

# 杨小舟蛾成虫对5种黑杨无性系的寄主选择行为

范立鹏<sup>1</sup>, 王军辉<sup>1</sup>, 于占晶<sup>2</sup>, 黄范全<sup>3</sup>, 孔祥波<sup>1</sup>, 王鸿斌<sup>1</sup>, 张苏芳<sup>1</sup>, 张真<sup>1\*</sup>

(1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林保护重点实验室, 北京 100091;  
2. 衡水学院生命科学学院, 河北衡水 053000; 3. 湖南省益阳市沅江市林业局, 湖南沅江 413100)

**摘要:** 为比较杨小舟蛾对不同寄主的选择差异性, 利用生物观察法研究了该成虫在5种黑杨无性系寄主间的停靠选择行为和产卵选择行为, 验证了5种寄主挥发物对该虫进行寄主选择过程产生的作用。结果表明: 不同性别、不同生理状态的成虫对5种寄主的选择率存在差异; 雌性个体无论是否交配均表现出对5种样本相同的差异性选择, 而雄性个体则未表现出这种选择差异性。在相同虫数下, 有更多的交配后雌蛾对寄主做出了选择, 与未交配雌蛾选择虫数相比差异显著。杨小舟蛾对碧玉杨的寄主产卵选择性最强, 108杨次之, 与对照差异显著; 其余处理与对照差异不显著。

**关键词:** 杨小舟蛾; 黑杨; 动态顶空; 寄主选择; 产卵

中图分类号: S763

文献标识码: A

## Host Selection Behavior of *Micromelalopha sieversi* to Five *Populus deltoides* Clones

FAN Li-peng<sup>1</sup>, WANG Jun-hui<sup>1</sup>, YU Zhan-jing<sup>2</sup>, HUANG Fan-quan<sup>3</sup>, KONG Xiang-bo<sup>1</sup>,  
WANG Hong-bin<sup>1</sup>, ZHANG Su-fang<sup>1</sup>, ZHANG Zhen<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Forest Protection of State Forestry Administration, Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. College of Life Science, Hengshui University, Hengshui 053000, Hebei, China; 3. Forestry Bureau of Yuanjiang City, Yuanjiang 413100, Hunan, China)

**Abstract:** The host selection and oviposition choice behavior of *Micromelalopha sieversi* (Staudinger) among five *Populus deltoides* clones were observed by observation, and the host volatile extract were prepared for the purpose of comparing the differences in host selectivity, analyzing the impact of volatile substances on the moth host selection. The results showed that there were different host selection rates of different gender and physiological state moths. The females showed differences in host selectivity, while the males did not. There were more mated female moths made host choices than the virgin moths. The statistical results of host oviposition selectivity suggested that Biyu had the strongest oviposition attractant activity, followed by *Populus × canadensis* 'Guariento', but there were no significant differences among the other treatments and controls.

**Key words:** *Micromelalopha sieversi* (Staudinger); *Populus deltoides*; dynamic headspace; host selection; oviposition

收稿日期: 2014-02-25

基金项目: 国家林业公益性行业专项“森林病虫害生物控制及火灾生态调控技术研究”(201004003-1)

作者简介: 范立鹏, 博士研究生, 主要研究方向: 化学生态. E-mail: flpeaf@163.com

\* 通讯作者: 研究员, 博士生导师. 主要研究方向: 主要从事昆虫生态学、化学生态和害虫生态管理研究. E-mail: zhangzhen@caf.ac.cn

植物与昆虫在长期的进化过程中形成了复杂的互作关系,昆虫种群的繁衍在很大程度上取决于能否寻找到合适的寄主植物和获得足够的营养,这其中植物挥发性物质起着重要作用<sup>[1-2]</sup>。在寻找寄主阶段,昆虫通过嗅觉感器接收并识别寄主植物挥发性物质,这种物质诱导昆虫产生对植物的多种行为,诸如寄主识别定向行为、产卵行为、逃避行为、取食行为、聚集行为等等<sup>[3-6]</sup>。已有许多学者对昆虫利用植物挥发性气味寻找寄主做了研究,Schoonhoven等<sup>[7]</sup>发现马铃薯叶片气味可使马铃薯甲虫产生寄主定向行为,多种果树散发气味中的法尼烯成分对苹果蠹蛾(*Laspeyresia pomonella* (L.))具有较强的引诱作用;Du等<sup>[8]</sup>从杨树叶挥发的物质中鉴定出20种化合物中的5种以一定比例组合在风洞中对雌性棉铃虫(*Helicoverpa armigera* (Hübner))显示出较强的引诱作用;Nottingham<sup>[9]</sup>研究发现多种十字花科(Cruciferae)植物均可产生特征化合物异硫氰酸酯糖苷,种蝇(*Delia platura* (Meigen))可利用该物质寻找定位寄主植物。

杨小舟蛾(*Micromelalopha sieversi* (Staudinger))隶属于鳞翅目(Lepidoptera)舟蛾科(Notodontidae),广泛分布于我国江苏、安徽、湖北、湖南等中东部十几个省份,其爆发时经常会将树叶全部吃光,严重影响树木生长,造成巨大经济损失和环境破坏,是我国杨树人工林最主要的食叶害虫之一,杨小舟蛾可危害多种杨属、柳属植物,由于地域及寄主的差异,该虫在各地的发生规模和危害程度不同<sup>[10-11]</sup>。欧美杨108、111、214、75-18是我国华北华中地区最为广泛种植的黑杨派速生无性系品种;碧玉杨是适合我国西部干旱、半干旱地区并被国家大力推广的川地造林优良品种,该品种苗木快繁项目被列为国家级火炬计划,本文选取这5种有代表性黑杨派无性系品种作为研究对象,通过室内行为观察试验,对处于不同生理状态的杨小舟蛾成虫从寄主选择,产卵选择两方面加以研究,分析该虫对于多种寄主的选择差异性,明确了杨树挥发物质提取液对该虫行为引诱的作用,以期为不同地域的树种选择及多树种合理配置抗御杨小舟蛾危害提供数据支持,并为该虫的综合治理提供生态防治手段。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

试验所需杨小舟蛾蛹于2013年5—8月采自江

苏省徐州市丰县费楼镇,林分类型为5年生黑杨108纯林,轻度受害(全年未防治)。当监测到林间杨小舟蛾处于老熟幼虫阶段时,大量采集下树化蛹的老熟幼虫,饲喂于铺有林间枯落物的养虫笼中置于林间待其化蛹。每日检查化蛹情况,将同一天化成的蛹收集起来作为供试虫源。

杨树叶片采自北京中国林业科学研究院苗圃,供试杨树品种为1年生扦插黑杨派无性系(欧美杨108、欧美杨111、214、75-18和碧玉杨)。

### 1.2 试验方法

1.2.1 杨小舟蛾对5个黑杨无性系的停靠选择测试 在室内用多功能支架和纱网搭建1.5 m × 1.5 m × 2.0 m(长×宽×高)的试验空间,内部用上下2层白纱布从中间隔出高度60 cm的中间层,下层纱布轻描正六边形,边长70 cm,5个角上各剪出 $\varphi = 12$  cm的圆孔,将杨树苗(1年生盆栽扦插苗,树高、叶量均一旦无虫害和机械损伤的样本)的枝叶从圆孔中伸出作为寄主选择待测对象放置于底层纱布下面,利用铁丝与绿色彩纸制作的模拟杨树苗作为对照。在自然光周期、温度(26 ± 1)℃、湿度50% ± 10%条件下每日18:00将健壮的杨小舟蛾成虫30头放置于六边形中心处,3 h后记录停靠在各处理上的虫数,重复3次后随机调整各处理摆放位置,消除方位因素带来的影响,总计重复15次。试验处理昆虫分别为:1 d未交配雌蛾、交配未产卵雌蛾,1 d未交配雄蛾。

1.2.2 杨小舟蛾对不同杨树无性系叶片挥发物粗提液的趋性测试 粗提液的制备:采用动态顶空收集法采集5种杨树叶片挥发物。每日18:00-20:00进行气体采集,采集时将相同叶面积的活体杨树叶片用保鲜袋(45 cm × 55 cm,加拿大Toppits公司)包裹,进出气口分别用硅胶管连接活性碳柱和活化后的吸附管,吸附剂为美国Alltech公司生产的Porapak Q填充量150 mg · 支<sup>-1</sup>,吸附管另一端联接北京市劳动保护科学研究所研制的QC-1大气采样仪,空气流量计控制气体流速为350 mL · min<sup>-1</sup>,持续时间2 h后将吸附管取下用正己烷(二次重蒸)洗脱,洗脱液量为2 mL,每个处理每日选取3株,20 d总计重复60次,将洗脱液密封保存于-20℃冰箱内备用。

试验时取5个杨树无性系叶片的挥发物粗提液各10 mL,氮气吹扫浓缩至0.5 mL,0.5 mL正己烷作为对照,分别滴于6张洁净滤纸( $\varphi = 9.0$  cm)中

心,轻轻挥动滤纸,待溶剂挥发后将其放入六边形的各个顶点作为诱源进行趋性选择测试(实验间设置及处理昆虫状态类型同1.2.1)。以昆虫落到滤纸中心30 cm半径圆形区域内看作是对该诱源的选择,3 h后记录停靠在各处理区域内的虫数。

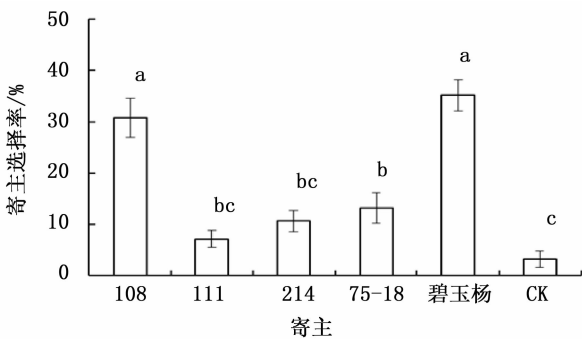
**1.2.3 杨小舟蛾雌蛾产卵寄主选择测试** 将杨小舟蛾雌雄成虫放置于同一个养虫笼,每日观察其交配情况,将交配结束后的雌蛾快速转移至实验间,寄主位置设置同1.2.1,试验总共处理杨小舟蛾交配后雌蛾450头,统计各处理杨树叶片卵块及受精卵数量。

**1.2.4 统计方法** 杨小舟蛾停靠及产卵寄主选择结果采用 Spss 18.0 / one-way ANOVA / Duncan 方法进行多重比较统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 杨小舟蛾停靠寄主选择

图1表明:杨小舟蛾未交配雌蛾对碧玉杨、108杨存在最显著的趋向性,二者之间无显著差异( $P < 0.05$ ,下同),二者与其余处理差异显著,75-18杨与对照相比趋性显著,111杨、214杨与对照无显著差异。图2表明:交配后未产卵的雌蛾对碧玉杨趋向性最强,对欧美杨108的趋性次之,二者与其余处理差异显著,111杨与对照的差异显著,214杨、75-18杨与对照的差异均不显著;图3表明:未交配的雄蛾对108杨有显著趋性,对其他处理无显著的趋向。



不同小写字母表示各寄主间差异显著( $P < 0.05$ ;下同)

图1 未交配雌蛾寄主选择率

### 2.2 杨小舟蛾对5种黑杨叶片挥发物提取液趋性选择测试

图4表明:杨小舟蛾未交配雌蛾对碧玉杨、欧美杨108挥发物提取液同样存在趋向性,二者之间无显著差异( $P < 0.05$ ,下同),二者与其余寄主差异显著,214杨与对照存在显著差异。图5表明:交配后

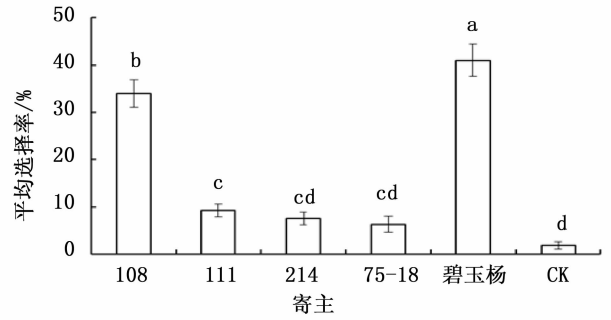


图2 交配未产卵雌蛾寄主选择率

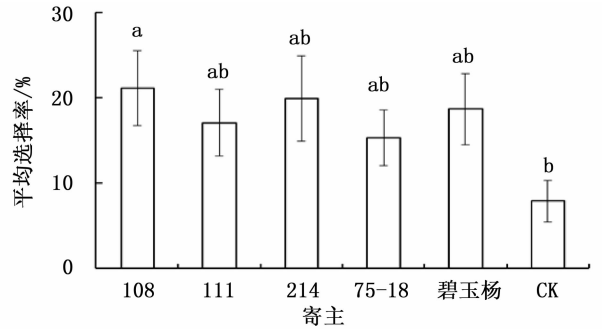


图3 未交配雄蛾寄主选择率

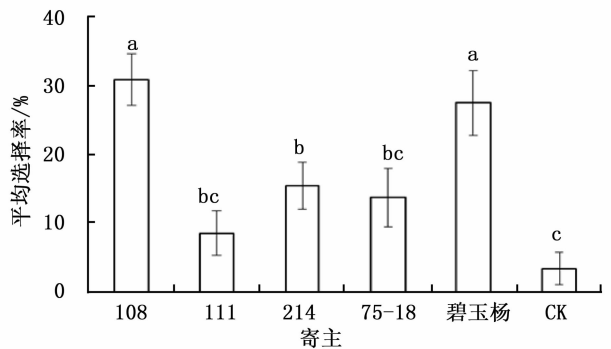


图4 未交配雌蛾对寄主挥发物提取液的选择率

未产卵的雌蛾对欧美杨108、碧玉杨挥发物提取液存在最强趋向性,二者与其余寄主差异显著,111杨、214杨与对照差异显著,75-18杨与对照差异不显著。图6表明:未交配的雄蛾对所有寄主的趋向性无显著差异。

### 2.3 杨小舟蛾对5种黑杨及其挥发物提取液趋性差异比较

杨小舟蛾寄主选择性试验总计处理各类成虫1350头,总共有506头对5种待测黑杨寄主做出了选择,其中,交配后未产卵雌蛾263头,占选择总虫数的51.98%;未交配雌蛾157头,占选择总虫数的31.03%;未交配雄蛾对寄主做出选择的虫数最少仅为86头,占选择总虫数的17.00%。试验结果(图

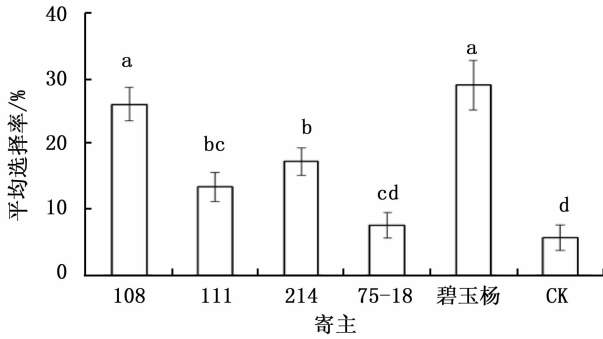


图5 交配未产卵雌蛾对寄主挥发物提取液的选择率

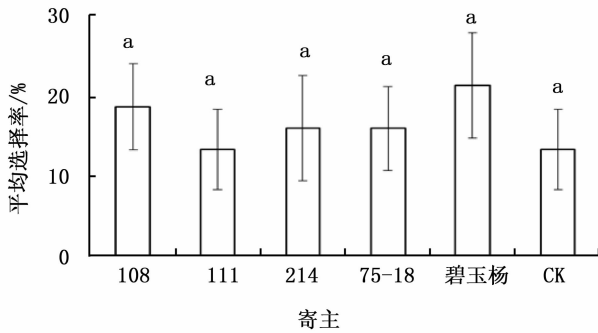


图6 未交配雄蛾对寄主挥发物提取液的选择率

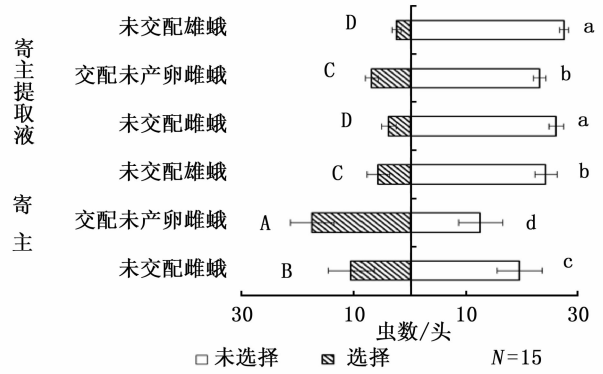
7)表明:3个处理间平均寄主选择虫数差异显著 ( $P < 0.05$ ,下同)。

杨小舟蛾寄主挥发物提取液选择性试验总计处理各类成虫1350头,总共有198头对5种待测黑杨寄主挥发物提取液做出了选择,其中,交配后未产卵雌蛾103头,占选择总虫数的52.02%;未交配雌蛾58头,占选择总虫数的29.29%;未交配雄蛾对寄主提取液做出选择的虫数最少,仅为37头,占选择总虫数的18.69%。试验结果(图7)表明:交配后未产卵雌蛾对寄主提取液的平均选择虫数显著高于未交配雌蛾和雄蛾。

图8表明:在寄主选择试验中每次重复平均有  $(33.67 \pm 6.10)$  头杨小舟蛾对寄主做出趋向选择,在寄主挥发物提取液选择试验中有  $(13.20 \pm 1.82)$  头杨小舟蛾可以对寄主挥发物提取液做出趋向选择,该虫对寄主及挥发物的平均选择总数存在极显著差异。

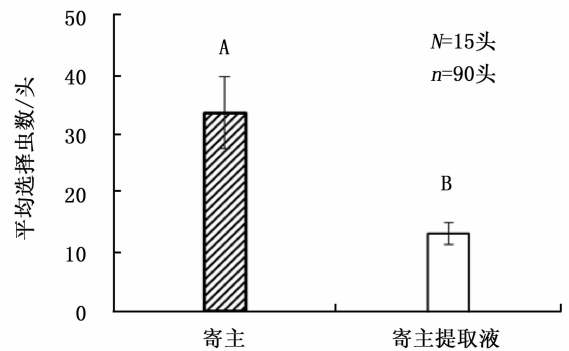
### 2.4 杨小舟蛾产卵寄主选择

表1表明:杨小舟蛾对5种黑杨派无性系的产卵选择行为不同,各处理平均卵块数存在差异,平均卵块数由多至少依次为:75-18杨 > 214杨 > 111杨 > 108杨 > 碧玉杨,5个处理与对照的差异显著



不同大(小)写字母表示各(未)选择处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )

图7 杨小舟蛾对寄主及提取液的平均选择数量



不同大写字母表示处理间差异极显著 ( $P < 0.01$ )

图8 杨小舟蛾对寄主及寄主提取液的平均选择虫数

( $P < 0.05$ ,下同);各处理单卵块平均卵粒数也存在差异,由多至少依次为:碧玉杨 > 108杨 > 214杨 > 75-18杨 > 111杨,碧玉杨、108杨处理与其他处理间差异显著,其余处理间差异不显著;各处理间平均卵粒总量差异显著,碧玉杨、108杨显著高于其余处理,所有处理与对照的差异显著。另外,统计得出每头雌蛾平均产卵块为  $1.23 \text{ 块} \cdot \text{头}^{-1}$ 。

表1 杨小舟蛾产卵选择数据分析

处理	株平均卵块数/块	单卵块平均卵粒数/粒	株平均卵粒总量/粒
108	1.73 ± 0.71 bc	22.07 ± 11.08 a	33.00 ± 8.42 a
111	2.27 ± 0.96 ab	12.51 ± 6.88 b	23.60 ± 6.83 b
214	2.33 ± 0.82 a	13.57 ± 7.70 b	27.27 ± 7.87 ab
75-18	2.40 ± 0.74 a	12.98 ± 6.50 b	29.00 ± 13.03 ab
碧玉杨	1.40 ± 0.63 c	27.19 ± 14.15 a	33.73 ± 13.07 a
CK	0.40 ± 0.63 d	12.10 ± 3.21 b	4.93 ± 8.26 c
其他	26.33	6.83	6.94

注:表中各处理的重复均为15次;不同小写字母表示同列处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

### 3 结论与讨论

多数植食性昆虫利用触角的嗅觉感器捕捉寄主散发的化学物质来发现适合于自己的寄主,关于植物挥发性信息化合物对昆虫行为的影响及其作用机理已有报道,明确了植物挥发性气味及次生代谢物在昆虫的寄主定向、产卵等行为中发挥着重要作用<sup>[4,12-14]</sup>。

本文对杨小舟蛾的寄主选择行为研究表明:交配后未产卵的雌蛾对试验所选取的5种黑杨派无性系样本的趋向性不同,具体表现为对碧玉杨、108杨较强的趋向性,对另外3种样本的趋性较弱;通过寄主挥发物提取液选择性试验也发现相同的选择差异性,表明植物挥发性气味及次生代谢物质在该虫选择寄主过程中起着某种信号作用,同时表明嗅觉在该虫选择寄主过程中发挥着重要作用。5种黑杨派无性系样本及其挥发物提取液对杨小舟蛾的不同引诱效果表明:5种样本除外在形状、颜色的差异外其所释放的挥发性信息化合物在组分类型、组分配比上有可能存在差异,因此,利用GC-MS、GC等分析手段,并结合电生理(Eag、GC-Ead)及生物学测定,分析哪些成分对该虫具有引诱活性需在以后的试验中加以完成。

不同性别、不同生理状态的成虫对5种寄主的趋向性也存在差异。雌性个体无论是否交配均表现出对5种样本的选择差异性,而雄性个体则未表现出这种差异性选择,该结论在寄主选择和挥发物提取液选择试验中均得到证实。雌性未交配与交配后不同处理间虽然表现出相同的寄主选择性,但统计结果表明:在相同处理虫数条件下,有更多的交配后雌蛾对寄主做出了选择;与未交配雌蛾相比,交配后的雌蛾可能面临比未交配雌蛾更大的生殖压力,随着时间的推移,昆虫由于怀卵量增大而倾向付出更多的行动为下一代找孵化、取食的场所,对于在寻找寄主阶段所面临的多种寄主时其所做出的选择可能是最准确的<sup>[15-18]</sup>。许多植食性昆虫的生殖行为与寄主植物的挥发性化学物质有密切的联系,该类昆虫通常在寄主植物上相遇、求偶和交配,它们的交配行为完全或主要在寄主植物上进行,而两性相遇的场所又集中在对雌虫更有吸引力的地方,雌虫也往往在寄主植物存在时才出现生殖行为,如松墨天牛(*Monochamus alternatus* (Hope))雌雄成虫通过寄主植物的挥发性萜烯类化合物来寻找寄主完成求偶交

配行为<sup>[19]</sup>;某些情况下昆虫只有在寄主挥发性物质刺激下才会成功交配,如天蚕蛾科(Saturniidae)的雌蛾必须在受到红橡树叶气味刺激下才会求偶<sup>[3-4]</sup>。雄蛾无论对寄主还是挥发物提取液均未对5种寄主表现出选择的差异性,且多数处理与对照的选择率差异性并不显著,由此可以推测,雄性个体可能并不是依赖寄主挥发性气味进行寄主定位或没有寻找并定位寄主。对于雄性个体而言其在该生理阶段主要目的是寻找配偶完成交配,使自身遗传因子得以延续,对寄主定位可以使其增大寻找配偶的可能性,然而对于鳞翅目昆虫雄性主要还是依靠雌性所释放的性信息素进行生殖定位<sup>[20-23]</sup>。

杨小舟蛾对寄主和寄主挥发物提取液的趋性程度存在差异,其对寄主的选择性更强。植食性昆虫选择寄主植物的行为是一个连续行为过程,昆虫首先通过嗅觉感器感知植物气味,经过神经判定后做出趋向或逃避反应,然而某些昆虫在靠近寄主的过程中视觉刺激反应强烈,如利用香芹酮通过改变诱捕器颜色诱捕胡萝卜蚜的试验表明,视觉在该虫寻找寄主过程中起一定作用<sup>[24]</sup>。因此可以推断,本试验中挥发物提取液比寄主诱虫少的原因也有可能是诱源形状、颜色差异造成的。

本试验对平均卵块总量、各处理平均卵块数量、平均卵粒数量及平均卵粒总量的统计分析表明:交配后的雌蛾在5种寄主上的平均卵块数量、平均卵粒总量全部显著大于对照,同时5种寄主处理间产卵选择也存在差异,在碧玉杨上的平均卵块数量最少,但其单卵块平均卵粒数、平均卵粒总数最高。利用哪种指标来判定昆虫对植物的寄主产卵选择对于不同昆虫有着不同的分析方法,Wills<sup>[25]</sup>和Schurr等<sup>[26]</sup>,通过计算总卵块数比较寄主选择性的差异;Hideo等<sup>[27]</sup>、Hughes等<sup>[28]</sup>和Riggin等<sup>[29]</sup>对小菜蛾(*Plutella xylostella* (L.)),王宏媛等<sup>[30]</sup>对外来广聚萤叶甲(*Ophraella communa* (LeSage))的分别研究则依据平均卵粒数量评判昆虫的寄主产卵选择性。本文利用平均卵粒数量来判定寄主产卵选择性的结果表明:杨小舟蛾对碧玉杨的寄主产卵选择性最强,108杨次之,此结果与寄主停靠选择的结果一致。寄主植物的挥发性物质可刺激抱卵雌虫在寄主上的产卵行为已有报道,如柑橘属植物挥发性物质可刺激达摩凤蝶(*Papilio demoleus* (Linnaeus))出现产卵行为<sup>[31]</sup>、美洲棉铃虫(*Helicoverpa zea* (Boddie))对棉花、番茄所释放的化学气味也会产生产卵行为<sup>[32]</sup>。

在选择性最强的寄主碧玉杨上产卵表现出卵块数量少、但其单卵块平均卵粒数、平均卵粒总数显著高于其他寄主,由此本文推测,该虫在面对多种存有趋性差异的寄主时,较早选择了趋性较强寄主的雌蛾会在此类寄主上产下粒数较多的大卵块,晚些时候到来的雌蛾或许通过某种感应判断最优寄主的卵量饱和程度或其他不利因素,若其认为最优寄主已经饱和时可能会飞离,转而寻找其他寄主,而在同时面对几种趋性较弱寄主时该昆虫又可能采取另外一种策略,即将卵分散产在不同的处理或同一处理不同的叶片上,以降低子代孵化及以后所面临的风险,因而在该类寄主上卵块表现为数量多,单卵块平均卵粒数少,这种推测得到本试验的数据支持。同种个体对食物资源的竞争可导致各龄幼虫、蛹、成虫个体变小、体质量降低,成虫生殖力下降,从而降低适合度<sup>[33]</sup>,因而,雌蛾通过某种方式感知寄主信息,并避免在有同种卵的寄主上产卵。这种感知可以通过触觉得到的(如: Anbutsu 等<sup>[34]</sup>证实松天牛(*Monochamus alternatus* (Hope))以触角触摸的方式辨认产卵痕),但绝大多数是通过嗅觉进行感知的。如:Chiang<sup>[35]</sup>发现受到第 1 代玉米螟(*Ostrinia nubilalis* (Hübner))幼虫危害的玉米可使第 2 代成虫的产卵率降低, Renwick 等<sup>[36]</sup>证实粉纹夜蛾 1 龄幼虫及其虫粪可使怀卵成虫 3 d 不能产卵,并从虫粪中首次分离到了 ODP(产卵抑制信息素, Oviposition Detering Pheromone)。深入开展 ODP 的研究,对于揭示昆虫的产卵行为,分析昆虫与寄主植物的协同进化,发展新的害虫防治技术都有十分重要的价值。

## 参考文献:

- [1] 康 乐. 植物对昆虫的化学防御[J]. 植物学通报, 1995, 12(4): 22-27
- [2] 杜永均, 严福顺. 植物挥发性次生物质在植食性昆虫、寄主植物和昆虫天敌关系中的作用机理[J]. 昆虫学报, 1994, 37(2): 233-249
- [3] 杜家纬. 昆虫信息素及其应用[M]. 北京: 中国林业出版社, 1988
- [4] 杜家纬. 植物昆虫间的化学通讯及其行为控制[J]. 植物生理学报, 2001, 27(3): 193-200
- [5] Mitcheli E R, Tingle F C, Heath R R. Ovipositional responses of three *Heliothis* species (Lepidoptera: Noctuidae) to allelochemicals from cultivated and wild host plants[J]. Journal of Chemical Entomology, 1990, 16(6): 1817-1827
- [6] Binder B F, Robbins J C, Wilson R L. Chemically mediated oviposition behaviors of the European cornborer, *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Pyralidae) [J]. Journal of Chemical Entomology, 1995, 21(9): 1315-1327
- [7] Schoohoven L M, Jermy T, Van L J A. Insect-Plant Biology[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1988
- [8] Du J W. Current and future prospects for insect behavior modifying chemicals in China [J]. Agricultural Chemistry and Biotechnology, 2000, 43(4): 222-229
- [9] Nottingham S F. Host-plant finding in the cabbage root fly, *Delia radicum* (Diptera: Anthomyiidae) [J]. Journal of Insect Physiology, 1988, 34(2): 227-234
- [10] 武春生, 方承莱. 《中国动物志》(昆虫纲 鳞翅目 舟蛾科)[M]. 北京: 科学出版社, 2003
- [11] 萧刚柔. 中国森林昆虫(第二版)[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992: 1027
- [12] 樊 慧, 金幼菊, 李继泉, 等. 引诱植食性昆虫的植物挥发性信息化合物的研究进展[J]. 北京林业大学学报, 2004, 26(3): 76-81
- [13] 严善春, 张丹丹, 迟德富. 植物挥发性物质对昆虫作用的研究进展[J]. 应用生态学报, 2003, 14(2): 310-313
- [14] 姜永根, 程家安. 虫害诱导的植物挥发物: 基本特性, 生态学功能及释放机制[J]. 生态学报, 2000, 20(6): 1079-1106
- [15] Tumlinson J H, Turlings T C J, Lewis W J. The semiochemical complexes that mediate insect parasitoid foraging [J]. Agriculture Zoology Reviews, 1992, 5: 221-252
- [16] Takayashi J, Dicke M, Posthumus M A. Volatile herbivore-induced terpenoids in plant-mite interactions-variation caused by biotic and abiotic factors [J]. Journal of Chemical Entomology, 1994, 20(6): 1329-1334
- [17] Turlings T C J, Turlings T C, Loughrin J H, et al. How caterpillar-damaged plants protect themselves by attracting parasitic wasps [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 1995, 92(10): 4169-4174
- [18] Jaenike J. Host specialization in phytophagous insects [J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1990, 21: 243-273
- [19] Fan J T, Sun J H. Influences of host volatiles on feeding behaviour of the Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* [J]. Journal of Applied Entomology, 2006, 130(2): 238-244
- [20] Barclay H J, Judd G J R. Models for mating disruption by means of pheromone for insect pest control [J]. Population Ecology, 1995, 37(2): 239-247
- [21] Giebertowicz J M, Raina A K, Uebel E C, et al. Two-step regulation of sex-pheromone decline in mated gypsy moth females [J]. Insect Biochemistry and Physiology, 1991, 16(2): 95-105
- [22] McLaughlin J R, Mitchell E R, Kirsch P. Mating disruption of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) in cabbage reduction of mating and suppression of larval populations [J]. Journal of Economic Entomology, 1994, 87(5): 1198-1204
- [23] Wu H H, Huang M S, Wan P, et al. Emergence mating and oviposition behavior of the chinese population in pink bollworm *Pectinophora gossypiella* (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. Journal of Interactive Agriculture, 2013, 12(4): 653-662
- [24] Pettersson J. Studies on *Rhopalosiphum padi* (L.). Laboratory studies on olfactometric responses to winter host *Prunus padus* L. [J]. Lantbrukshogskolans annaler, 1970, 36: 381-399

- [25] Willis E R. Humidity reactions of *Tribolium castaneum* (Herbst) [J]. *Journal of Experimental Zoology*, 1950, 115(3): 561 – 581
- [26] Schurr K, Holdaway F G. Olfactory responses of female *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Pyraustinae) [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1970, 13(4): 455 – 461
- [27] Hideo U, Akira S. Possible role of cabbage leaf wax bloom in suppressing diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) oviposition [J]. *Applied Entomology and Zoology*, 1989, 24(3): 253 – 257
- [28] Hughes P R, Renwick J A A, Lopez K D. New oviposition stimulants for the diamondback moth in cabbage [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1997, 85(3): 281 – 283
- [29] Riggan B T M, Gould F, White C. Increased ovipositional attractancy to surfactant-treated broccoli by the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae): Tests of potential mechanisms [J]. *Journal of entomological science*, 1998, 33(3): 261 – 269
- [30] 王宏媛, 曹振军, 孟玲, 等. 豚草生育期和被利用状态对广聚萤叶甲产卵选择的影响 [J]. *生物安全学报*, 2011, 20(4): 305 – 309
- [31] 张庆贺, 姬兰柱. 植食性昆虫产卵的化学生态学 [J]. *生态学杂志*, 1994, 13(6): 39 – 43
- [32] Tingle F C, Heath R R, Mitchell E R. Flight response of *Heliothis subflexa* (Gn.) females (Lepidoptera: Noctuidae) to an attractant from groundcherry, *Physalis angulate* L. [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1989, 15(1): 221 – 231
- [33] 祝增荣, 程家安, 陈琇. 昆虫窝卵数: 现象及其解释 [J]. *大自然探索*, 1994, 13(3): 48 – 51
- [34] Anbutsu H, Togashi K. Oviposition deterrent by female reproductive gland secretion in Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus* [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2001, 27(6): 1151 – 1161
- [35] Chiang H C. Overwintering corn borer, *Ostrinia nubilalis*, larvae in storage cribs [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1964, 64(5): 666 – 669
- [36] Renwick J A A, Radke C D. Host plant constituents as oviposition deterrents for the *Cabbage looper*, *Trichoplusia* [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1981, 30(2): 201 – 204