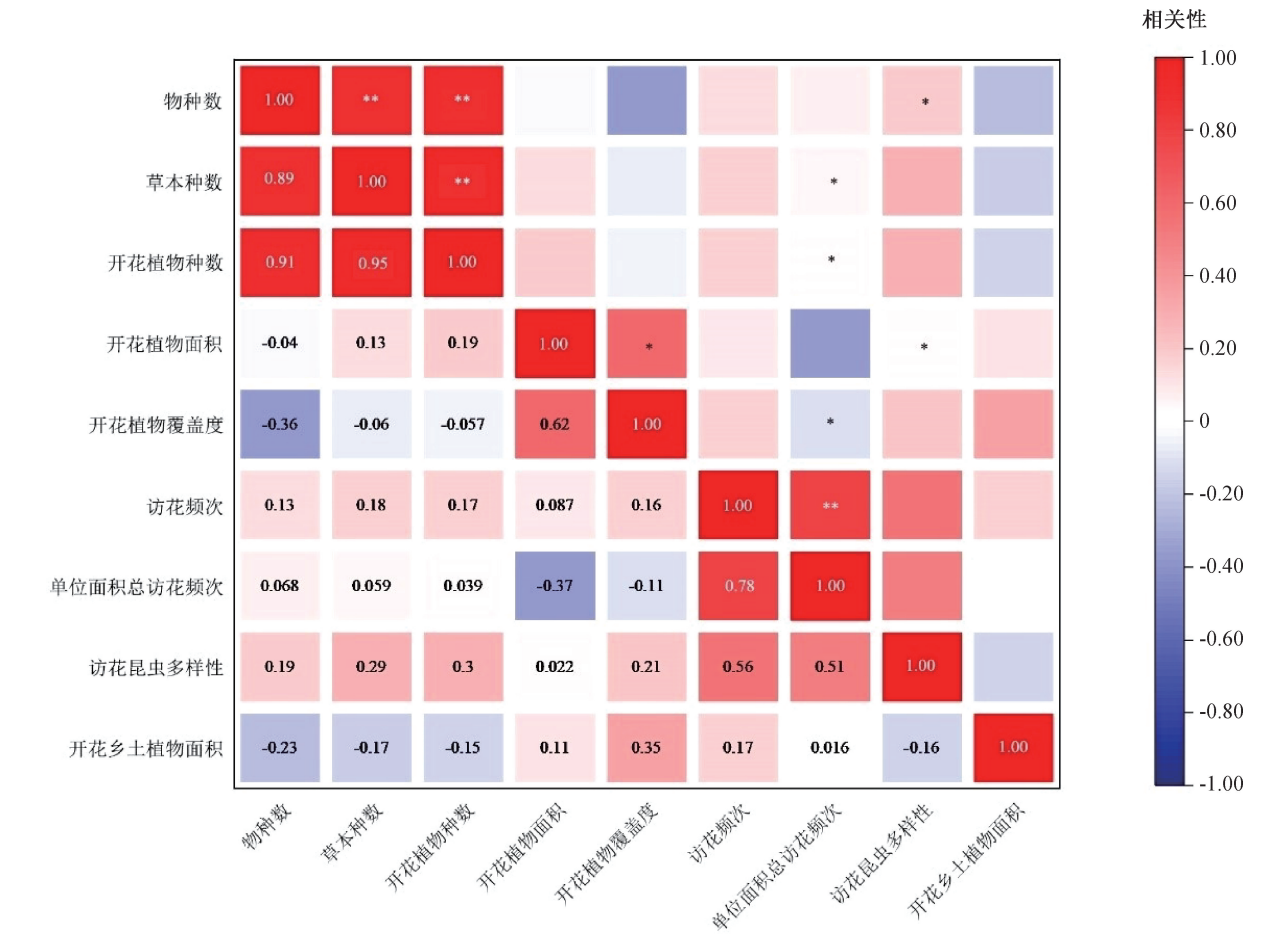


图 2 花境植物组成指标与访花昆虫行为指标的相关性

注:颜色表示植物特性与访花昆虫的亲疏关系,数值代表两者相关性。\* 表示显著性, \*  $P<0.05$ , \*\*  $P<0.01$ 。

表 2 不同不透水面密度情境下花境植物的物种组成与多样性指数

花境分类	科数/个	属数/个	种数/个	草本物种数/个	草本丰富度指数	草本多样性指数	开花植物物种数/个	开花植物丰富度指数	开花植物多样性指数
高不透水面密度	39	50	52	26	6.78	3.09	29	6.23	3.23
中不透水面密度	45	67	75	54	10.76	3.93	53	9.97	3.87
低不透水面密度	44	65	71	55	12.00	4.77	58	11.95	4.55

2.3.2 不同不透水面密度花境植物多样性分析

各不透水面密度类型的花境植物群落的差异可由物种多样性指数来反映,该指标能较好地衡量群落结构的复杂性,不同不透水面密度花境植物的多样性指数如图 3 所示。由图 3 可以看出:中不透水面密度花境的植物物种数最多,低不透水面密度次之,高不透水面密度最少;中、低不透水面密度花境物种的多样性指数相差不大,均高于高不透水面密度。草本多样性指数和开花植物的多样性指数大小顺序均为低不透水面密度花境、中不透水面密度花境、高不透水面密度花境。综上表明,低不透水面密

度花境植物应用丰富,组成复杂;而中、高不透水面密度花境植物虽然植物种数较多,但其组成较为简单。

2.3.3 不同不透水面密度花境访花昆虫组成及其特点

不同不透水面密度花境中不同类别访花昆虫占比具有明显差异,蛾类和其他类访花昆虫在所有不透水面密度的花境中均占比最少。其中高不透水面密度花境中蜂类访花昆虫占比最多,且显著高于其他类访花昆虫,蝶类次之,蝇类占据第三。中不透水面密度花境中蝇类和蜂类占比相近,分别位列第一

和第二,蝶类第三。低不透水面密度花境与前两种大不相同,其蝶类占比最多,其次是蝇类,蜂类访花昆虫占比位列第三,且蛾类访花昆虫访花次数明显高于高不透水面密度和中不透水面密度花境。从各

类访花昆虫访花频次来看,蝇类访花昆虫偏好中不透水面密度花境,蜂类访花昆虫偏好高不透水面密度花境和中不透水面密度花境,蝶类和蛾类在低不透水面密度花境出现较高的访花频次。

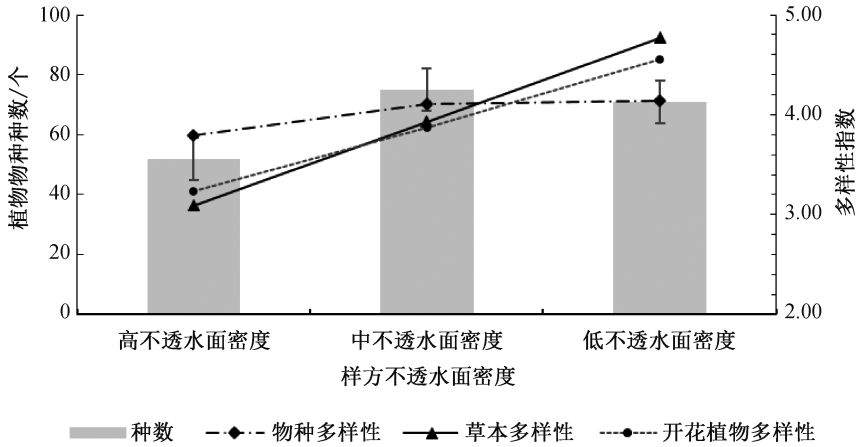


图 3 不同不透水面密度花境植物多样性指数

2.3.4 不同不透水面密度花境中开花植物物种数对访花昆虫访花频次的影响

不同不透水面密度花境中开花植物物种数与访花昆虫访花频次的关系如图 4 所示。由图 4 可知:低不透水面密度花境开花植物物种数最多,其访花昆虫访花频次也最高;中不透水面密度花境开花植物物种数量次之,其访花昆虫访花频次也较高;高不

透水面密度花境开花植物物种最少,其访花昆虫访花频次最少,且与中不透水面密度和低不透水面密度花境有明显的差异。中不透水面密度花境和低不透水面密度花境生境环境优良,植物群落结构稳定,干扰适度,为访花昆虫提供了丰富的栖息地和充足的水源,访花频次高。

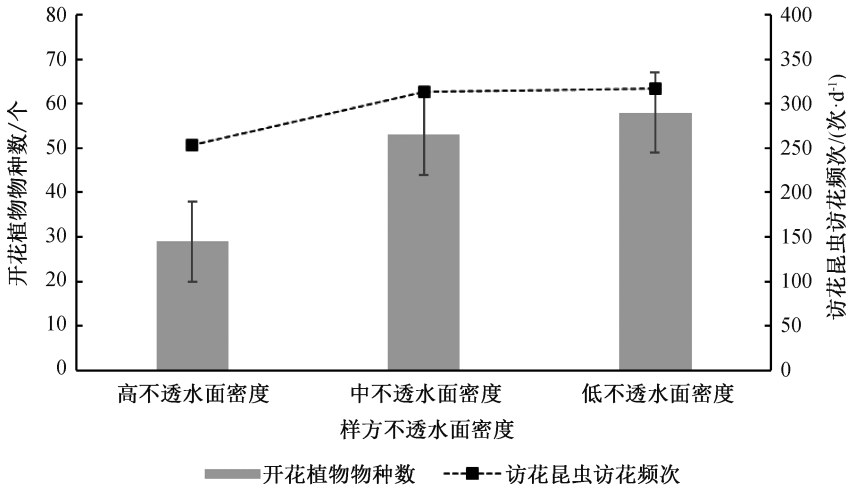


图 4 不同不透水面密度花境开花植物物种数与访花昆虫访花频次对比

2.3.5 不同不透水面密度花境中植物多样性对访花昆虫行为的影响

空间情景变化是影响访花昆虫的主要因素,随着研究花境样地所在区域不透水面的增加,生物栖息地逐渐破碎化,对城市中昆虫等生物产生较大影响。访花昆虫结构指标与解释变量的 RDA 图如图 5 所示,结果显示不透水面比例与花境植物与访花昆虫相关指标呈现负相关。随着城市不透水面积的

不断增大,花境植物物种数、草本种数、开花植物种数、访花昆虫的种类和访花频次逐渐减少,城市不透水面积对访花频次影响最大。

2.4 不同时间内杭州城市花境植物与访花昆虫相关性分析

无论是花境植物还是访花昆虫,均遵循各自的生命节律活动。通过不同季节、不同时段的调查,可了解不同时间内花境植物与访花昆虫的相关性。

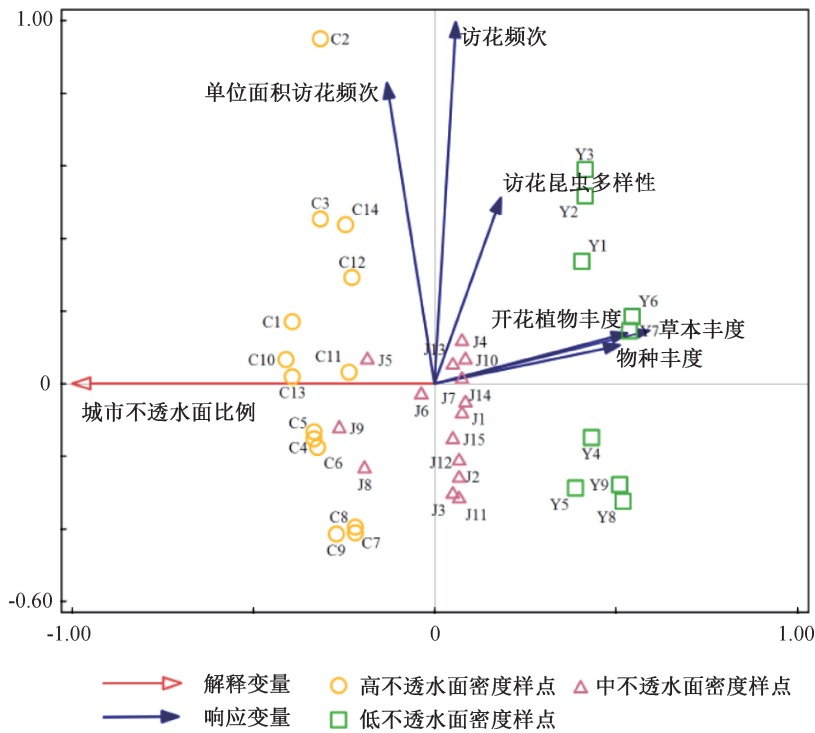


图 5 访花昆虫结构指标与解释变量的 RDA 图

注:解释变量与相应变量之间的余弦值表示相互之间的相关性。余弦值为正,表示正相关,相反则呈负相关。  
箭头的方向表示该环境因子的变化趋势,箭头的长短表示该因子对植物数据的解释量的大小。

2.4.1 不同季节花境植物对访花昆虫行为的影响  
春、夏、秋三个季节中的花境植物和访花昆虫对比分析如图 6 和图 7 所示。根据图 6 可知,夏季花境物种数、草本植物多样性指数和开花植物多样性

最高,访花昆虫多样性最高。根据图 7 可知,秋季花境草本和开花植物物种数量及多样性低,但其昆虫访花频次高,这可能与秋季自然生境开花植物减少有关。

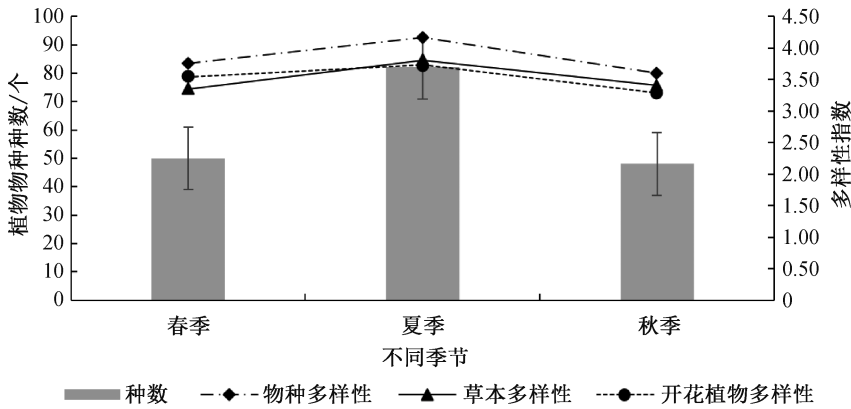


图 6 不同季节花境植物物种数与多样性指标

此外,蝇类为春季花境的最高访问频次昆虫,蜂类在夏季、秋季花境中占优势。对不同季节同一样地 4 个样方的访花昆虫种类对比分析发现,植物物种种类对花境中访花昆虫的组成影响大于气候因子。  
2.4.2 不同时间段花境植物对访花昆虫行为的影响  
不同种类访花昆虫的日活动变化如图 8 所示,

各时段不同访花昆虫的访花频次大小顺序为蜂类、蝇类、蝶类、蛾类、其他。图 8 表明:蝇类、蝶类和蛾类访花昆虫在 9:00—19:00 时间段活动呈现双峰型:11:00—13:00 出现第一个高峰,在 15:00—17:00 出现第二个高峰。13:00—15:00 是全天中温度最高的时间段,昆虫活动减少,访花频次略有下降。此外花境中不同植物产生花粉和花蜜的时间有所差异,也会影响访花昆虫对其访问的时间。



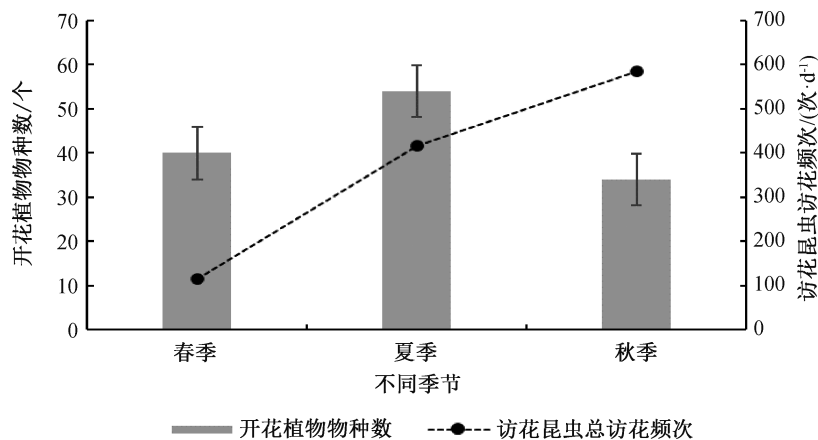


图 7 不同季节开花植物物种数与访花昆虫访花频次

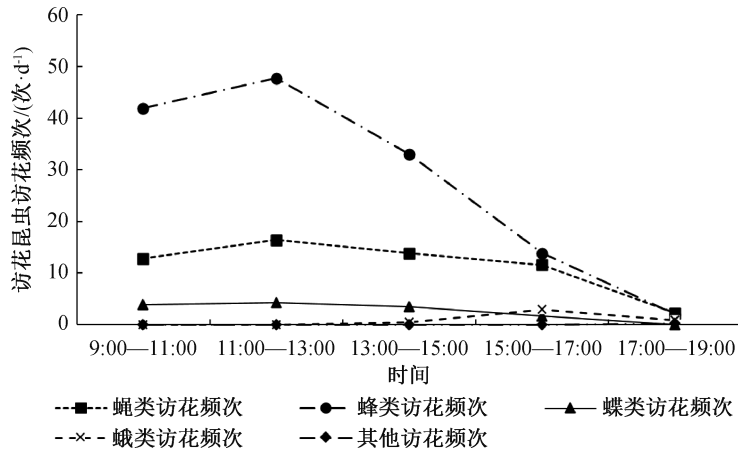


图 8 各时段不同访花昆虫的访花频次

3 结 语

本文基于杭州城市花境植物组成和访花昆虫情况的调查,通过对比不同时空情境来解释花境植物组成对访花昆虫种类与数量的影响,对营建访花昆虫友好型的城市花境植物配置提出可行性措施,并为城市生物多样性的营造提供了科学依据。

研究发现,访花昆虫多样性与开花植物覆盖度,以及单位面积访花频次与开花植物的面积存在显著性相关性;而物种数、草本植物种数、开花植物种数等和开花乡土植物面积对访花昆虫种类的影响较小。在空间上,低不透水面密度区域花境的访花昆虫访花频次与访花昆虫多样性最高,表明城市区域内不透水面密度是影响花境中植物物种结构和访花昆虫的重要因素。在时间上,首先,对三个季节中花境植物和访花昆虫的对比分析发现,夏季花境物种数、草本植物多样性和开花植物多样性最高,访花昆虫多样性最高,这均与动植物物候周期相关;其次,对同一样地不同季节的调查结果发现,植物物种组成差异对访花昆虫组成和访花频次影响程度大于季

节因素;最后,对一日内不同时间段的昆虫访花频次的比较分析发现,不同访花昆虫的访花频次大小依次为蜂类、蝇类、蝶类、蛾类、其他。

基于上述在不同空间和时间情境下杭州城市花境植物与访花昆虫的相关性研究,为提高昆虫友好型花境植物景观的营建与城市绿地生态系统效益,提出以下 3 方面的建议:

- a)提高植物物种多样性。开花植物覆盖度、开花植物面积会影响访花昆虫的多样性与访花频次,在花境植物配置时应注意提高植物多样性指数与丰富度指数,通过增加植物种类来增加每个时期的开花植物数量与面积,特别是增加能提供蜜源的植物物种,从而营造既能为访花昆虫提供食物资源又具有较高观赏性的花境植物景观。
- b)科学配置灌草本植物。综合访花昆虫对不同植物物种的选择偏好与不同时空情景的动态变化,增加路缘花境及林缘花境的运用;同时合理配置乡土植物和外来植物,从而营建对本土访花昆虫友好的花境植物景观。
- c)构建生态网络空间。在绿地建设空间有限的



情况下,提高现有绿地生态系统的服务价值,增加城市绿地的附加功能,是未来高密度城市应对全球气候变化的必然选择。根据不同昆虫的生活习性差异,构建屋顶花园、垂直绿化、海绵湿地等多种立体生态网络,增加昆虫潜在生境,从而提高城市绿地景观效能和生物多样性。

参考文献:

[1] Ollerton J, Winfree R, Tarrant S. How many flowering plants are pollinated by animals? [J]. *Oikos*, 2011, 120 (3): 321-326.

[2] 韩艺茹,薛琪琪,宋厚娟,等. 燕山地区访花昆虫多样性及其影响因子[J]. *生物多样性*,2022,30(3):48-59.

[3] Baldock K C R, Goddard M A, Hicks D M, et al. Where is the UK’s pollinator biodiversity? The importance of urban areas for flower-visiting insects[J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2015, 282(1803): 20142849.

[4] Matteson K C, Langellotto G A. Determinates of inner city butterfly and bee species richness [J]. *Urban Ecosystems*, 2010, 13(3): 333-347.

[5] Pardee G L, Philpott S M. Native plants are the bee’s knees: local and landscape predictors of bee richness and abundance in backyard gardens[J]. *Urban Ecosystems*, 2014, 17(3): 641-659.

[6] 施雨含,任宗昕,赵延会,等. 气候变化对植物-传粉昆虫的分布区和物候及其互作关系的影响[J]. *生物多样性*, 2021,29(4):495-506.

[7] 王章训,高磊,仲启铖. 上海市临港新城地区不同季节昆虫多样性[J]. *江苏农业科学*,2020,48(7):111-117.

[8] Martins A E, Camargo M G G, Morellato L P C. Flowering phenology and the influence of seasonality in flower conspicuousness for bees[J]. *Frontiers in Plant*

*Science*, 2021 ,11: 594538.

[9] Ahrné K, Bengtsson J, Elmqvist T. Bumble bees (bombus spp) along a gradient of increasing urbanization [J]. *PLoS One*, 2009, 4(5): e5574.

[10] Aleixo K P, de Faria L B, Groppo M, et al. Spatiotemporal distribution of floral resources in a Brazilian city: Implications for the maintenance of pollinators, especially bees [J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2014, 13(4): 689-696.

[11] Kaluza B F, Wallace H, Heard T A , et al. Urban gardens promote bee foraging over natural habitats and plantations[J]. *Ecology and Evolution*, 2016, 6(5): 1304-1316.

[12] 李祖政,尤海梅,王梓懿. 徐州城市景观格局对绿地植物多样性的多尺度影响[J]. *应用生态学报*,2018,29 (6):1813-1821.

[13] Nakamura S, Kudo G. The influence of garden flowers on pollinator visits to forest flowers: comparison of bumblebee habitat use between urban and natural areas [J]. *Urban Ecosystems*, 2019, 22(6): 1097-1112.

[14] Neumüller U, Burger H, Krausch S, et al. Interactions of local habitat type, landscape composition and flower availability moderate wild bee communities[J]. *Landscape Ecology*, 2020, 35(10): 2209-2224.

[15] 尹丽文,包志毅,杨凡,等. 江洋畈生态公园不同植物群落对蝶类多样性影响[J]. *中国城市林业*,2020,18(5): 13-16.

[16] 谢正华,徐环李,杨璞. 传粉昆虫物种多样性监测、评估和保护概述[J]. *应用昆虫学报*,2011,48(3):746-752.

[17] 王嘉楠,储显,刘慧,等. 城市花境景观特征及其公众评价[J]. *中国园林*,2020,36(3):126-129.

[18] 章红,陈丽庆,龚稷萍,等. 杭州西湖风景区花境主要配置模式和应用探讨[J]. *浙江林业科技*,2007,27(1): 61-65.

(责任编辑:康 锋)