

# 以捕食性瓢虫为招引目标的城市绿地植物群落构建

任斌斌,王建红\*,李广,车少臣,邵金丽,刘倩

(北京市园林科学研究院,园林绿地生态功能评价与调控技术北京市重点实验室,北京 100102)

**摘要:**捕食性瓢虫是城市绿地刺吸类害虫的优势天敌,对其进行科学招引,可有效控制刺吸害虫发生,降低农药使用量,并促进生态系统平衡。以北京城市绿地捕食性瓢虫为对象,在系统研究其发生规律和捕食特点的基础上,提出绿地植物群落构建方法和模式。结果表明:1)调查共发现捕食性瓢虫 15 种,隶属 11 属,异色瓢虫等 4 种瓢虫为优势种,具有较高的优势度和生态位宽度;2)优势瓢虫的数量在 5 月下旬至 7 月上旬达到高峰;3)蒙椴等 10 种植物被筛选为捕食性瓢虫的补充营养蜜粉源植物;4)蒙椴等 15 种植物被确定为诱集捕食性瓢虫的可利用植物;5)以植物景观规划、核心区域选定、目标设定、蜜粉源植物选择和群落构建为基本步骤,提出以捕食性瓢虫为招引目标的植物群落构建方法和 3 种植物群落构建模式。

**关键词:**园林植物;捕食性瓢虫;植物群落构建;招引;北京

**中图分类号:**S769      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2020)05-0144-07

Construction of Plant Communities Attracting Predatory Ladybugs in Urban Open Space

REN Bin-bin, WANG Jian-hong\*, LI Guang, CHE Shao-chen, SHAO Jin-li, LIU Qian

(Beijing Institute of Landscape Architecture, Beijing Key Laboratory of Ecological Function Assessment and Regulation Technology of Green Space, Beijing 100102, China)

**Abstract:** Predatory ladybugs are the dominant natural enemy of sucking pests in urban open spaces. Scientific attraction can effectively control the occurrence of sucking pests, reduce the use of pesticide, and promote the balance of ecosystem. Taking the predatory ladybugs occurring in the open spaces in Beijing as the research objects, the annual development regularities and feeding characteristics were investigated. The method and modes of plant community construction in urban open spaces were put forward. 1) The results showed that 15 species of ladybugs belonging to 11 genera were found. 2) Four species including *Harmonia axyridis*, were recognized as the dominant species with the higher Mcnaughton dominance and Smith niche breadth index. The number of dominant ladybugs peaked from late May to early July. 3) Ten species of plants, including *Tilia mongolica*, were selected as the insectary plants for predatory ladybugs. 4) Fifteen species of plants, such as *T. mongolica*, were identified as available plants for attracting predatory ladybugs. 5) Based on the basic steps of plantscape planning, core area selection, target setting, insectary plant selection and plant community construction, 1 method and 3 models of plant community construction with predatory ladybugs as the target were proposed.

**Key words:** landscape plant; predatory ladybug; construction of plant community; attract; Beijing

瓢虫为鞘翅目瓢虫科(Coccinellidae)昆虫,根据食性不同,可分为植食性、食菌性和捕食性 3 类<sup>[1]</sup>。

捕食性瓢虫因其食性广、食量大并在城市绿地中具有较高的种群数量,成为城市绿地控制刺吸类害虫

收稿日期:2019-10-30 修回日期:2020-01-03

基金项目:国家自然基金(31800605);北京市科技计划课题(D171100001817001);北京市公园管理中心科技新星项目(ylkjxx201810)。

作者简介:任斌斌,教授级高工。研究方向:园林生态与城市绿地生物多样性保育。E-mail:renbinbin2014@126.com

\* 通信作者:王建红,教授级高工。研究方向:保育式生物防治。E-mail:jhwang222@sohu.com

的优势天敌,对于蚜虫、蚧壳虫、木虱、粉虱等均具有较强的控制效果<sup>[2-5]</sup>。研究结果表明,猎物、蜜粉源植物、栖息环境等对捕食性瓢虫发生规律产生重要影响<sup>[6-8]</sup>。蚜虫作为捕食性瓢虫的主要猎物之一,两者间的关系早在几百年前就已报道<sup>[9-10]</sup>,其种群密度是决定捕食性瓢虫是否停留该场所的关键因素<sup>[6]</sup>。蜜粉源植物是指有目的地引入生态系统中并能够为有害生物天敌提供花粉、花蜜等食物资源的植物,其花部结构、花蜜成分、花外蜜成分、花粉成分、色彩以及挥发性气味等均影响捕食性瓢虫的取食行为<sup>[11-15]</sup>。石缝、建筑墙缝、灌木丛、草丛、树皮裂缝等隐蔽场所常为捕食性瓢虫提供繁殖、越冬或夏眠等栖息场所<sup>[10]</sup>,适宜的微气候环境有利于捕食性瓢虫种群的增长。因此,为了更好地发挥捕食性瓢虫对害虫的生物防治效果,基于发生规律及其影响要素进而施用安全有效的招引措施至关重要,主要包括提供人工食物、提供蜜粉源植物、提供栖息场所等方面<sup>[15]</sup>。目前,对于捕食性瓢虫发生规律、影响要素以及招引措施等的研究与应用国外已相对成熟,但多集中于果园和农田系统,而城市绿地的招引对象多集中于蝶类、蜻蜓类等具有观赏价值的昆虫类群<sup>[16]</sup>,以生物防治为目标的捕食性瓢虫招引较少;国内相关研究尚处于起步阶段,见于农田系统<sup>[8,10]</sup>,城市绿地系统未见报道。本研究以城市绿地捕食性瓢虫为对象,在研究其发生规律和捕食特点的基础上,提出以捕食性瓢虫为招引目标的城市绿地植物群落构建方法和模式,以期科学保护和利用园林绿地中的瓢虫资源,启动绿地生态系统自我调控机制,在有效控制绿地刺吸类害虫发生和降低农药使用量的同时,增加城市绿地生物多样性,促进生态系统平衡。

## 1 材料与方法

### 1.1 样地概况

北京为典型北温带半湿润大陆性季风气候,夏季高温多雨,冬季寒冷干燥,春、秋短促,全年各月份气候变化显著,包括空气温度、相对湿度、光照条件、降雨量等具有显著差异。

选择北京市北坞村路西侧带状绿地作为捕食性瓢虫发生规律的调查样地,样地内乔木层以油松(*Pinus tabuliformis*)、白皮松(*P. bungeana*)、元宝枫(*Acer truncatum*)和柰树(*Koelreuteria paniculata*)为优势种,灌木层种类较少,以碧桃(*Prunus persica*)为优势种,地被层为北京常见野生杂草。该绿地采用粗放管理方式,无化学农药干扰、无明显捕食性瓢虫的补充营养蜜粉源植物。

选择园林植物丰富的北京植物园、北京药用植物园等 11 个绿地作为蜜粉源植物调查样地,各植物材料及其周边均无刺吸类害虫爆发。

### 1.2 调查方法

捕食性瓢虫调查于 4 月初至 11 月初进行,选取样地内存在数量较多的油松、白皮松、元宝枫、柰树和碧桃等 5 种北京常见园林植物作为调查植物。每种植物各随机抽取 3 株,于每株树冠中部树条下方东、南、西、北 4 个方向分别悬挂两面着胶黄板,规格为 40 cm×25 cm。每 14 d 调查 1 次黄板上的捕食性瓢虫种类和数量,调查后更换黄板。

蜜粉源植物调查于 3—11 月,每 7 d 记录 1 次处于花期时的植物上的捕食性瓢虫数量。其中,草本植物共计 61 种,采用网捕法进行瓢虫调查;木本植物共计 37 种,采用黄板诱捕法进行瓢虫调查。

### 1.3 数据分析方法

1)采用 Mcnaughton 指数进行瓢虫优势度指数计算和分类<sup>[17]</sup>,Mcnaughton 指数计算公式如下:

$$Y = \frac{n_i}{N} \times f_i \quad (1)$$

式中,  $n_i$  为第  $i$  种捕食性瓢虫的数量,  $N$  为所有捕食性瓢虫的数量,  $f_i$  为第  $i$  种捕食性瓢虫出现频率。

当  $Y > 0.01$  时,将该种瓢虫划分为种群优势种;当  $0.001 < Y < 0.01$ ,为种群常见种;  $Y < 0.001$  时,为种群偶见种。

2)生态位宽度值的大小通常可以揭示物种资源利用和环境适应能力的强弱,当物种的生态位较大时,就表明其资源利用能力较强,生态适应性较高、分布幅度较广<sup>[18-19]</sup>。以各月份气候条件变化作为环境变量,采用 Smith 指数<sup>[20]</sup>进行瓢虫生态位宽度计算,具体公式如下:

$$FT = \sum_{j=1}^r (P_{ij}, Q_{ij}) = \sum_{j=1}^r \sqrt{P_{ij} \times Q_{ij}} \quad (2)$$

式中,  $P_{ij}$  为第  $i$  种捕食性瓢虫在第  $j$  种植物上的数量占该瓢虫所有数量的比例,  $Q_{ij}$  为第  $i$  种捕食性瓢虫可利用的资源状态占整个可利用资源的比例。

3)对植物花期时诱集的捕食性瓢虫成虫数量与频度进行统计,并依据表 1 定义其诱集强度,其中,处于Ⅲ级以上者筛选为捕食性瓢虫补充营养蜜粉源植物。

### 1.4 群落构建方法与步骤

捕食性瓢虫为杂食性昆虫,除猎物外,用以补充营养的蜜粉源植物的丰富度对其种群生存、繁衍起着至关重要的作用<sup>[10]</sup>。因此,提供蜜粉源植物是进行城市绿地捕食性瓢虫招引的重要措施<sup>[21-22]</sup>,与农田系统成片种植单一植物不同,城市绿地植物景观

复杂多样,又兼具多种功能,在充分尊重场地条件的基础上,以捕食性瓢虫为招引目标的绿地植物群落需要在充分掌握捕食性瓢虫发生规律的基础上,进行科学的蜜粉源植物群落搭配。

表 1 诱集捕食性瓢虫强度划分等级

Table 1 Degree of trapping predatory ladybugs

序号	频度/%	平均数量 (/头·次 <sup>-1</sup> )	诱集强度 等级
1	≥80	≥5	I
2	≥80	1~5	II
3	50~80	/	III
4	20~50	/	IV
5	<20	/	V

1)植物景观规划——依据生态改善、景观美化、文化传承、休闲游憩、防灾避险等不同功能需求,进行绿地植物景观规划和树种选择。

2)核心区域选定——蚜虫等主要猎物是捕食性瓢虫生存的必要条件,因此,将捕食性瓢虫招引的核心区域设定为以刺吸类害虫为主要虫害的目标植物周围。

3)目标设定——以优势种作为主要招引目标。

表 2 捕食性瓢虫的物种组成、优势度及生态位宽度

Table 2 Species composition, Mcnaughton dominant and Smith niche breadth of predatory ladybugs

编号	瓢虫种类	Mcnaughton 指数	Smith 生态位宽度指数 FT							
			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	全年
1	异色瓢虫	0.2770	0.624	0.898	0.909	0.925	0.972	0.874	0.794	0.962
2	龟纹瓢虫	0.2296	0.675	0.703	0.755	0.665	0.728	0.897	0.773	0.819
3	菱斑巧瓢虫	0.0464	—	0.577	0.847	0.652	0.441	0.571	0.316	0.907
4	红点唇瓢虫	0.0901	—	0.316	0.903	0.953	0.876	0.667	0.790	0.953
5	深点食螨瓢虫	0.0057	—	0.671	0.408	—	—	—	—	0.731
6	梯斑巧瓢虫	0.0015	—	—	0.316	0.424	0.316	0.502	—	0.630
7	多异瓢虫	0.0012	—	0.316	0.681	—	—	—	0.548	0.819
8	红环瓢虫	0.0010	0.447	—	0.665	0.316	0.316	0.258	0.447	0.883
9	中国双七星瓢虫	0.0004	—	—	0.489	0.316	—	0.258	—	0.728
10	隐斑瓢虫	<0.0001	0.316	—	—	0.447	—	0.258	—	0.763
11	七星瓢虫	<0.0001	0.316	0.316	—	—	—	0.258	—	0.611
12	黑缘红瓢虫	<0.0001	—	—	—	—	—	—	0.548	0.775
13	二星瓢虫	<0.0001	—	0.441	—	—	—	—	—	0.623
14	暗红瓢虫	<0.0001	—	—	—	0.447	—	—	—	0.632
15	中华显盾瓢虫	<0.0001	0.316	—	—	—	—	—	—	0.447

## 2.2 捕食性瓢虫优势种发生时序规律

图 1—图 5 为 4 种瓢虫优势种的发生时序动态,可以看出,优势瓢虫的整体数量在 5 月下旬至 7 月上旬最多。其中,异色瓢虫在白皮松、元宝枫和碧桃上的发生高峰,龟纹瓢虫在油松和碧桃上的发生高峰,菱斑巧瓢虫在白皮松和元宝枫上的发生高峰均为 6 月。异色瓢虫和红点唇瓢虫在栾树上的发生高峰为 6—8 月。

对不同植物优势捕食性瓢虫进行多重比较结果

4)蜜粉源植物选择——依据瓢虫取食偏好,进行补充营养蜜粉源植物选择。

5)群落构建——为获取连续补充营养食物,将不同花期的蜜粉源植物围绕目标植物成片配置。

## 2 结果与分析

### 2.1 捕食性瓢虫的物种组成、优势度及生态位宽度

调查共发现捕食性瓢虫 11 属,15 种(表 2)。Mcnaughton 优势度指数计算结果显示(表 2),异色瓢虫(*Harmonia axyridis*)、龟纹瓢虫(*Propylea japonica*)、红点唇瓢虫(*Chilocorus kuwanae*)和菱斑巧瓢虫(*Oenopia conglobata*)等 4 种瓢虫为优势种,其数量共占总数的 90.5%;深点食螨瓢虫(*Stethorus punctillum*)等 4 种瓢虫为常见种;中国双七星瓢虫(*Coccinella sinensis*)等 7 种瓢虫为偶见种。

对 15 种捕食性瓢虫进行生态位宽度计算,结果表明,异色瓢虫等 4 种瓢虫的生态位宽度居于前列,红环瓢虫(*Rodolia limbata*)等 7 种瓢虫的生态位宽度中等,黑缘红瓢虫(*Chilocorus rubidus*)等 4 种瓢虫的生态位宽度位于最后。

发现,异色瓢虫在 5 种植物上的发生数量表现为碧桃最多,油松最少;龟纹瓢虫表现为碧桃最多,油松次之,栾树上最少;红点唇瓢虫表现为元宝枫与栾树最多,油松最少。

### 2.3 蜜粉源植物筛选

对 98 种园林植物花期时诱集的捕食性瓢虫成虫数量与频度进行统计与分析,结果表明,蒙椴(*Tilia mongolica*)、丰花月季(*Rosa hibrida*)、抱茎苦荬菜(*Ixeridium sonchifolium*)、夏至草(*Lagopsis supina*)

等4种植物对捕食性瓢虫成虫的诱集强度等级为I级,丝棉木(*Euonymus maackii*)、山茱萸(*Cornus officinalis*)、金露梅(*Potentilla fruticosa*)、欧防风(*Pastinaca sativa*)、刺芹(*Eryngium foetidum*)、蓬子菜(*Gallium verum*)等6种植物诱集强度等级为Ⅲ级,蛇鞭菊(*Liatris spicata*)、金鸡菊(*Coreopsis drummondii*)、日光菊(*Helianthus scaberrimus*)、加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis*)等4种植物诱集强度等级为Ⅳ级,迎春花(*Jasminum nudiflorum*)等其余84种植物诱集强度等级为V级。最终,筛选诱集等级为Ⅲ级以上的10种植物作为捕食性瓢虫补充营养的蜜粉源植物。

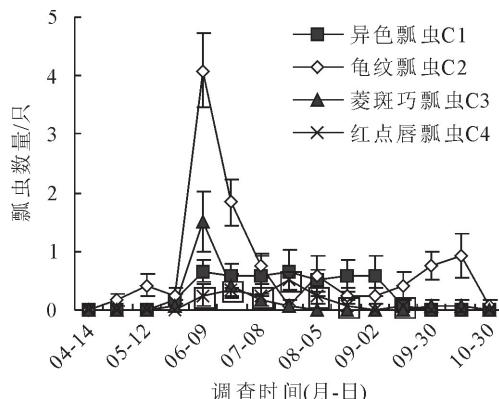


图1 油松优势捕食性瓢虫发生时序动态

Fig. 1 Temporal dynamic of dominant predatory ladybugs on *P. persica*

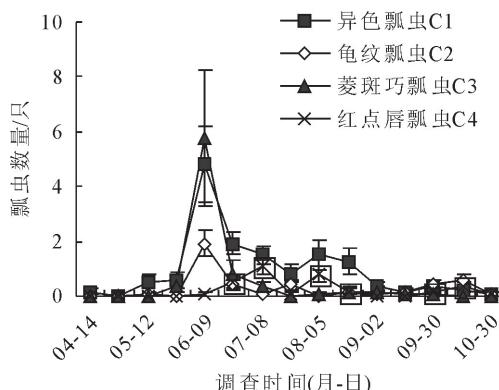


图2 白皮松优势捕食性瓢虫发生时序动态

Fig. 2 Temporal dynamic of dominant predatory ladybugs on *P. bungeana*

## 2.4 捕食性瓢虫食物谱绘制

将易染蚜虫等猎物的植物设定为目标植物,筛选出的蜜粉源植物为补充营养植物,结合捕食性瓢虫优势种的发生时序规律,绘制3—10月的捕食性瓢虫优势种食物谱(表3)。

## 2.5 以捕食性瓢虫为招引目标的城市绿地植物群落构建

参照1.4中群落构建方法和步骤,兼顾景观与生态功能,形成以捕食性瓢虫为招引目标的城市绿地植物群落构建范例。

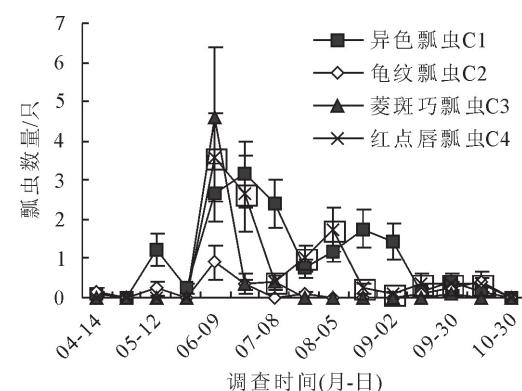


图3 元宝枫优势捕食性瓢虫发生时序动态

Fig. 3 Temporal dynamic of dominant predatory ladybugs on *A. truncatum*

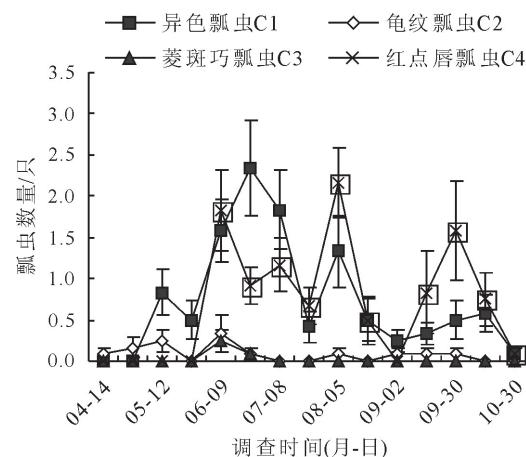


图4 桑树优势捕食性瓢虫发生时序动态

Fig. 4 Temporal dynamic of dominant predatory ladybugs on *K. paniculata*

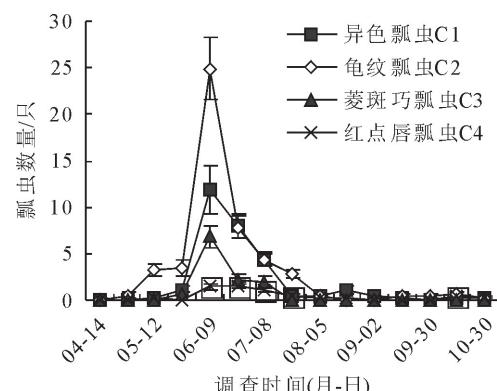


图5 碧桃优势捕食性瓢虫发生时序动态

Fig. 5 Temporal dynamic of dominant predatory ladybugs on *P. persica*

**2.5.1 油松+蒙椴——山茱萸+丰花月季——夏至草** 捕食性瓢虫招引核心区域选于油松周边,群落以油松为建群种,上层乔木适当点缀蒙椴,中层灌木以山茱萸为主体,丰花月季林缘进行成片种植,下层地被采用草花混播,并以夏至草为优势种。其中,油松易染居松长足大蚜和油松长大蚜,以龟纹瓢虫

为捕食性瓢虫的绝对优势种,拥有较高的生态位宽度,4—10月均有出现,高峰出现于6月。因此,在群落构建时,一方面,为提供蚜虫爆发前期的营养食物,早春开花植物的选择极为重要;另一方面,居松长足大蚜与油松长大蚜夏季种群崩溃明显,在蚜虫种群崩溃后,为满足数量众多的捕食性瓢虫进行营养补充,花期为7—10月的蜜粉源植物也必不可少。

### 2.5.2 元宝枫+丝绵木——山茱萸+丰花月季+

金露梅——抱茎苦荬菜 捕食性瓢虫招引核心区域选于元宝枫周边,群落以元宝枫为建群种,上层乔木适当点缀丝绵木,中层灌木以山茱萸为主体,丰花月季成片种植,金露梅成丛种植略作点缀,下层地被采用草花混播,并以抱茎苦荬菜为优势种。其中,元宝枫易染京枫多态毛蚜,异色瓢虫与菱斑巧瓢虫在6月发生明显高峰,前者拥有较宽的生态位,后者则相对较窄,蜜粉源植物花期应从早春至秋季持续不断。

表3 捕食性瓢虫食物谱

Table 3 Recipe of predatory ladybugs

编号	植物名称	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月
1	蒙椴	—	—	—	●	●	●	—	—
2	丝绵木	—	—	●	●	—	—	—	—
3	山茱萸	●	●	—	—	—	—	—	—
4	丰花月季	—	—	—	●	●	●	●	●
5	金露梅	—	—	—	●	●	●	—	—
6	抱茎苦荬菜	—	—	●	●	—	—	—	—
7	欧防风	—	—	—	●	●	●	—	—
8	刺芹	—	●	●	●	●	●	●	—
9	夏至草	—	●	●	—	—	—	—	—
10	蓬子菜	—	●	●	●	●	●	—	—
11	碧桃	—	□	□	■	■	■	□	□
12	白皮松	—	□	□	■	■	■	□	—
13	栾树	□	□	□	■	■	■	□	□
14	元宝枫	—	—	□	■	□	□	—	—
15	油松	—	—	□	■	□	—	—	—

注:■为经常利用的目标植物;□为一般利用的目标植物;●为经常利用的蜜粉源植物;—为很少利用的寄主植物或蜜粉源植物。

2.5.3 栾树——山茱萸+丰花月季——刺芹 捕食性瓢虫招引核心区域选于栾树周边,群落以栾树为建群种,中层灌木以山茱萸为主体,丰花月季成片种植,下层地被以草花混播为主,可将刺芹成片植于林缘。其中,栾树易染栾多态毛蚜,6—8月,异色瓢虫和红点唇瓢虫在栾树上数量均较多,在全年中出现多个发生高峰。此外,栾多态毛蚜存在越夏滞育型,捕食性瓢虫可在夏季持续从寄主植物获取食物资源,因此,在进行群落构建时,可根据景观及其他功能需求,重点对早春和秋季蜜粉源植物进行应用。

## 3 结论与讨论

### 3.1 结论

本次调查共发现捕食性瓢虫15种,隶属11属。其中,异色瓢虫等4种瓢虫为捕食性瓢虫优势种,具有较高的优势度指数和生态位宽度指数;多异瓢虫等4种瓢虫为常见种;七星瓢虫等7种瓢虫为偶见种。

5种园林植物诱捕的捕食性瓢虫发生规律存在差异。全年观测结果表明,5月下旬至7月上旬,瓢虫优势种整体数量最多;除栾树外,因夏季蚜虫发生

种群崩溃,碧桃等4种园林植物诱捕的瓢虫优势种在全年中仅存在1个发生高峰,且多为6月。

对98种园林植物花期时诱集的捕食性瓢虫成虫数量与频度进行统计与分析结果表明,蒙椴等10种植物诱集强度等级处于Ⅲ级以上,筛选确定为捕食性瓢虫补充营养的蜜粉源植物。

依据捕食性瓢虫对猎物与补充营养植物的取食特点,提出蒙椴等15种植物可以作为捕食性瓢虫食物谱中的可利用植物。

以植物景观规划、核心区域选定、目标设定、蜜粉源植物选择和群落构建为基本步骤,提出以捕食性瓢虫为招引目标的植物群落构建方法和3种植物群落构建模式,具体包括:“油松+蒙椴——山茱萸+丰花月季——夏至草”、“元宝枫+丝绵木——山茱萸+丰花月季+金露梅——抱茎苦荬菜”和“栾树——山茱萸+丰花月季——刺芹”。

### 3.2 讨论

3.2.1 捕食性瓢虫优势度指数分级与生态位宽度分级具有一致性 优势物种反映物种在群落或种群中的数量优势以及对栖息环境的占有范围,生态位宽度反映物种在群落中的分布状态。数量较多、占

据环境范围较广的优势物种,通常环境适应能力和资源能力较强,生态位较宽,这与其他学者的相关研究一致<sup>[18-19]</sup>。由此,依据本研究结果可以推断,异色瓢虫等4种生态位宽度位于前列的瓢虫对北京地区全年气候变化的适应能力最强;黑缘红瓢虫等4种生态位宽度位于后列的瓢虫对北京地区全年气候变化的适应能力最弱,种群竞争力相对较弱。

**3.2.2 与传统生物防治相比,以招引自然天敌为主要手段的保育式生物防治方法更具安全性和可持续性** 通过人工投放实现天敌种群数量增加是传统生物防治的常规做法,具体实践已有上千年历史,其中虽不乏成功的案例,但因涉及外来物种引入,又缺乏对引入地生态系统的整体评估和物种的长期监控,有时会以失败告终,轻则抑制无效,重则破坏本土环境和生物多样化。20世纪初被人工投放至北美的异色瓢虫虽在早期成功地抑制了很多农业害虫,但也因其极强的种群竞争力导致本土瓢虫数量明显下降,种群迅速萎缩甚至消亡。通过改善天敌生存、繁衍、栖息和觅食等的生态环境用以招引自然天敌,从而增加其种群数量,增强其控害能力的方法被称为保育式生物防治。在国外该方法已经成功应用于农业领域,例如,在冬小麦的“农田边界”种植蜜粉源植物后,能够对飞行性天敌昆虫进行诱集和繁育,并对80 m范围内的蚜虫进行有效控制<sup>[23]</sup>。与前者相比,该方法以改善本土天敌生存条件为手段,以激活生态系统内部种群调控机制为目标,不仅能够将有害生物控制在较低水平,还有助于促进生态系统稳定,更具安全性与可持续性。

**3.2.3 猎物、蜜粉源植物和栖息环境是捕食性瓢虫生存、繁衍、栖息的重要影响因素** 本研究重点从前二者角度出发,提出了在捕食性瓢虫招引阶段的绿地植物群落构建方法和范例,能够有效促进种群聚集和数量增加,而种群定居、群落稳定尚需要在此基础上进行必要和科学的栖息环境设计<sup>[16]</sup>。目前,国内外对于捕食性瓢虫的栖息环境研究多集中于农业领域,A. A. Grez等<sup>[24]</sup>研究表明,比起周长/面积比率高的栖息环境,多数捕食性瓢虫更愿意待在比率低的环境中,潘洪生<sup>[10]</sup>在对华北农田系统的研究中发现,玉米和高粱的喇叭口期能够在夏季为捕食性瓢虫提供相对潮湿以及躲避高温的微气候环境。针对绿地系统,日本造园和生态学家提倡多孔隙空间营造以为多种生物提供栖息场所,但针对捕食性瓢虫生息空间研究较少。由此,为实现绿地系统中的瓢虫种群定居,尚需对其栖息环境进行设计,研究团队也将在后续研究中做深入探讨。

## 参考文献:

- [1] 虞国跃,林文祥.台湾瓢虫图鉴[M].北京:化学工业出版社,2011.
- [2] GIRLING R D, HASSALL M. Behavioural responses of the seven-spot ladybird *Coccinella septempunctata* to plant headspace chemicals collected from four crop brassicas and *Arabidopsis thaliana*, infested with *Myzus persicae*[J]. Agricultural and Forest Entomology, 2008, 10: 297-306.
- [3] HAN P, NIU C Y, DESNEUX N. Identification of top-down forces regulating cotton aphid population growth in transgenic bt cotton in central China[J]. Plos One, 2014, 9(8): 549-556.
- [4] 陈川,唐周怀,惠伟,等.多异瓢虫对绣线菊蚜捕食作用的初步研究[J].西北林学院学报,2003,18(4):79-80,91.  
CEHN C, TANG Z H, HUI W, et al. Studies on the predatory function of *Hippodamia* (*Adonia*) *variegata* (Goeze) to *Aphis citricola* Van der Goot[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2003, 18(4): 79-80, 91. (in Chinese)
- [5] 刘长海,骆有庆.枣树萌芽展叶期害虫与天敌关系的研究[J].西北林学院学报,2006,21(05):139-142.  
LIU C H, LUO Y Q. An Investigation on pests and natural enemies from germination to frondescence of *Jujube*[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2006, 21 (5): 139-142. (in Chinese)
- [6] SCHELLHORN N A, BIANCHI F J J A, HSU C L. Movement of entomophagous arthropods in agricultural landscapes: links to pest suppression[J]. Annual Review of Entomology, 2014, 59: 559-581.
- [7] RAMSDEN M W, MENÉNDEZ R, LEATHER S R, et al. Optimizing field margins for biocontrol services: The relative role of aphid abundance, annual floral resources, and overwinter habitat in enhancing aphid natural enemies[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2015, 199: 94-104.
- [8] 李凯.农林复合生态系统林带对捕食性节肢动物种群动态的影响[D].北京:北京林业大学,2010.
- [9] OBRYCKI J J, HARWOOD J D, KRING T J, et al. Aphidophagy by Coccinellidae: application of biological control in agroecosystems[J]. Biological Control, 2009, 51: 244-254.
- [10] 潘洪生.华北农田系统中捕食性瓢虫的生境搜索行为[D].北京:中国农业科学院,2015.
- [11] OSTROM P H, COLUNGA-GARCIA M, GAGE S H. Establishing pathways of energy flow for insect predators using stable isotope ratios: field and laboratory evidence[J]. Oecologia, 1997, 109: 108-113.
- [12] WÄCKERS F L. Gustatory response by the hymenopteran parasitoid *Cotesia glomerata* to a range of nectar and honeydew sugars[J]. J. Chem. Ecol., 1999, 25: 2863-2877.
- [13] WÄCKERS F L. Assessing the suitability of flowering herbs as parasitoid food source: flower attractiveness and nectar accessibility[J]. Biological Control, 2004, 29: 307-314.
- [14] GÉNEAU C E, WÄCKERS F L, LUKA H, et al. Effects of extrafloral and floral nectar of *Centaurea cyanus* on the parasitoid wasp *Microplitis mediator*: olfactory attractiveness and parasitization rates[J]. Biological Control, 2013, 66: 16-20.
- [15] 王建红,仇兰芬,车少臣,等.蜜粉源植物对天敌昆虫的作用及

- 其在生物防治中的应用[J]. 应用昆虫学报, 2015, 52(2): 289-299.
- WANG J H, QIU L F, CHE S C, et al. The effects of floral resource plants on natural enemy insects and implications for biological control[J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2015, 52(2): 289-299. (in Chinese)
- [16] 井手久登, 龟山章. 绿地生态学[M]. 日本东京: 朝倉書店, 1993.
- [17] MCNAUGHTON S J. Relationship among functional properties of California grassland[J]. Nature, 1967, 216: 168-169.
- [18] 胡知渊, 鲍毅新, 葛宝明, 等. 围垦滩涂潮沟秋季大型底栖动物群落和生态位分析[J]. 动物学报, 2006, 52(4): 500-809.
- HU Z Y, BAO Y X, GE B M, et al. Macrofaunal community and niche analysis of creeks during autumn in diked tidal flat [J]. Acta Zoologica Sinica, 2006, 52(4): 500-809. (in Chinese)
- [19] 周立森, 丁圣彦, 卢训令, 等. 人为干扰对传粉昆虫群落物种多样性及其优势类群生态位的影响[J]. 生态学报, 2020, 40(6) 网络首发.
- ZHOU L Y, DING S Y, LU X L, et al. Effects of anthropogenic disturbance on species diversity and niche of dominant group in pollinators community[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(6). (in Chinese)
- [20] SMITH E P. Niche breadth, resource availability, and inference[J]. Ecological Society of America, 1982, 63(6): 1675-1681.
- [21] 任斌斌, 王建红, 李广, 等. 基于保育式生物防治的蜜粉源植物调查与群落构建研究[J]. 中国园林, 2018, 34(1): 108-112.
- REN B B, WANG J H, LI G, et al. Floral resource plant investigation and community construction based on conservation biological control[J]. Chinese Landscape Architecture, 2018, 34(1): 108-112. (in Chinese)
- [22] 任斌斌, 王建红, 李广等. 基于有害生物及其天敌发生规律的蜜粉源植物群落构建研究[C]//中国风景园林学会. 中国风景园林学会 2018 年会论文集. 北京: 中国建筑出版社, 2018: 617-623.
- [23] HOLLAND J M, OATEN H, SOUTHWAY S, et al.. The effectiveness of field margin enhancement for cereal aphid control by different natural enemy guilds[J]. Biological Control, 2008, 47: 71-76.
- [24] GREZ A A, PRADO E. Effect of plant patch shape and surrounding vegetation on the dynamics of predatory coccinellids and their prey *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae) [J]. Environmental Entomology, 2000, 29, 1244-1250.

(上接第 121 页)

- [9] 任利益, 张延龙, 牛立新, 等. ‘凤丹’油用牡丹实生优株选择及评判标准研究[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(6): 162-168.
- REN L Y, ZHANG Y L, NIU L X, et al. Selection of excellent *Paeonia ostii* individuals and evaluation standards [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(6): 162-168. (in Chinese)
- [10] 马跃, 谌红辉, 李武志, 等. 望天树苗木分级技术研究[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(4): 153-156.
- MA Y, CHEN H H, LI W Z, et al. Seedling grading technique of *Parashorea chinensis* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(4): 153-156. (in Chinese)
- [11] 郭俊杰, 尚帅斌, 汪奕衡, 等. 热带珍贵树种青梅苗木分级研究[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(3): 74-78.
- GUO J J, SHANG S B, WANG Y H, et al. Seedling quality grading of *Vatica mangachapoi*, a valuable tree species in the tropics[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(3): 74-78. (in Chinese)
- [12] 林海明, 张文霖. 主成分分析与因子分析的异同和 SPSS 软件-兼与刘玉珍、卢纹岱等同志商榷[J]. 统计研究, 2005, 22(3): 65-69.
- [13] 张世强. 关于数理统计中系统聚类法的讨论[J]. 中国卫生统计, 2005, 22(5): 286-289.
- [14] LIESE W, KÖHL M. BAMBOO: The plant and its uses [M]. Heidelberg, Germany: Springer, 2015.
- [15] 向钰, 丁雨龙, 张春霞, 等. 矢竹地下茎节间生长的解剖学和转录组研究[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2020, 44(3): 33-40.
- XIANG Y, DING Y L, ZHANG C X, et al. Anatomical and transcriptomic analysis of bamboo rhizome internode growth [J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2020, 44(3): 33-40. (in Chinese)
- [16] 刘国华, 方正, 郑笑, 等. 全国 14 个竹产区毛竹竹炭理化性质分析[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2018, 42(6): 13-19.
- [17] MERA T, ANTONIO F, XU C Y. Plantation management and resource economics of bamboo in China [J]. Ciencia y Tecnología, 2014, 7(1): 1-12.
- [18] 姚文静, 王茹, 王星, 等. 毛竹实生苗生长发育规律及其模型拟合研究[J]. 西部林业科学, 2020, 49(3): 14-20.
- [19] 李基平. 竹苗质量检测的形态指标[J]. 云南林业, 2005, 26(6): 11-11.
- [20] 方乐金. 毛竹优良无性系选择苗期测定[J]. 林业科技开发, 2000, 14(4): 29-30.
- [21] 段春香. 料慈竹种子特性及育苗技术系统研究[D]. 昆明: 西南林学院, 2008.
- [22] 董敦义. 毛竹实生苗发育规律研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2005.
- [23] 王海霞, 彭九生, 曾庆南. 淡竹立竹生物量计算模型构建[J]. 世界竹藤通讯, 2014, 12(6): 10-14.
- [24] 王舒惊. 不同光照强度对翠竹生长的影响[D]. 南京: 南京林业大学, 2017.