

# 红锯蛱蝶觅食过程中的视觉和嗅觉反应

王 华, 李承哲, 陈晓鸣\*, 姚 俊, 周成理, 石 雷

(中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 国家林业局资源昆虫培育与利用重点实验室, 云南 昆明 650224)

**摘要:** [目的] 探讨颜色和气味对红锯蛱蝶觅食的引诱作用。[方法] 分别测定不同颜色和挥发性信息化合物对红锯蛱蝶的引诱效应。[结果] 实验发现: 视觉和嗅觉信号对红锯蛱蝶觅食均有引诱作用, 红、粉、黄、紫、白 5 种颜色中, 红锯蛱蝶明显偏好白色假花(占总访问次数的 56.67%), 对黄色(20.00%)和粉红色(15.00%)假花的趋性次之; 灯光的选择中, 夜晚的引诱效果好于白天, 粉红色灯光(42.22%)对红锯蛱蝶的诱集效果最好; 红锯蛱蝶对蜜源信息挥发物有明显的趋性, 无气味时, 访花次数较少, 添加气味后, 访花次数急剧增加, 其中, 1% 水杨酸甲酯(35.17%)和化合物组合(1%  $\alpha$ -蒎烯 + 1% 水杨酸甲酯 + 1% 1-辛醛)(32.42%)对红锯蛱蝶的引诱效果最明显。[结论] 研究表明: 视觉和嗅觉信号均在红锯蛱蝶的觅食过程中发挥作用, 但觅食时更侧重依赖嗅觉信号选择合适的食物。红锯蛱蝶明显偏好白色, 可能与白色的强反光能力有关。

**关键词:** 红锯蛱蝶; 视觉; 嗅觉; 觅食行为

中图分类号: S899

文献标识码: A

## Visual and Olfactory Responses of the Butterfly *Cethosia biblis* during Flower Visitation

WANG Hua, LI Cheng-zhe, CHEN Xiao-ming, YAO Jun, ZHOU Cheng-li, SHI Lei

(Key laboratory of Cultivating and Utilization of Resources Insects of State Forestry Administration, Research Institute of Resources Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, Yunnan, China)

**Abstract:** [Objective] To study the responses of *Cethosia biblis* to color and odor in its foraging behavior. [Method] The attractive effect of *C. biblis* by different colors and volatile compounds were investigated respectively. [Result] It was found that both visual and olfactory signals had effects on the foraging behavior of *C. biblis*. Among five colors, *C. biblis* showed a clear preference to white (the proportion was 56.67%), followed by yellow (20.00%) and pink (15.00%). In light trapping test, the attractiveness of different color light at night was better than those in daytime generally; and the pink light attracted the largest number of butterfly (42.22%). Olfactory signals were significantly attractive to the adults of *C. biblis*. The models scented with 1% methyl salicylate (35.17%) and synthetic blends (1%  $\alpha$ -pinene + 1% methyl salicylate + 1% 1-octanal) (32.42%) attracted significantly more adults than the odorless ones. [Conclusion] It is concluded that, both olfactory and visual cues play important roles in food searching behavior of *C. biblis*, while the adults depend primarily on olfactory signal to choose appropriate food. The butterflies obviously prefer to white flower, which possibly related to strong reflection of the white flower.

**Keywords:** *Cethosia biblis*; visual sense; olfactory sense; foraging behavior

收稿日期: 2016-03-04

基金项目: 林业公益性行业科研专项项目“开放式蝴蝶景观构建关键技术研究及应用”(201504305)

作者简介: 王 华(1991—), 女, 云南大理人, 硕士研究生. 主要研究方向: 蝴蝶行为学.

\* 通讯作者: 陈晓鸣.

蝴蝶为了维持生命和繁衍后代,必须寻找合适的营养补充物,在觅食过程中,通常会利用多种信号搜寻食物,其中,花冠的颜色和气味被认为是吸引蝴蝶访花的重要信号<sup>[1]</sup>,并且不同蝶种对这2种信号的利用权重也有所不同<sup>[2]</sup>。很多依靠颜色访花的昆虫,植物体的反射光谱或反射图样是它们找到食物的关键信号<sup>[3]</sup>,研究发现,不同蝶种对颜色的偏好不同<sup>[4]</sup>,如蛱蝶科(Nymphalidae)蝴蝶偏爱黄色和蓝色,粉蝶科(Pieridae)蝴蝶偏爱蓝色、紫色和黄色<sup>[5]</sup>。昆虫的趋色性在某种程度上是趋光性,因此,不同波长的单色光刺激可以引发昆虫的趋向反应<sup>[6-8]</sup>,如君主斑蝶(*Danaus plexippus* Linnaeus)和柑橘凤蝶(*Papilio xuthus* Linnaeus)觅食时均能够利用紫外光作为定位蜜源的信号<sup>[9-10]</sup>。此外,蜜源植物释放的挥发性信息化合物也对昆虫觅食起重要作用<sup>[11]</sup>,研究发现,许多蝴蝶都是利用花香作为识别蜜源植物的最初线索<sup>[12-13]</sup>。

红锯蛱蝶(*Cethosia biblis* Drury, 1773)隶属鳞翅目(Lepidoptera)蛱蝶科(Nymphalidae)蛱蝶亚科(Heliconiinae)锯蛱蝶属(*Cethosia*)。分布于中国、印度、尼泊尔至马来西亚一带。成虫翅面色彩鲜艳,飞行缓慢,姿态优美,是生态观赏、喜庆放飞和工艺制作的优良蝶种<sup>[14]</sup>。对该蝶的研究主要集中在成虫形态特征<sup>[15]</sup>、生物学特性<sup>[16-17]</sup>、分类学<sup>[18]</sup>和蜜源及寄主植物挥发物<sup>[19]</sup>等方面,也有学者研究过红锯蛱蝶觅食过程中对不同信号的利用权重<sup>[2]</sup>,但鲜见对红锯蛱蝶觅食时嗅觉和视觉反应进行系统的研究报告。通过研究红锯蛱蝶对不同颜色和挥发性信息化合物的趋性,旨在明确对红锯蛱蝶起到较好引诱效果的颜色和气味,通过结合这2种信号,在开放空间实现对红锯蛱蝶的大量引诱,从而为营造野外蝴蝶飞舞景观提供科学依据和技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点

试验在云南省元江县中国林业科学研究院资源昆虫研究所元江试验站进行(102°00'46" E, 23°36'11" N, 海拔400 m),年平均气温19~20℃,年平均降水量500~600 mm,属于干热气候类型。

### 1.2 供试蝴蝶

红锯蛱蝶来自云南省元江县人工饲养种群,幼虫用三开瓢(*Adenia cardiophylla* Mast.)饲喂,光周期为L:D=13 h:11 h,温度(26±2)℃,湿度50%~

70%,试验开始前,仅提供蜂蜜水供成虫取食。

### 1.3 试验方法

1.3.1 网室内引诱试验 试验在一个长、宽、高为8 m×8 m×4 m的网室内进行,网室透光良好,光照均匀,在网室内固定一根长约6 m的铁丝,距离地面约2.7 m。

(1)红锯蛱蝶对不同颜色假花的趋性:试验选取的5种颜色是红锯蛱蝶所偏好的蜜源植物马利筋(*Asclepias curassavica* Linnaeus)和马缨丹(*Lantana camara* Linnaeus)花冠的常见颜色。在铁丝上依次悬挂红、黄、粉红、紫和白色的假花藤各4条,花藤底部距离地面40 cm,相邻花藤间隔30 cm,在气温适于红锯蛱蝶活动时放飞,放飞雌雄蝴蝶共100只(雌:雄=1:1),记录红锯蛱蝶对不同颜色花藤的选择次数。为排除位置对其影响,放飞1次后,将5组花藤位置调换,再放飞1次。

(2)红锯蛱蝶对不同颜色灯光的趋性:依据上面的实验结果,选取引诱效果较好的2种颜色(白色和黄色),在铁丝上交叉悬挂白色、黄色的假花藤各4条,2条为1组,分别命名为组1~4,花藤底部距离地面40 cm,相邻花藤间隔40 cm。在组1、组2、组3和组4的花藤上分别悬挂红、粉红、黄和七色彩灯4种颜色的灯,放飞1次后,选出引诱效果最差的一种颜色灯,将其关闭,作为对照。试验前在每朵花上均喷洒10%蜂蜜水2 mL,在气温适于蝴蝶活动时放飞,放飞雌雄蝴蝶共100只(雌:雄=1:1),记录红锯蛱蝶对不同颜色灯光的选择次数。分别于白天和夜晚各放飞1次。

(3)红锯蛱蝶对不同挥发性信息化合物的趋性:根据Tang等<sup>[2]</sup>和张雯雯<sup>[19]</sup>的研究结果,选择1%α-蒎烯,1%水杨酸甲酯以及化合物组合(1%α-蒎烯+1%水杨酸甲酯+1%1-辛醛)作为食物的气味信号。交叉悬挂白色、黄色的假花藤各4条,2条为1组,分别命名为组1~4,花藤底部距离地面40 cm,相邻花藤间隔40 cm。实验前在每朵花上均喷洒10%蜂蜜水2 mL,然后根据Tang的实验结果<sup>[2]</sup>,在组1、组2、组3和组4的花内棉球上分别加入2 mL的1%α-蒎烯+1%水杨酸甲酯+1%1-辛醛混合液,1%α-蒎烯,1%水杨酸甲酯和10%蜂蜜水(对照),在气温适于蝴蝶活动时放飞,放飞雌雄蝴蝶共100只(雌:雄=1:1),记录红锯蛱蝶对引诱剂的选择次数。放飞1次后,调换位置,再放飞1次。

1.3.2 开放空间颜色+气味的引诱试验 试验在

元江试验站的开阔空地上进行,将1根长约6 m的铁丝系在左右两根固定好的竹竿上,铁丝距离地面2.7 m。悬挂红、粉红、黄、白色花藤各1条及4种颜色小花藤各1条组成1组,共4组,花藤底部距离地面40 cm,相邻花藤间隔15 cm。试验前在每朵花上均喷洒10%蜂蜜水2 mL,花的中间均塞入棉球,棉球上加入1 mL的1%  $\alpha$ -萜烯+1%水杨酸甲酯+1%1-辛醛混合液,在气温适于蝴蝶活动时放飞,放飞雌雄蝴蝶共200只(雌:雄=1:1),记录红锯蛱蝶的选择、取食或着落在假花上的次数。

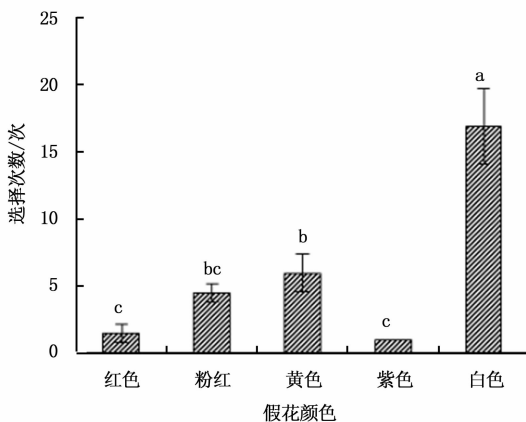
#### 1.4 数据分析和处理

采用SPSS17.0统计分析软件对数据进行K-S检验,如果数据服从正态分布,则采用单因素方差分析,当方差齐性时用LSD法进行多重比较;对灯光引诱数据进行独立样本 $T$ 检验,比较不同处理间的差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 颜色对红锯蛱蝶觅食的引诱作用

#### 2.1.1 不同颜色的引诱作用 不同颜色的假花对



柱上不同字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ ),下同。

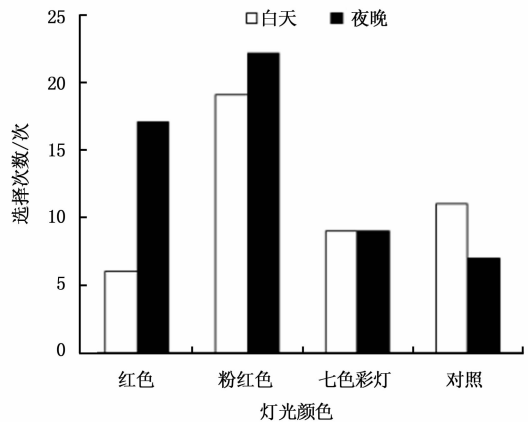
图1 不同颜色对红锯蛱蝶的引诱作用

#### 2.2 挥发性信息化合物对红锯蛱蝶觅食的引诱作用

红锯蛱蝶对不同挥发性信息化合物的选择均高于蜂蜜水,说明不同挥发性信息化合物对红锯蛱蝶均有引诱作用,并且不同化合物的引诱效果有显著差异( $F = 7.977, P < 0.05$ ) (图2),其中,水杨酸甲酯对红锯蛱蝶的引诱效果最好,选择次数占总访问次数的35.17%,其次是化合物组合,占总访问次数32.42%,但二者无显著差异( $P > 0.05$ ), $\alpha$ -萜烯

红锯蛱蝶均有引诱作用(图1),红锯蛱蝶在白色假花上的访问次数最高,占总访问次数的56.67%,显著高于其它颜色( $F = 38.295, P < 0.01$ ),对黄色(20.00%)和粉红色(15.00%)假花的趋性次之,并且对这2种颜色无明显偏好( $P > 0.05$ ),而对红色(5.00%)和紫色(3.33%)假花的选择很少,并且显著低于其他颜色,说明红锯蛱蝶比较偏好色彩不鲜艳的假花。

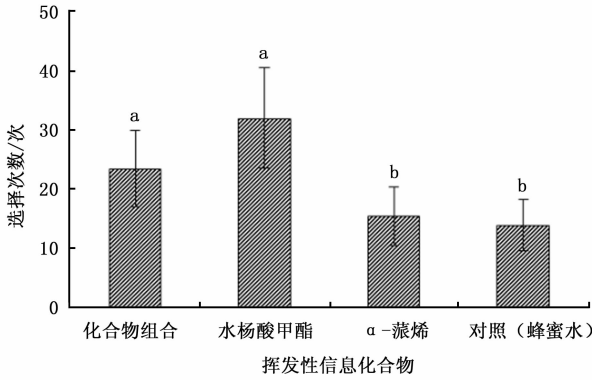
2.1.2 不同颜色灯光的引诱作用 从图1可以看出:夜晚灯光的引诱效果普遍好于白天,不论昼夜,红锯蛱蝶均对粉红灯光的趋性最强,而对红色灯光的趋性仅在夜晚比较明显,并且与白天的引诱效果相差较大。白天引诱试验中,除了粉红灯光(42.22%)对红锯蛱蝶具有较好的引诱效果外,七色彩灯(20.00%)和红色灯光(13.33%)的引诱效果均低于对照;夜晚试验中,粉红灯光和红色灯光均对红锯蛱蝶有较好的引诱效果,选择次数分别占总访问次数的40.00%和30.91%,而七色彩灯(16.36%)的引诱效果虽好于对照(12.73%),但差异不明显(图1)。



(17.04%)的引诱效果虽好于蜂蜜水(15.39%),但二者间的差异不显著( $P > 0.05$ )。

#### 2.3 开放空间气味+颜色对红锯蛱蝶的引诱作用

在不同颜色的花藤上喷施化合物组合物后,红锯蛱蝶的访花次数急剧增加,引诱率达到51.50%,说明挥发物组合的(1%  $\alpha$ -萜烯+1%水杨酸甲酯+1%1-辛醛)气味对红锯蛱蝶觅食具有强烈的激发作用(图3)。红锯蛱蝶对不同颜色花藤的趋性差异极显著( $F = 209.857, P < 0.01$ ),其中,对白色花藤的



“化合物组合”代表1%α-萜烯+1%水杨酸甲酯+1%1-辛醛

图2 不同化合物对红锯蛱蝶的引诱效果

趋性最强,选择次数百分数为92.23%,明显高于未喷施挥发性试剂时对白色的选择,但对黄色(3.88%)、红色(2.91%)和粉红色(0.97%)花藤的选择相较于未喷施试剂时减少,且未对这3种颜色表现出明显偏好。在多个观察时间段,红锯蛱蝶于刚开始放飞时的访花数量最多,随着观察时间的增加,访花数量逐渐减少,但减少的趋势不明显( $F = 0.009, P > 0.05$ ),并且在观察30 min甚至1 h后,仍有很多红锯蛱蝶在假花上取食或围绕假花飞舞,说明颜色+气味能够持续起到引诱红锯蛱蝶的作用。

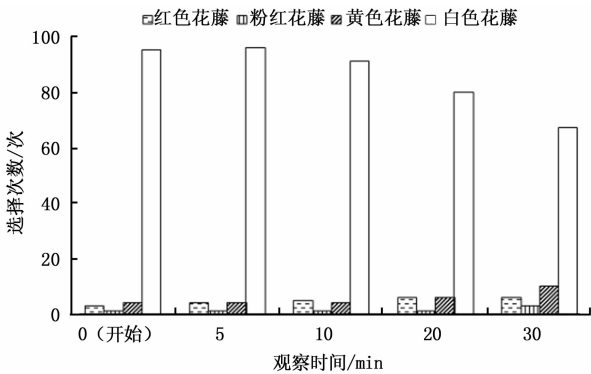


图3 红锯蛱蝶在化合物组合的刺激下对不同颜色的选择

### 3 讨论

植物为了吸引访花昆虫为其授粉,逐渐进化出独特的花部特征,如:颜色、气味等,这些特征对吸引特定的授粉者起到重要作用<sup>[20]</sup>。许多蝶类为了减少获取补充营养的时间和被捕食风险,必须利用可靠的蜜源信息<sup>[11,21]</sup>,而花的颜色和气味作为最显著的蜜源特征<sup>[12]</sup>,有利于促使访花昆虫产生定向反应,去寻找所需要的食物,同时起到传粉的作用<sup>[22]</sup>。对于利用颜色和气味寻找食物的蝴蝶,这2种信号

通常可以作为引诱它们的依据。

本研究中,通过探索颜色和气味对红锯蛱蝶的引诱作用,发现2种信号对红锯蛱蝶均有引诱效果,并且在野外实现了对红锯蛱蝶的大量引诱,说明红锯蛱蝶觅食时综合利用这2种信号。无论有无气味信息,红锯蛱蝶均明显偏好白色假花,对白色假花的趋性显著高于其它颜色,而Tang等<sup>[2]</sup>的研究表明,红锯蛱蝶比较偏好访问红、黄、紫色的花朵,造成这种差异的原因可能与季节有关,Tang的测试时间在夏季,而作者的测试时间在冬季。红锯蛱蝶偏好白色的特征也在食腐类的枯叶蛱蝶(*Kallima inachus* Boisduval)中发现,当不同颜色的相同腐烂发酵气味存在时,枯叶蛱蝶对白色食物的趋性最强<sup>[2]</sup>,这可能因为白色的反光能力相较于其他颜色强,与深绿色的叶片背景形成鲜明对比,容易被蝴蝶识别<sup>[24-25]</sup>。另外,视觉信号中的灯光也可以促进红锯蛱蝶的取食行为,并且夜晚的灯光引诱效果好于白天,这可能受环境光线强度的影响。红锯蛱蝶对粉红色和红色灯光的趋性比较强烈,却对这2种颜色假花的访问很少,这可能与灯光的亮度有关。红色灯光的引诱效果昼夜差异较大,可能因为红色灯光的昼夜相对亮度差异较大。除颜色外,气味也对红锯蛱蝶起到较好的引诱作用,有研究表明,化合物组合的引诱效果好于单一化合物<sup>[13]</sup>;而本文作者发现,红锯蛱蝶更偏好访问单一化合物(水杨酸甲酯),这与张雯雯<sup>[19]</sup>在研究气味对金斑蝶的引诱作用时得到的结果相同,而造成这种现象的原因还有待进一步查证。大部分鳞翅目成虫在觅食时,会利用多种感官感知信号,并对不同信号存在偏好层次<sup>[23]</sup>。作者发现,红锯蛱蝶也有这种特性,无气味信息时,红锯蛱蝶的访花次数较少,添加气味信息后,访花次数急剧增加。另外,红锯蛱蝶虽属于访花类,但也会取食发酵水果汁液、甚至动物粪便<sup>[15]</sup>。由此认为,红锯蛱蝶依靠嗅觉信号为主,视觉信号为辅的途径搜寻食物,这与Tang等<sup>[2]</sup>描述的“红锯蛱蝶觅食时对视觉信号有一定的反应,但对嗅觉信号的依赖程度更大”相吻合。

### 4 结论

红锯蛱蝶觅食过程中,对视觉和嗅觉信号均有反应。红锯蛱蝶明显偏好白色假花,对黄色和粉红色假花的趋性次之;灯光的选择中,夜晚的引诱效果好于白天,粉红色灯光对红锯蛱蝶的诱集效果最好。

红锯蛱蝶对挥发物有明显的趋性,无气味时,访花次数较少,添加气味后,访花次数急剧增加,其中,水杨酸甲酯和化合物组合对红锯蛱蝶有明显的引诱效果。研究表明,红锯蛱蝶觅食时,主要依靠嗅觉信号选择合适的食物,蝴蝶明显偏好白色,可能与白色的强反光能力有关。

### 参考文献:

- [1] Ômura H, Honda K, Hayashi N. Chemical and chromatic bases for preferential visiting by the cabbage butterfly *Pieris rapae* to rape flowers [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1999, 25(8):1895-1906.
- [2] Tang Y C, Zhou C L, Chen X M, *et al.* Visual and olfactory responses of seven butterfly species during foraging[J]. *Journal of Insect Behavior*, 2013, 26(3): 387-401.
- [3] Lelito J P, Fraser I, Mastro V C, *et al.* Visually mediated 'paratrooper copulations' in the mating behavior of *Agrilus planipennis* (Coleoptera; Buprestidae), a highly destructive invasive pest of North American ash trees[J]. *Journal of Insect Behavior*, 2007, 20(6): 537-552.
- [4] Weiss M R. Innate colour preferences and flexible colour learning in the Pipevine swallowtail [J]. *Animal Behaviour*, 1997, 53(5): 1043-1052.
- [5] Kandori I, Ohsaki N. The learning abilities of the white cabbage butterfly *Pieris rapae* foraging for flowers[J]. *Researches on Population Ecology*, 1996, 38(1): 111-117.
- [6] Chowdhury S, Soren R. Light attracted butterflies: a review from the Indian sub-region with an inventory from West Bengal, India[J]. *Journal of Threatened Taxa*, 2011, 3(6): 1868-1871.
- [7] 蒋月丽,段 云,武予清. 三种不同波长绿-黄光对甜菜夜蛾产卵生物学的影响[J]. *植物保护学报*, 2008, 35(5): 473-474.
- [8] 陈 友. 华山松木蠹象及其三种主要寄生蜂的趋光特性研究[D]. 昆明: 云南大学, 2013; 10.
- [9] Koshitaka H, Kinoshita M, Vorobyev M, *et al.* Tetrachromacy in a butterfly that has eight varieties of spectral receptors[J]. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 2008, 275(1637): 947-954.
- [10] Blackiston D, Briscoe A D, Weiss M R. Color vision and learning in the monarch butterfly, *Danaus plexippus* (Nymphalidae) [J]. *The Journal of Experimental Biology*, 2011, 214(3): 509-520.
- [11] Ômura H. Foraging behavior of adult butterflies and its semiochemicals as olfactory signals [J]. *Comparative Physiology and Biochemistry*, 2006, 23(3): 134-142.
- [12] Andersson S, Dobson H E M. Behavioral foraging responses by the butterfly *Heliconius melpomene* to *Lantana camara* floral scent [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2003, 29(10): 2303-2318.
- [13] Honda K, Ômura H, Hayashi N. Identification of floral volatiles from *Ligustrum japonicum* that stimulate flower-visiting by cabbage butterfly, *Pieris rapae*[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1998, 24(12): 2167-2180.
- [14] 陈晓鸣,石 雷,周成理,等. 中国观赏蝴蝶[M]. 北京: 中国林业出版社, 2008; 125.
- [15] 周成理,陈晓鸣,史军义,等. 红锯蛱蝶和白带锯蛱蝶形态特征记述及生物学初步观察[J]. *林业科学研究*, 2009, 22(4): 506-511.
- [16] 杨 萍,邓合黎,漆 波,等. 红锯蛱蝶 *Cethosia biblis* (Drury) 的生物学研究[J]. *西南农业大学学报:自然科学版*, 2006, 28(4): 549-552.
- [17] 吴 伟,蔡村旺,陈 静. 红锯蛱蝶生物学特性研究[J]. *西南林学院学报*, 2003, 23(4): 54-57.
- [18] Müller C J, Beheregaray L B. Palaeo island-affinities revisited-Biogeography and systematics of the Indo-Pacific genus *Cethosia* Fabricius (Lepidoptera: Nymphalidae) [J]. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2010, 57(1): 314-326.
- [19] 张雯雯. 蝴蝶蜜源及寄主植物挥发物成分的研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2011; 20-21.
- [20] Raguso R A, Pichersky E. Floral volatiles from *Clarkia breweri* and *C. concinna* (Onagraceae): Recent evolution of floral scent and moth pollination[J]. *Plant Systematics and Evolution*, 1995, 194(1-2): 55-67.
- [21] Balkenius A, Rosén W, Kelber A. The relative importance of olfaction and vision in a diurnal and nocturnal hawkmoth [J]. *Journal of Comparative Physiology*, 2006, 192(4): 431-437.
- [22] 张红玉. 虫媒植物与传粉昆虫的协同进化(二)—虫媒花的性状对昆虫传粉的适应[J]. *四川林业科技*, 2005, 26(6): 22-27.
- [23] Goyret J, Markwell P M, Raguso R A. The effect of decoupling olfactory and visual stimuli on the foraging behavior of *Manduca sexta* [J]. *Journal of Experimental Biology*, 2007, 210(8): 1398-1405.
- [24] Borges R M, Gowda V, Zacharias M. Butterfly pollination and high-contrast visual signals in a low-density distylous plant [J]. *Oecologia*, 2003, 136(4): 571-573.
- [25] Kelber A, Balkenius A, Warrant E J. Colour vision in diurnal and nocturnal hawkmoths [J]. *Integrative and Comparative Biology*, 2003, 43(4): 571-579.

(责任编辑:张 玲)