

中华蜜蜂对四种园艺花卉的访花行为研究

Study on Foraging Behavior of Chinese Honeybee to Four Horticultural Flower Species

郭江莉* 冷寒冰 奉树成
GUO Jiangli* LENG Hanbing FENG Shucheng

基金项目:
上海市绿化和市容管理局2018年科学技术项目“城市生态系统对访花昆虫多样性影响的研究”(编号: G180303)
上海市科学技术委员会科研计划项目“上海城市植物资源开发应用工程技术研究中心”(编号: 18DZ2283500)

文章编号: 1000-0283 (2020) 12-0065-05
DOI: 10.12193/j.laing.2020.12.0065.010
中图分类号: TU986
文献标识码: A
收稿日期: 2020-09-28
修回日期: 2020-10-29

摘要
中华蜜蜂 (*Apis cerana* Fabricius, 1973) 是园林植物的主要访花昆虫, 尤其是园艺花卉为访花昆虫提供了重要的食物来源。文章选取了4种常用灌草类园艺花卉种类: 杜鹃 (*Rhododendron simsii*)、天竺葵 (*Pelargonium hortorum*)、角堇 (*Viola cornuta*)、矮牵牛 (*Petunia hybrida*), 分别配以3种花卉色彩 (白色、红色、紫色), 施以不同游客访问频率 (0次/min、1次/min、5次/min和10次/min), 研究花卉种类和色彩以及人为干扰对中华蜜蜂访花行为的影响, 探讨中华蜜蜂访花行为的影响因素, 从而筛选出有效的蜜源园艺花卉。结果显示中华蜜蜂的访花时间、访花间隔时间、单位时间的访花蜂量和访花频率等访花行为受花卉种类影响显著 ($p<0.05$), 而受花卉颜色影响不显著 ($p>0.05$)。此外, 正常游客量并不会对中华蜜蜂访花行为产生显著影响 ($p>0.05$)。4类花卉种类中, 杜鹃花和矮牵牛花冠大且筒深, 粉蜜量丰富, 是中华蜜蜂的首选优质蜜源植物, 可为后期生物保护和园艺植物配置提供参考。

关键词
中华蜜蜂; 传粉昆虫; 访花行为; 园艺花卉; 生物保护

Abstract
Chinese honeybee (*Apis cerana* Fabricius, 1793) is the main flower-visiting insect of garden plants. Especially horticultural flowers provide an essential food source for flower-visiting insects. This paper selected four horticultural flower species such as *Rhododendron simsii*, *Pelargonium hortorum*, *Viola cornuta*, *Petunia hybrida*, with three flower colors (white, red, purple) and different visiting frequency of visitors (0 time/min, one time/min, five times/min, ten times/min), and observed the influences of flower species and colors and human disturbance on Chinese honeybees' visiting behaviors to explore the main factors that affect the visiting behaviors of Chinese honeybees and screen effective honey horticultural flowers. The results showed that flower-visiting behaviors of Chinese honeybees, including flower-visiting time, flower-visiting interval, the number, and frequency of visiting bees per unit time were influenced significantly by flower species ($p<0.05$), but not by flower colors ($p>0.05$). There was no significant influence of the average tourist volume on Chinese honeybees' flower-visiting behavior ($p>0.05$). Among four flower species, *Rhododendron simsii* and *Petunia hybrida* with the broad and deep corolla tube and abundant pollen and nectar are the prior and superior honey plants for Chinese honeybee, which could provide a reference to biological protection and horticultural plant configuration.

Key Words
Apis cerana; pollinating insects; foraging behavior; horticulture flowers; biological conservation

郭江莉
1984年生/女/山东青岛人/上海植物园工程师/从事生物多样性研究与科普教育(上海200231)

冷寒冰
1983年生/女/山东青岛人/上海植物园高级工程师/从事城市生态学研究(上海200231)

奉树成
1966年生/男/湖南娄底人/上海植物园教授级高级工程师、硕士生导师/从事园林植物收集与推广应用(上海200231)

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: guojiangli@shbg.org

昆虫与植物是自然生态系统的重要组成部分, 它们在相互作用过程中协同进化, 分别演化出传粉昆虫和虫媒花, 两者互利互惠, 植物依赖传粉昆虫传授花粉, 传粉昆虫从植物获取花粉和花蜜作为食物^[1]。据估计, 全世界被子植

物约80%为虫媒传粉，其中人类直接食用的粮食作物中75%是靠昆虫传粉，由此可见传粉昆虫创造的巨大价值^[2]。

在众多的传粉昆虫中，蜜蜂科 (Apidae) 昆虫最为人们熟知，其中，中华蜜蜂 (*Apis cerana* Fabricius) 是一个代表性种类。它是我国特有的蜜蜂种质资源，种群数量大、访花时间长且弹花频率较高，在传粉昆虫中具有明显优势度，在很多地区是绝对的优势种；同时中华蜜蜂访花范围广，嗅觉敏锐，几乎遍布所有开花植物，对零星分散的蜜粉植物具有很强的搜寻和采集能力^[3]，尤其对高寒地区、早春和晚秋的开花植物传授花粉效果显著^[4]。在各分布地，中华蜜蜂是农作物和本土植物的有效传粉者，不仅能提高作物产量，还能在传粉过程中产出许多极具价值的副产品^[5]。不仅如此，中华蜜蜂的野生种群还被作为环境影响评价的重要指示物^[6]，是我国自然生态体系中不可缺少的重要环节^[5]，在维持生态平衡方面具有重要意义。

随着城市化进程的发展，城区面积在不断扩展，公园绿地的建设步伐也在加快，其中园林绿化成为重要的城市景观类型。通过对城市园林中开花植物和蜜蜂访花行为调查研究，发现即使在大量其他蜜粉植物开花期间，园林植物仍然是中华蜜蜂的采集对象^[6]，尤其在春季大量的园艺花卉盛开，更成为城区中华蜜蜂的主要采集对象。园艺花卉是城市绿化发展中的重要组成部分，不仅种类繁多，色彩各异，具有极强的观赏性，很多种类都可以为蜜蜂提供有效的花蜜、花粉，所以有必要将城市环境纳入传粉昆虫保护的范畴^[7]，让公园绿地成为生物多样性保护的基地。本文通过中华蜜蜂对4种常用灌草类园艺花卉访花行为的研究，筛选有效的蜜源花卉植物，以期通过对园艺花卉的配置达到对中华蜜蜂保育的目的。

1 试验材料与方法

1.1 试验地

因天气情况会显著影响中华蜜蜂访花行为，因此将试验样地放在室内大棚中进行，大棚地点位于上海市奉贤区吴房村生态农场，地理位置为121°31' 31.42" E, 30°53' 42.94" N，面积256 m²，周边有大量农田、林地。大棚覆盖透明薄膜，加盖遮阴网，设置通风设施。在大棚入口两侧分别放置一个蜂箱，将蜂箱的出蜂口对准大棚内部，每个蜂箱约有5 000头中华蜜蜂的工蜂，蜜源植物集中放置于大棚中央。

1.2 目标昆虫

本研究的观察对象为中华蜜蜂的工蜂，体长10 ~ 13 mm，全身密被黑色或深黄色绒毛。复眼发达，触角膝状，为适应取食蜜粉，口器嚼吸式，上唇长方形，唇基中央隆起，具红黄色的三角斑；腹部各节均具黑色环带；后足携粉足，胫节形成花粉蓝^[8]。

中华蜜蜂咀嚼式口器虽短但内部结构可伸长，便于取食花冠大且浅的花的花粉与花蜜。采集花粉时，蜂体表面的浓密绒毛可粘附花粉粒，前足、中足和后足将粘附在身体上的花粉粒收集一起传递到后足基跗节内侧的花粉栉上。最后通过花粉耙刮集和后足耳状突的推挤，将花粉粒推进花粉筐中^[9]。

在上海的春季，中华蜜蜂出巢时间在8:00左右，归巢17:00左右，受遮阴网影响，大棚内中华蜜蜂9:00左右开始活动，10:00出巢达到高峰，16:00左右鲜有蜜蜂出巢，所以计时自10:00开始，统计至16:30点结束。

1.3 蜜源植物

春季园林开花植物众多，尤其是灌草类花卉开花量大、花色多样，被广泛运用于园艺展览展示中。花朵产生的花粉、花蜜成为吸引访花昆虫的诱物。本研究选取白色、红色和紫色3种不同颜色的4种常用灌草类园艺花卉杜鹃 (*Rhododendron simsii*)、天竺葵 (*Pelargonium hortorum*)、角堇 (*Viola cornuta*)、矮牵牛 (*Petunia hybrida*) 为蜜源植物材料 (图1)。杜鹃花，伞形花序顶生，有花1至数朵与叶枝出自同一个顶芽，花冠阔漏斗形或漏斗状钟形，红色至紫红色，粉红色或白色；天竺葵，伞形花序腋生，具多花，花左右对称，紫红色、红色、橙红色、粉红色或白色；角堇，花两性，两侧对称，花梗腋生，花左右对称，花色丰富，花瓣有红、白、黄、紫、蓝等颜色，常有花斑，有时上瓣和下瓣呈不同颜色，花丝极短，花药环生于雌蕊周围，药隔顶端延伸成膜质附属物，下方2枚雄蕊的药隔背方近基部处形成距状蜜腺，伸入于下方花瓣的距中；矮牵牛，花冠喇叭状，花色有红、白、粉、紫及各种带斑点、网纹、条纹等。4种植物的花冠径、雄蕊数等花部特征如表1。

1.4 研究方法

将杜鹃、天竺葵、角堇和矮牵牛4种灌草类园艺花卉按种类、花色分片区排列在大棚中，每一类型植物5 ~ 10盆，保证每种颜色花卉有50朵花同时开放，多余的、开花晚期的进行

表1 四种园艺花卉的花部特征

植物种类	花冠型	花冠直径/mm	冠筒长/mm	花瓣数/枚	雄蕊数/枚	雄蕊长/mm	花粉囊长/mm
杜鹃花	阔漏斗形	25~35	35~40	5	10	42~65	1.8~2.6
天竺葵	左右对称	38~45		5	10	7~9	1.5~2
角堇	两侧对称	25~40		5	5		
矮牵牛	伞形	37~55	28~32	5	5	17~25	1.3~2

剪除。试验前，对蜂群和植物进行1~3 d的适应和恢复管理。实验前一天夜间，将蜂巢出口使用封隔片封住，让实验开始时蜜蜂处于饥饿状态，保证出勤率。

实验时间为2020年4月23~28日，连续7 d，天气以晴朗天气为主，大棚内白天温度20~28℃，湿度50%~64%，室内外湿度基本保持一致，温度高于外界约2℃。上午10点开始进行实验，将出蜂口处封片打开，让蜜蜂可以自由进出蜂巢。一天内分别在10:00~11:30、13:00~14:30和15:00~16:30三个时间段用秒表对中华蜜蜂的访花行为进行记录，包括每5 min同一类型的50朵花吸引的蜜蜂数量(只/5 min)以及平均一只蜜蜂的访花频率(朵/min)、访花时间(s/只)、访花间隔时间(s/只)。前两个指标一天内每个时间段重复3次，后两个指标重复30次。

模拟公园绿地中游客量和游客行为在样地中穿梭游览，分别以0次/min、1次/min、5次/min和10次/min的频率在花丛中观赏走动，观察中华蜜蜂的访花行为，包括每5 min同一类型的50朵花吸引的蜜蜂数量(只/5 min)以及平均一只蜜蜂的访花数量(朵/min)。

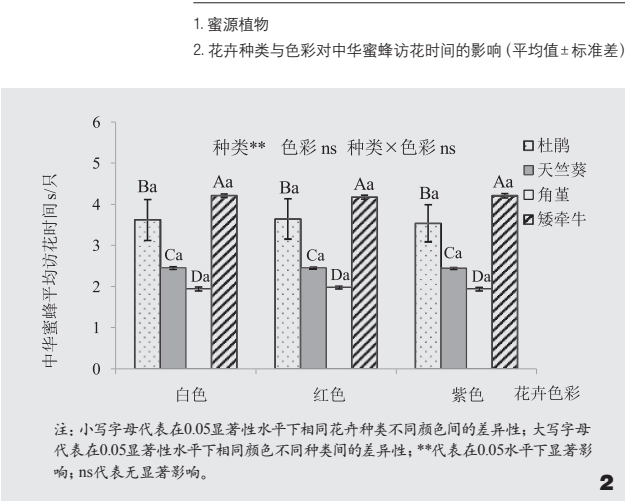
1.5 分析方法

用SPSS18.0统计分析软件对数据进行正态化转换，再利用方差分析和LSD多重比较分析花卉种类和色彩对中华蜜蜂访花行为的影响。作图采用Microsoft Excel2007。

2 结果和分析

2.1 不同蜜源植物的种类和颜色与中华蜜蜂访花时间的关系

昆虫访花时间是昆虫在每朵花上的停留时间。由图2所示，3种不同花卉色彩下，中华蜜蜂对4种不同花卉种类的访花时间差异显著(P<0.05)，而同一花卉种类不同花色间的访花时间差异却不显著(P>0.05)。中华蜜蜂对矮牵牛的访花时间显著长于其他3种(P<0.05)，白色、红色和紫色花分别为4.22 s/只、4.18 s/只和4.21 s/只；其次是杜鹃花，3种花色的中华蜜蜂访花时间分别为3.63 s/只、3.65 s/只和3.54 s/只；天竺葵和角堇的中华蜜蜂访花时间显著较短(P<0.05)，3种花色分别为2.45 s/只和1.94 s/只、2.46 s/只和1.98 s/只、2.44 s/只和1.94 s/只。通过花卉种类和色彩双因素方差分析，中华蜜蜂的访



花时间主要受花卉种类的影响 ($P<0.05$)，花卉色彩以及种类与色彩的交互作用影响并不显著 ($P>0.05$)。

2.2 不同蜜源植物的种类和颜色与中华蜜蜂访花时间间隔的关系

昆虫访花间隔时间是昆虫飞离上一朵花至访问下一朵花的间隔时间。由图3所示，3种不同花卉色彩下，中华蜜蜂对4种不同花卉种类的访花间隔时间差异显著 ($P<0.05$)，而同一花卉种类不同花色间的访花间隔时间差异却并不显著 ($P>0.05$)。中华蜜蜂对杜鹃花的访花间隔时间显著长于其他3种 ($P<0.05$)，白色、红色和紫色花分别为1.77 s/只、1.70 s/只和1.75 s/只；其次是矮牵牛和角堇，3种花色的中华蜜蜂访花间隔时间分别为1.56 s/只和1.43 s/只、1.56 s/只和1.44 s/只、1.54 s/只和1.43 s/只；天竺葵的中华蜜蜂访花间隔时间显著最短 ($P<0.05$)，3种花色分别为1.26 s/只、1.25 s/只和1.25 s/只。通过花卉种类和色彩双因素方差分析，中华蜜蜂的访花间隔时间主要受花卉种类的影响 ($P<0.05$)，花卉色彩以及种类与色彩的交互作用影响并不显著 ($P>0.05$)。

2.3 不同蜜源植物的种类和颜色与中华蜜蜂访花数量的关系

昆虫访花数量是昆虫在单位时间内访问花的数量。由图4所示，3种不同花卉色彩下，中华蜜蜂对4种不同花卉种类的访花数量差异显著 ($P<0.05$)，而同一花卉种类不同花色间的访花数量差异却并不显著 ($P>0.05$)。中华蜜蜂对杜鹃花的访花数量最高 (4 ~ 5只/5 min)，红色吸引蜜蜂数量可达到5只/5 min以上；

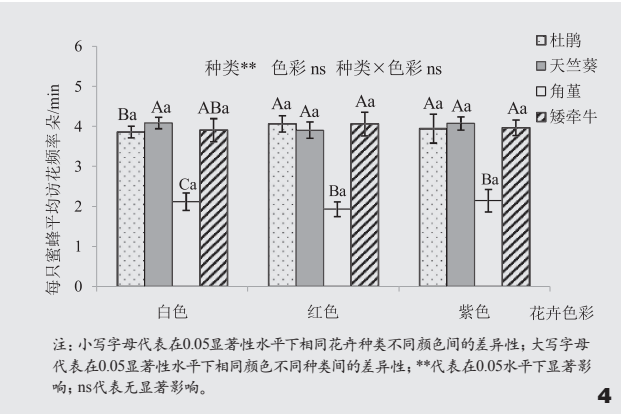
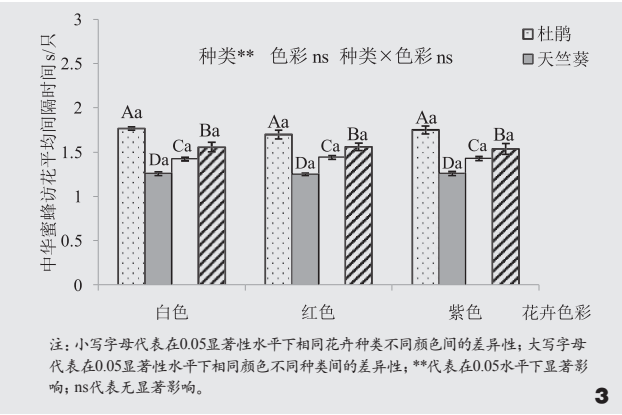
其次是天竺葵和矮牵牛，两者的中华蜜蜂访花数量差异并不显著 ($P<0.05$)，数量均在3 ~ 4只/5 min，蜜蜂对角堇的访花数量显著最低，仅在2只/5 min左右。通过花卉种类和色彩双因素方差分析，蜜蜂的访花数量主要受花卉种类的影响 ($P<0.05$)，花卉色彩以及种类与色彩的交互作用影响并不显著 ($P>0.05$)。

2.4 不同蜜源植物的种类和颜色与中华蜜蜂访花频率的关系

昆虫访花频率是单位时间内昆虫访问单个花朵的次数。由图5所示，3种不同花卉色彩下，中华蜜蜂对4种不同花卉种类的访花频率差异显著 ($P<0.05$)，而同一花卉种类不同花色间的访花频率差异却并不显著 ($P>0.05$)。中华蜜蜂对杜鹃、天竺葵、矮牵牛的访花频率差异并不显著 ($P>0.05$)，平均每分钟访问4朵左右，而对角堇的访花频率显著较低，仅2朵左右。通过花卉种类和色彩双因素方差分析，蜜蜂的访花频率主要受花卉种类的影响 ($P<0.05$)，花卉色彩以及种类与色彩的交互作用影响并不显著 ($P>0.05$)。

2.5 游客量和游客行为对中华蜜蜂访花行为的影响

中华蜜蜂的访花行为不受公园绿地中正常游客量的影响。在样地中，以0次/min、1次/min、5次/min和10次/min的频率在花丛中走动，结果显示每5 min内访花蜜蜂数量分别为3.46只、3.38只、3.50只和3.31只，单只蜜蜂在每分钟时间内采花数量分别为3.51朵、3.54朵、3.46朵和3.35朵，两组数据均无显著性差异 ($P>0.05$)。



3 讨论与结论

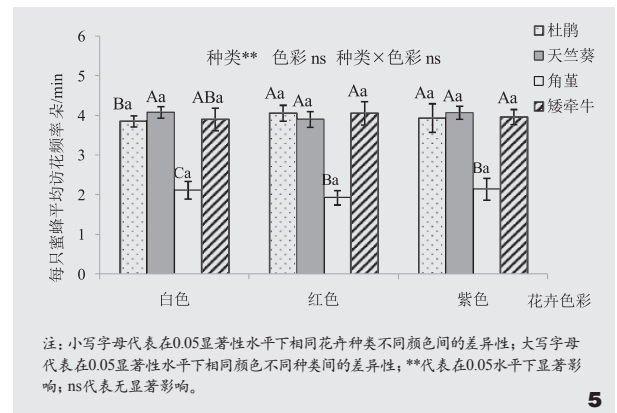
中华蜜蜂的访花行为明显受花卉种类影响，主要体现于昆虫的拜访频率与蜜源植物花形的关系^[10]。本研究发现中华蜜蜂在单花上的拜访时间主要取决于花朵的蜜粉量和获得蜜粉的难易程度。中华蜜蜂要想获得花蜜，必须由上而下穿过雄蕊和触碰柱头，钻至花柱底端才能得到花蜜^[11]，花朵的这一结构使得昆虫获得花蜜难度增加，致使访花时间延长。

杜鹃花花粉量较大，花丝分散且长短不一，中华蜜蜂来回穿梭访花时间较长。花冠呈漏斗状，弧度大，雄蕊明显长于冠筒，蜜蜂需悬停较长时间选择着陆点，所以访花间隔时间明显长。4种花卉中杜鹃花花冠最大，蜜粉量大，招引来的访花蜂数最多，单只蜜蜂的访花频率较高。矮牵牛花冠大，花粉量多，解剖冠筒底部可见明显的花蜜，中华蜜蜂需钻入才能采集到花粉，故访花时间明显长。由于蜜蜂对矮牵牛花粉的采集时间长，且冠筒狭长，蜜蜂爬进爬出需要较多时间，所以单位时间内同一类型花上的访花蜂数较少，而单只蜜蜂的访花频率较低。天竺葵花粉量较少，中华蜜蜂访花时间较短。花序呈伞形，较平坦，中华蜜蜂可直接着陆在花粉处，访花间隔时间最短。较大的花冠和稍外露的花粉招引的访花蜂数较多，访花频率也较高。角堇花朵相对较小，且角堇属于闭锁花，闭花授粉，花丝极短，花粉量少，中华蜜蜂访花时间最短。花冠平坦，无冠筒，适合快速着陆，蜜蜂访花间隔时间较短。较小的花冠和较少的诱物致使访花蜂数明显最少，蜜蜂的访花频率明显最低。

本研究表明，中华蜜蜂喜欢粉蜜量丰富、花冠大的园艺花卉，伞形科平坦顶置的花序对蜜蜂来说找食物是相对容易的，所以杜鹃花和矮牵牛是中华蜜蜂访花的首选。但访花行为与花的颜色无关。这与蜜蜂访花与不同品种紫花苜蓿花部特征的相关性的研究结论相似^[10]，花朵的颜色并不是造成访花蜂数差异的主要原因。

本研究通过人为模拟游客游园、赏花、驻足等行为，发现中华蜜蜂的访花行为几乎不受游客正常赏花行为的影响，与正常游客数量的多少没有直接的联系。因此，在公园绿地设计改造中，不必担心正常游客量对中华蜜蜂种群所产生的影响。

随着城市生态建设的发展，城市美化在绿化、彩化基础上，不再局限于视觉的欣赏，更要作为城市自然生产力的主体，成为城市生态支持系统的核心^[12]。所以园林植物选择时，需要考虑到植物与传粉昆虫的关系，以提高生态效应。园艺花卉种类繁多且开花数量大，很多种类是良好的蜜源植物，对蜜



5. 花卉种类与色彩对中华蜜蜂访花频率的影响 (平均值±标准差)

蜂具有很大的吸引力，在园林配置中应该优先考虑^[7]。通过园艺花卉的配置为中华蜜蜂提供食物来源，可以促进城市绿地自然化，为生物多样性保护营造良好栖息地。▲

参考文献

- [1] 钦俊德. 昆虫与植物的关系[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [2] 武文卿, 李川, 邵有全. 国内访花粉昆虫研究的文献计量学分析[J]. 农学报, 2015(05): 102-108.
- [3] 杨大荣. 传粉昆虫的研究进展[J]. 云南农业科技, 2018(S1): 3-7.
- [4] 吴国火, 崔林, 王梦馨, 李红亮, 韩宝瑜. 茶树花香气及茶叶气味对中华蜜蜂的引诱效应[J]. 生态学报, 2020(12): 4024-4031.
- [5] 邱建生, 张念念, 刘童童, 田茂娟, 谢正华, 陈晓鸣. 中华蜜蜂在滇山茶上的访花行为研究[J]. 生物资源, 2018(01): 52-56.
- [6] 田悦, 崔玉, 王安蕊, 陈发军. 城市园林植物的蜜粉资源及蜜蜂的访花行为[J]. 蜜蜂杂志, 2013(12): 17-19.
- [7] 张亚男, 文庆利, 高红梅, 等. 城市园林对本土传粉者中华蜜蜂的保护作用[J]. 应用昆虫学报, 2016(02): 357-364.
- [8] 蔡邦华. 昆虫分类学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2015. 12.
- [9] 余林生, 邹运鼎, 曹义锋, 等. 意大利蜜蜂(*Apis mellifera ligustica*)与中华蜜蜂(*Apis cerana ceraca*)的生态位比较[J]. 生态学报, 2008, 28(9): 4575-4581.
- [10] 姜华, 毕玉芬, 周禾, 何承刚. 蜜蜂访花与不同品种紫花苜蓿花部特征的相关性[J]. 昆虫学报, 2004(05): 618-623.
- [11] 胡海桃, 陈娟, 陈瑞旭, 等. 二月兰访花昆虫种类及其访花行为[J]. 东北林业大学学报, 2014(11): 142-145.
- [12] 张庆贵. 城市生态绿化的概念和建设原则初探[J]. 中国园林, 2001(04): 34-36.