



杨梅果实成熟度及挥发物对斑翅果蝇定向行为的影响*

刘 燕^{1,4**} 谢冬生² 胡纯华³ 陈 立⁴ 肖 春^{1***}

(1. 云南农业大学植物保护学院, 昆明 650201; 2. 农业部对外经济合作中心, 欧洲合作处, 北京 100125; 3. 云南农业大学职业与继续教育学院, 昆明 650201; 4. 中国科学院动物研究所农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100101)

摘 要 【目的】杨梅 *Myrica rubra* 作为中国特有的水果, 是斑翅果蝇 *Drosophila suzukii* Matsumura 的主要寄主之一, 且受其危害严重。通过室内测定不同成熟度杨梅果实及其挥发物对斑翅果蝇定向行为的影响, 明确不同成熟度杨梅果实及其挥发物在斑翅果蝇寄主定向中的作用。【方法】利用动态顶空吸附法提取不同成熟度的杨梅果实挥发物, 并用 Y-型嗅觉仪测定斑翅果蝇对不同成熟度杨梅果实及其挥发物的嗅觉反应。【结果】杨梅果实成熟度愈高, 其 pH 值和糖度值愈高、酸度值愈低; 成熟杨梅果实对斑翅果蝇已交配雌虫和未交配雌虫引诱效果极显著 ($P < 0.01$), 半熟杨梅和生杨梅果实对斑翅果蝇未交配雌虫引诱效果极显著 ($P < 0.01$)。对已交配雌虫引诱效果显著 ($P < 0.05$); 3 种成熟度杨梅果实对斑翅果蝇雌虫 (已交配或未交配) 引诱效果均表现为: 成熟杨梅果实 > 半熟杨梅果实 > 生杨梅果实; 成熟杨梅果实挥发物对斑翅果蝇已交配雌虫和未交配雌虫引诱效果显著 ($P < 0.05$), 半熟杨梅和生杨梅果实挥发物对斑翅果蝇未交配雌虫引诱效果显著 ($P < 0.05$), 但对已交配雌虫引诱效果不显著 ($P > 0.05$)。【结论】不同成熟度杨梅果实及其挥发物对斑翅果蝇的定向行为有重要的影响。

关键词 斑翅果蝇, 杨梅, 果实挥发物, 定向反应

The orientation behavior of *Drosophila suzukii* is influenced by the fruits and the volatiles of Chinese bayberries at different stages of ripeness

LIU Yan^{1, 4**} XIE Dong-Sheng² HU Chun-Hua³ CHEN Li⁴ XIAO Chun^{1***}

(1. Plant Protection College, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2. Division of European Affairs, Foreign Economic Cooperation Center Ministry of Agriculture, China-EU Center for Agriculture Technology, Beijing 100125, China;

3. College of Continuing Education and Vocational Education, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

4. State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology,

Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract 【Objectives】In China, the Chinese bayberry is an important host-plant of the spotted wing *Drosophila* (SWD), *Drosophila suzukii*, and bayberry crops sustain severe damage from this fly. Orientation behavior of SWD to the fruits and volatiles of Chinese bayberry was tested in a laboratory to clarify the role of volatiles from Chinese bayberry fruits at different stages of ripeness on host location by SWD. 【Methods】Volatiles of Chinese bayberry fruits at different stages of ripeness were collected using the dynamic head space method, and the olfactory responses of *D. suzukii* to Chinese bayberry fruits and their volatiles were tested in a Y-tube olfactometer under laboratory conditions. 【Results】The pH value and sugar

*资助项目 Supported projects: 欧洲果树主要病虫害的高效实用创新型综合治理技术和策略项目 (Dropsa, 613678)

**第一作者 First author, E-mail: lyliuyan87@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: x.chun@163.com

收稿日期 Received: 2017-06-13, 接受日期 Accepted: 2017-10-08

content of bayberries increased, and the acid value decreased, with ripening. Ripe bayberries significantly attracted both mated and virgin females ($P < 0.01$), whereas half-ripe and unripe bayberries significantly attracted virgin ($P < 0.01$) and mated females ($P < 0.05$), respectively. Bayberries can be ranked in descending order of attractiveness to SWD as follows: ripe > half-ripe > unripe. The volatiles from ripe bayberries significantly attracted both virgin and mated females ($P < 0.05$), whereas those from half-ripe and unripe bayberries significantly attracted virgin females ($P < 0.05$). There was no significant difference in the attractiveness of these different bayberry volatiles to mated females ($P > 0.05$). [Conclusion] The ripeness of Chinese bayberries, and the volatiles produced by them at different stages of ripeness, affects their attractiveness to mated and virgin *D. suzukii* females.

Key words spotted wing *Drosophila*, *Drosophila suzukii*, Chinese bayberry, *Myrica rubra*, volatiles from fruits, orientation behavior

昆虫利用多感觉通道 (Multi-modality) 进行搜寻食物、交配、聚集和产卵等行为, 在不同的生理、生态和其他外部环境中, 各感觉通道有不同的分工。嗅觉反应在昆虫对寄主的定向行为中最为关键, 其重要性在远距离飞行定向行为中尤为明显 (Bruce *et al.*, 2005)。

斑翅果蝇 *Drosophila suzukii* Matsumura 只危害新鲜果实, 这与其他腐生性果蝇危害腐烂或发酵的果实的习性不同。斑翅果蝇幼虫可蛀入水果内, 对果肉组织进行取食, 使水果失去食用价值, 从而造成经济损失。斑翅果蝇起源于东南亚 (Hauser, 2011), 并分别于 2007 年和 2008 年入侵到北美和欧洲, 在当地迅速成为危害性极强的入侵害虫, 目前已在北美 (Hauser, 2011)、欧洲 (Calabria *et al.*, 2012; Cini *et al.*, 2012) 等地区迅速蔓延, 造成了巨大的经济损失。

气味源能够引起果蝇进行定向飞行 (Budick and Dickinson, 2006), 同时能够增加果蝇的飞行动力 (Chow and Frye, 2008); 气流消失则会引起果蝇飞行混乱 (Budick and Dickinson, 2006), 因此嗅觉在果蝇食物搜寻行为中具有重要的作用。目前利用果蝇嗅觉对其进行防治的方法已被广泛应用 (Birmingham *et al.*, 2011; Cha *et al.*, 2012), 冯波等 (2013) 利用杨梅和橘子为引诱物, 在室内条件下测定了嗅觉和视觉信号对黑腹果蝇 *Drosophila melanogaster* 的引诱效果, 结果发现嗅觉信号诱集到的果蝇数量显著多于对照和视觉信号诱集的果蝇数量, 进一步证实了果蝇能够利用单独的嗅觉气味进行食物搜寻。Revadi 等 (2015) 利用 Y-型嗅觉仪分别测定了

树莓、黑莓、樱桃、蓝莓和草莓完整果实对斑翅果蝇的引诱效果, 结果表明, 这几种寄主果实对斑翅果蝇的引诱效果非常显著。

杨梅作为斑翅果蝇在中国的主要寄主之一 (伍苏然等, 2007), 广泛种植于长江流域 (Cheng *et al.*, 2008; Kang *et al.*, 2012)。杨梅果实成熟期主要集中于 5、6 月份, 此时其种植区域的温、湿度均适宜斑翅果蝇的繁殖发育, 这为斑翅果蝇在杨梅果实上繁殖为害提供了有利的气候条件。田间调查发现, 杨梅园内斑翅果蝇种群数量随果实成熟率上升而增加, 且果实被危害率也随之升高, 最严重时可达 100%。

目前对杨梅果实在斑翅果蝇寄主定位行为中的作用尚不清楚。本实验旨在利用 Y-型嗅觉仪, 在室内测试不同成熟度杨梅果实及其挥发物对斑翅果蝇的寄主定向反应, 以期推测杨梅果实及其挥发物在斑翅果蝇寄主定向过程中的作用。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

斑翅果蝇于 2016 年 5—6 月份采集于云南省昆明市杨梅 *Myrica rubra* (Lour. S. et Zucc.) 果实中, 室内饲养 (24 ± 1) °C, L:D=14:10 (L: 6:30—20:30, D: 20:30—次日 6:30), 60%~70% RH。实验室斑翅果蝇种群使用水果与人工饲料 (吴军等, 2013) 交替饲养, 嗅觉反应的斑翅果蝇种群由人工饲料饲养 2~3 代后备用 (刘燕等, 2017), 实验于 2016 年 5—6 月进行。

将斑翅果蝇蛹分别单装于玻璃瓶 ($h \times \varphi = 50 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$) 中, 待其羽化后第 2 天作为未

交配雌虫进行嗅觉选择实验。

将正常饲养新羽化的成虫(雌雄)置入交配笼中(20 cm × 20 cm × 20 cm),待羽化后第5天进行嗅觉测试实验,实验结束对斑翅果蝇雌虫进行解剖,观察卵巢状态,判断斑翅果蝇雌虫是否交配。

1.2 实验材料

杨梅园中新鲜采摘的不同颜色的杨梅(绿色、红色、紫红色),通过对其 pH 值、糖度值、酸度值的测定结果界定成熟度。

1.3 研究方法

杨梅的成熟度将根据果实颜色(绿色、红色、紫红色)及其 pH 值、糖度值和酸度值来界定,将颜色一致的杨梅进行分类,然后进一步测定。

1.3.1 不同杨梅果实 pH 值、糖度值及酸度值测定 选取颜色相同的杨梅去核后称重(绿色杨梅,82.6 g;红色杨梅,85.1 g;紫红色杨梅,87.3 g),用研钵研碎后,再用处理的干净纱布过滤,收集 100 mL 杨梅汁于锥形瓶(100 mL)中待用。然后在 8 000 r/min 条件下离心,取上清液测定相应指标。

pH 值测定: 每组分别取 30 mL 上清液转移至 50 mL 烧杯中,采用 pH 计测定溶液 pH 值,连续测试 3 次,每次测定前摇匀,结果取平均值,每组分别重复 3 次。

糖度的测定: 参照 Widstrom 等(1988)的方法,用微量移液器量取 50 μ L 上清液,用手持糖度计(PAL-1,日本)测定其糖含量(Brix,%),每组分别重复 3 次。

可滴定酸含量测定: 参考曹建康等(2007)果蔬中可滴定酸含量的测定方法,吸取 20 mL 上清液,转入三角瓶,加入 2~3 滴 1%的酚酞指示剂,用已标定的氢氧化钠溶液进行滴定。滴定至溶液显粉色且 30 s 内不褪色即为终点,记录氢氧化钠滴定液的用量,重复 3 次测定平均值。同时用蒸馏水代替杨梅上清液进行滴定,作为空白,滴定酸度以苹果酸为当量酸计算(苹果酸当量折算系数为 0.067),测得不同杨梅的可滴定酸总量。

1.3.2 杨梅果实挥发物提取 将新采摘杨梅置于玻璃干燥器中($\phi \times h = 24 \text{ cm} \times 21 \text{ cm}$),用封口膜(Parafilm, 4IN.×125FT. ROLL, Bemis, USA)将玻璃干燥器的磨砂口处围绕密封。玻璃干燥器盖子上通入两根装有 500 mg 吸附剂(Porapak Type Q, 80~100 mesh, Waters)的巴斯德管,分别为过滤和吸附用。过滤用吸附柱用 Teflon 软管连接装有活性炭和硅胶的玻璃管,保证洁净空气的输入,吸附用吸附柱用 Teflon 管连接大气采样仪吸气孔(QC-IS 型,北京市劳动保护科学研究所)。调整气流为 500 mL/min,连续吸附 4 h,保持吸附环境无异味,且环境通风。待吸附结束,用 2 mL 正己烷(色谱纯,98.0%, Merck)洗脱至棕色样品瓶(4 mL)中,冰箱低温(-20°C)保存待用。

1.3.3 行为测定 利用 Y-型嗅觉仪对斑翅果蝇嗅觉反应进行测试:Y-型玻璃嗅觉仪主臂长 15 cm,侧臂长 10 cm,内经均为 2 cm;两侧臂间夹角为 30° ,且互相对称。两侧臂端为磨砂口,且分别接 100 mL 球形磨砂口容器,主臂端接一磨砂口转接头,然后用特氟龙软管连接大气采样仪,进行抽气处理。光强度:1 500 lx,流速:200 L/min,温度:(24 ± 1),湿度:60%~70% RH(刘燕等,2017)。

称取约 20 g 待测果实(完整),置入 Y-型嗅觉仪一侧臂球形瓶内,另一侧臂球形瓶内放置同等数量及重量的杨梅果实(保鲜膜包裹)作为对照,将 10 头斑翅果蝇雌成虫置于主臂端转接头内,在主臂端进行抽气(200 mL/min),15 min 后统计两侧臂成虫数量。重复 10 次。

量取 10 μ L 待测果实挥发物滴于圆形滤纸片($\phi = 1.5 \text{ cm}$)上,置入 Y-型嗅觉仪一侧臂球形瓶内,另一侧臂球形瓶置入滴有等量正己烷的同样大小的滤纸片,将 10 头斑翅果蝇雌成虫置于主臂端转接头内,在主臂端进行抽气(200 mL/min),15 min 后统计两侧臂成虫数量。重复 10 次。

1.4 数据处理

用卡方检验($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)对处理组及对照组数据进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 杨梅果实 pH 值、糖度值和酸度值测试

3 种不同颜色的杨梅果实, pH 值均小于 3, 表明杨梅果实均呈酸性。当杨梅果实颜色加深, 其 pH 值上升、糖度值增大、总酸度值降低(表 1)。这表明杨梅果实颜色愈深, 成熟度愈高。因此我们根据测定结果将绿色杨梅、红色杨梅、紫红色杨梅分别定义为生杨梅、半熟杨梅、成熟杨梅。

表 1 3 种不同颜色杨梅果实 pH 值, 糖度值, 总酸度测定
Table 1 pH value, sugar value and acid value of Chinese bayberries at different colour

不同颜色杨梅 Bayberries at different colour	pH 值 pH value	糖度值 Sugar value	总酸度 Acid value (acid-base titration)	
			总酸度值 Acid value	可滴定酸含量(%) Titratable acid content (%)
绿色 Green	2.30 ± 0.02	9.52 ± 0.50	16.61 ± 0.30	3.37
红色 Red	2.49 ± 0.04	10.83 ± 0.32	10.57 ± 0.12	2.08
紫红色 Purple-red	2.84 ± 0.02	13.82 ± 0.31	6.10 ± 0.21	1.17

NaOH 的摩尔浓度为 0.05 mol/L, 可滴定酸以苹果酸为当量折算系数(0.067)。100 mL 杨梅汁分别来源于不同重量的杨梅: 绿色杨梅(82.6 g); 红色杨梅(85.1 g); 紫红色杨梅(87.3 g)。Molar concentration of NaOH is 0.05 mol/L, Titratable acid was equivalent conversion coefficient by malic acid (0.067). One hundred mL bayberry juice came from bayberries at different colour as below: green bayberries (82.6 g), red bayberries (85.1 g), and purple-red bayberries (87.3 g).

2.2 不同成熟度杨梅果实对斑翅果蝇定向反应的影响

84%的斑翅果蝇未交配雌虫对成熟杨梅果实做出反应, 且选择杨梅果实的果蝇数量显著高于对照组; 72%的斑翅果蝇已交配雌虫对成熟杨梅果实做出反应, 且反应雌虫全部选择成熟杨梅果实。结果表明, 成熟杨梅果实对斑翅果蝇已交配雌虫和未交配雌虫均具有显著的引诱效果($P < 0.01$)(图 1)。

89%的斑翅果蝇未交配雌虫对半熟杨梅果实做出反应, 且选择杨梅的果蝇数量极显著高于对照组($P < 0.01$)。只有 54%的已交配雌虫对半熟杨梅果实做出反应, 且选择杨梅的果蝇数量显著高于对照组($P < 0.05$)(图 2)。

78%的斑翅果蝇未交配雌虫对生杨梅果实做出反应, 且选择杨梅的果蝇数量显著高于对照组($P < 0.01$)。只有 47%的已交配雌虫对生杨梅果实做出反应, 且选择杨梅的果蝇数量显著高于对照组($P < 0.05$)(图 3)。

斑翅果蝇已交配雌虫对不同成熟度杨梅果实的嗅觉反应结果为: 成熟杨梅>半熟杨梅>生杨梅(图 4)。

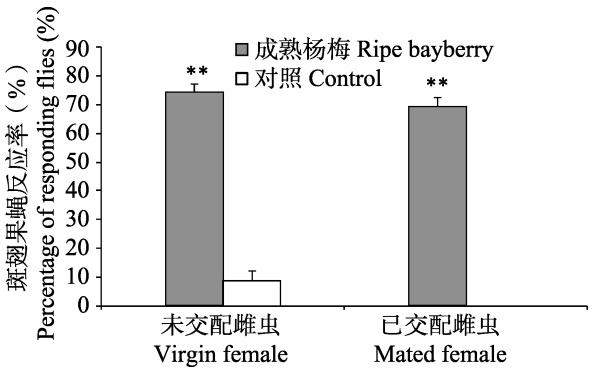


图 1 斑翅果蝇雌虫对成熟杨梅果实的定向反应
Fig. 1 Olfactory responses of female *Drosophila suzukii* to ripe bayberry fruits in Y-tube

柱上标有**代表在 0.01 水平下, 不同处理间存在极显著差异, *代表在 0.05 水平下存在显著差异, ns 代表不存在显著差异($P > 0.05$)。下同。

** and * indicate significant difference at level of 0.01 and 0.05, ns indicate no significant difference ($P > 0.05$). The same below.

斑翅果蝇未交配雌虫对不同成熟度杨梅果实的选择反应表现为: 成熟杨梅>半熟杨梅>生杨梅(图 5)。

2.3 不同成熟度杨梅果实挥发物对斑翅果蝇定向反应的影响

对成熟杨梅果实挥发物做出选择的斑翅果

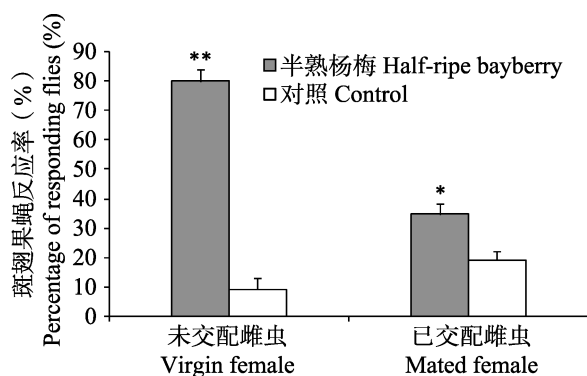


图 2 斑翅果蝇雌虫对半熟杨梅果实的定向反应
Fig. 2 Olfactory responses of female *Drosophila suzukii* to half-ripe bayberry fruits in Y-tube

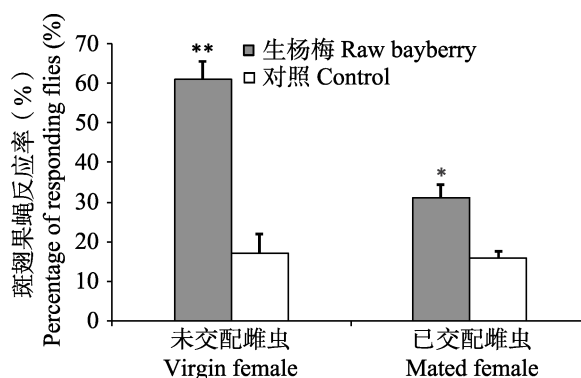


图 3 斑翅果蝇雌虫对生杨梅果实的定向反应
Fig. 3 Olfactory responses of female *Drosophila suzukii* to raw bayberry in Y-tube

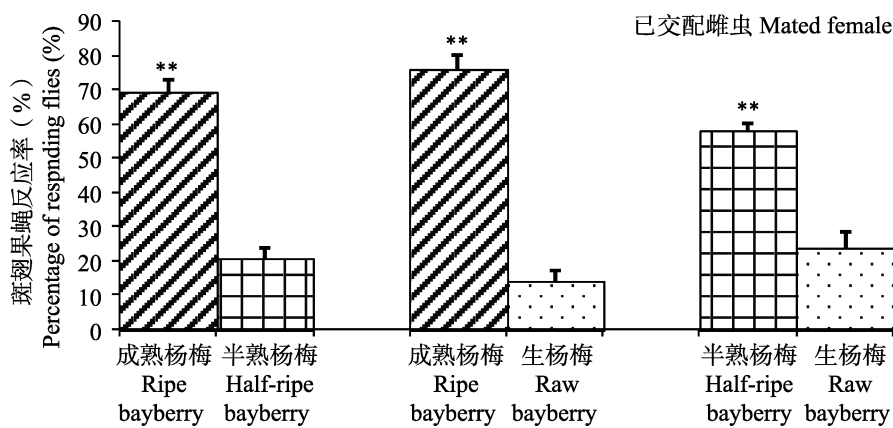


图 4 斑翅果蝇已交配雌虫对不同成熟度杨梅的定向选择反应

Fig. 4 Olfactory choices of mated female *Drosophila suzukii* to bayberries at different ripening stages in Y-tube

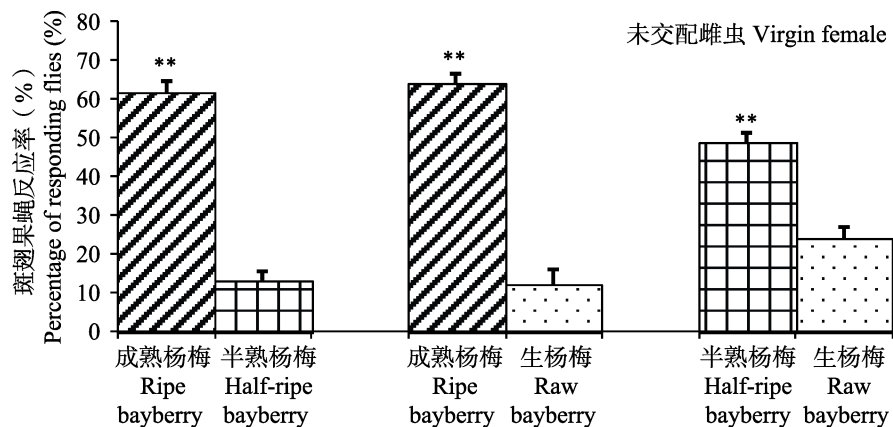


图 5 斑翅果蝇未交配雌虫对不同成熟度杨梅的定向选择反应

Fig. 5 Olfactory choices of virgin female *Drosophila suzukii* to bayberries at different ripening stages in Y-tube

蝇已交配雌虫及未交配雌虫反应率分别为 79% 和 73%, 且选择杨梅果实挥发物的果蝇数量均极显著高于对照组 ($P < 0.01$) (图 6)。

对半熟杨梅果实挥发物做出选择的斑翅果蝇未交配雌虫及已交配雌虫反应率分别为 82%

和 51%。选择半熟杨梅果实挥发物的斑翅果蝇未交配雌虫数量极显著高于对照组 ($P < 0.01$); 选择半熟杨梅果实挥发物的已交配雌虫数量与对照组不存在显著差异 ($P > 0.05$) (图 7)。

分别有 74% 和 44% 的斑翅果蝇未交配雌虫

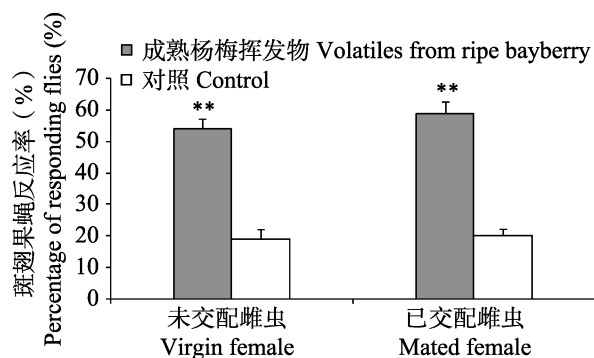


图 6 斑翅果蝇雌虫对成熟杨梅果实挥发物的嗅觉反应
Fig. 6 Olfactory responses of female *Drosophila suzukii* to volatiles from ripe bayberries in Y-tube

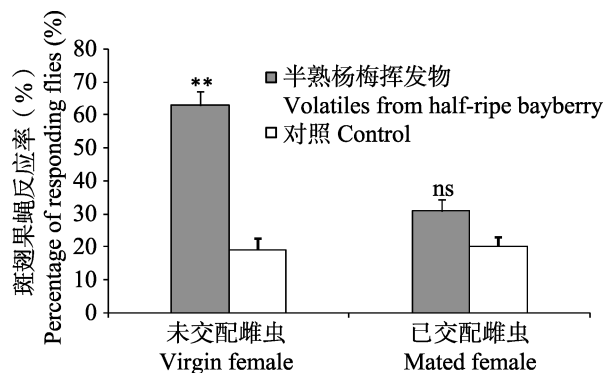


图 7 斑翅果蝇雌虫对半熟杨梅果实挥发物的定向反应
Fig. 7 Olfactory responses of female *Drosophila suzukii* to the volatiles from half-ripe bayberries in Y-tube

和已交配雌虫对生杨梅果实挥发物做出选择反应。且选择生杨梅果实挥发物的斑翅果蝇未交配雌虫极显著多于对照组 ($P < 0.01$)。选择生杨梅果实挥发物的已交配雌虫数量与对照组不存在显著差异 ($P > 0.05$) (图 8)。

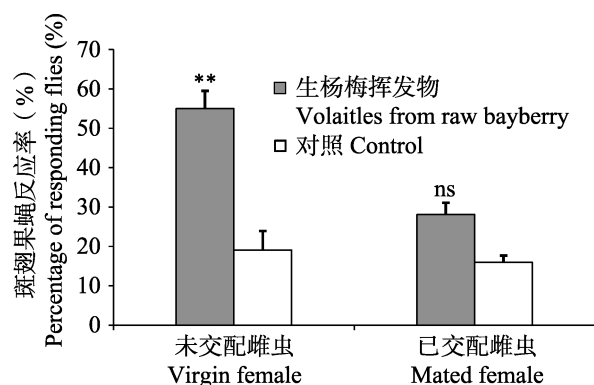


图 8 斑翅果蝇雌虫对生杨梅果实挥发物的嗅觉反应
Fig. 8 Olfactory responses of female *Drosophila suzukii* to the volatiles from raw bayberries in Y-tube

3 讨论

昆虫可通过对特殊气味的专一性寻找食源、逃避天敌、选择交配场所和产卵场所来繁衍后代 (Cha *et al.*, 2012)。植物挥发物在植食性昆虫对寄主植物的远距离寻找定位中起着非常重要的作用 (戴建青等, 2010), 植物挥发性物质还决定了昆虫在对寄主植物进行定位后是否在寄主植物上降落, 最终植物非挥发性化学组分和挥发性化学组分共同决定昆虫是否对该寄主植物进行选择 (骆亚琴等, 2015)。植食性昆虫通过

识别植物挥发物的特定组分或常见组分的特定比例来识别寄主植物, 进而对寄主植物作出特定的行为选择 (李小珍等, 2007)。果蝇同样是依靠嗅觉系统完成寄主定位, 并对取食和产卵场所进行定位 (Keesey *et al.*, 2015)。

杨梅果实及其挥发物均对斑翅果蝇雌虫具有显著的引诱效果, 即杨梅果实及其挥发物在斑翅果蝇寻找寄主过程中发挥着非常重要的作用。杨梅愈成熟, 其果实颜色愈深, 且 pH 值、糖度值愈高, 酸度值愈低, 且对斑翅果蝇的引诱效果表现为: 成熟杨梅 > 半熟杨梅 > 生杨梅。最优觅食理论指出动物应在投资最小和收益最大的情况下进行觅食或改变觅食行为, 从而获取最大适合度, 存在对生境斑块或食物类型等选择上存在倾向性 (郑金土等, 2015)。斑翅果蝇对不同成熟度杨梅气味的选择性与最优觅食理论预测相符。

成熟杨梅果实及其挥发物均对斑翅果蝇已交配雌虫和未交配雌虫具有显著的引诱效果, 但半熟杨梅和生杨梅的果实及其挥发物只对未交配雌虫具有显著的引诱效果, 而对已交配雌虫则不具有显著的引诱效果。在室内, 杨梅可通过释放不同种类及含量的挥发物影响斑翅果蝇的定向反应; 自然界中, 杨梅植株通过颜色、气味等远距离引诱斑翅果蝇成虫, 斑翅果蝇在靠近杨梅植株一定距离后则利用其触角对寄主进行识别和定位 (Finch and Collier, 2000)。成熟杨梅硬度最低, 最适宜斑翅果蝇进行取食, 另外还适宜

其进行产卵；而半熟杨梅和生杨梅硬度较强，不适宜斑翅果蝇产卵。因此成熟杨梅对已交配及未交配雌虫均具有显著的引诱效果；半熟杨梅和生杨梅仅能引诱未交配雌虫前来取食，对已交配雌虫则不具有显著的引诱效果。

另外，常见水果挥发物中主要含有萜烯类物质(田厚军等, 2012)。我们对挥发物进行 GC-MS 鉴定发现：成熟杨梅果实挥发物中主要有 21 种酯类物质及 19 种萜烯类物质；而半熟杨梅果实挥发物中主要有 18 种萜烯类物质而仅有 1 种酯类物质；生杨梅果实挥发物中主要有 14 种萜烯类而没有脂类物质(刘燕, 2017)。3 种成熟度的杨梅果实及其挥发物对斑翅果蝇的未交配雌虫均具有引诱效果，而成熟杨梅对斑翅果蝇已交配雌虫的引诱效果显著高于半熟杨梅和生杨梅。据此我们推断，斑翅果蝇在进行寄主定位行为时主要受到寄主植物中萜烯类物质的影响；而在寻找产卵场所时则主要受到寄主植物中酯类物质或者酯类及萜烯类物质的共同影响。

参考文献 (References)

- Birmingham AL, Kovacs E, Lafontaine JP, Avelino N, Borden JH, Andreller IS, Gries G, 2011. A new trap and lure for *Drosophila melanogaster* (Diptera: Drosophilidae). *Journal of Economic Entomology*, 104(3): 1018–1023.
- Bruce TJA, Wadhams LJ, Woodcock CM, 2005. Insect host location: a volatile situation. *Trends in Plant Science*, 10(6): 269–274.
- Budick SA, Dickinson MH, 2006. Free-flight responses of *Drosophila melanogaster* to attractive odors. *Journal of Experimental Biology*, 209(15): 3001–3017.
- Calabria, Máca J, Bächli G, Serra L, Pascual M, 2012. First records of the potential pest species *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in Europe. *Journal of Applied Entomology*, 136(1/2): 139–147.
- Cao JK, Jiang WB, Zhao YH, 2007. Experiment Guidance of Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables. Beijing: China Light Industry Press. 28–30. [曹建康, 姜微波, 赵玉梅, 2007. 果蔬采后生理生化实验指导. 北京: 中国轻工业出版社. 28–30.]
- Cha DH, Adams T, Rogg H, Landolt PJ, 2012. Identification and field evaluation of fermentation volatiles from wine and vinegar that mediate attraction of spotted wing drosophila, *Drosophila suzukii*. *Journal of Chemical Ecology*, 38(11): 1419–1431.
- Cheng J, Ye X, Chen J, Liu D, Zhou S, 2008. Nutritional composition of underutilized bayberry (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.) kernels. *Food Chemistry*, 107: 1674–1680.
- Chow DM, Frye MA, 2008. Context-dependent olfactory enhancement of optomotor flight control in *Drosophila*. *Journal of Experimental Biology*, 211(15): 2478–2485.
- Cini A, Lorientti C, Anfora G, 2012. A review of the invasion of *Drosophila suzukii* in Europe and a draft research agenda for integrated pest management. *Bulletin of Insectology*, 65(1): 149–160.
- Dai JQ, Han SC, Du JW, 2010. Progress in studies on behavioural effect of semiochemicals of host plant to insects. *Journal of Environmental Entomology*, 32(3): 407–414. [戴建青, 韩诗晴, 杜家纬, 2010. 植物挥发性信息化学物质在昆虫寄主选择行为中的作用. 环境昆虫学报, 32(3): 407–414.]
- Feng B, Wang X, Li Y, Zhu YJ, 2013. Synergistic effect of visual and olfactory cues in the food searching behavior of *Drosophila melanogaster*. *Acta Entomologica Sinica*, 56(7): 792–798. [冯波, 王霞, 李岩, 社永均, 2013. 视觉和嗅觉信号对果蝇食物搜寻行为的协同作用. 昆虫学报, 56(7): 792–798.]
- Finch S, Collier RH, 2000. Host-plant selection by insects—a theory based on ‘appropriate/inappropriate landings’ by pest insects of cruciferous plants. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 96(2): 91–102.
- Hauser, 2011. A historic account of the invasion of *Drosophila suzukii* (Matsumura) (Diptera: Drosophilidae) in the continental United States, with remarks on their identification. *Pest Management Science*, 67(11): 1352–1357.
- Kang W, Li Y, Xu Y, Jiang W, Tao Y, 2012. Characterization of aroma compounds in Chinese bayberry (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.) by gas chromatography mass spectrometry (GC-MS) and olfactometry (GC-O). *Journal of Food Science*, 77: C1030–C1035.
- Keeseey IW, Knaden M, Hansson BS, 2015. Olfactory specialization in *Drosophila suzukii* supports an ecological shift in host preference from rotten to fresh fruit. *Journal of Chemical Ecology*, 41(2): 121–128.
- Li XZ, Liu YH, He ZY, 2007. Taxis response and selective propensity of *Bactrocera tau* to six host fruits. *Chinese Bulletin*

- of *Entomology*, 44(1): 82–85. [李小珍, 刘映红, 贺智勇, 2007. 南亚果实蝇对六种果实的趋性和产卵选择性. 昆虫知识, 44(1): 82–85.]
- Liu Y, Xie DS, Zhang F, Zhang JP, Hu CH, Zhang JM, Xiong Y, Liu B, Dong WX, 2017. Oviposition preferences and reproductive success of *Drosophila suzukii* on 4 non-host fruits. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(1): 107–112. [刘燕, 谢冬生, 张峰, 张金平, 胡纯华, 张建梅, 熊焰, 刘冰, 董文霞, 2017. 斑翅果蝇对四种非寄主果实的产卵选择适应性. 应用昆虫学报, 54(1): 107–112.]
- Liu Y, 2017. Effect of volatiles from three host-plant fruits on the behaviours of *Drosophila suzukii*. Doctor dissertation. Kunming: Yunnan Agricultural University. [刘燕, 2017. 三种寄主植物挥发物对斑翅果蝇行为的影响. 博士学位论文. 昆明: 云南农业大学.]
- Luo YQ, Wu J, Liao TL, Han JH, Ji R, Zeng H, Shi ZH, Zhou R, 2015. The taxis and oviposition preference of *Drosophila suzukii*. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 43(7): 126–127. [骆亚琴, 吴军, 廖太林, 陈集翰, 纪睿, 曾虹, 师振华, 周锐, 2015. 斑翅果蝇的趋性和产卵选择性. 江苏农业科学, 43(7): 126–127].
- Revadi S, Vitagliano S, Rossi Stacconi MV, Ramasamy S, Mansourian S, Carlin S, Angeli S, 2015. Olfactory responses of *Drosophila suzukii* females to host plant volatiles. *Physiological Entomology*, 40(1): 54–64.
- Tian HJ, Chen YX, Wei H, Qiu LM, Liu QQ, Shi Y, Zhan ZX, 2012. Volatiles emitted by mango (*Mangifera indica*) plants and electrophysiological responses of *Chumetia transverse* to such volatiles. *Journal of Biosafety*, 21(2): 142–147. [田厚军, 陈艺欣, 魏辉, 邱良妙, 刘其全, 石妍, 占志雄, 2012. 芒果不同部位挥发物及横线尾夜蛾对其触角电位反应. 生物安全学报, 21(2): 142–147.]
- Widstrom NW, Carr ME, Bagby MO, Black LT, 1988. Distribution of sugar and soluble solids in the maize stalk. *Crop Science*, 28(5): 861–863.
- Wu J, Liao TL, Sun P, Shi ZH, Chen JH, 2013. Bionomics of *Drosophila suzukii* Matsumura, 1931 (Diptera: Drosophilidae). *Plant Quarantine*, 27(5): 36–41. [吴军, 廖太林, 孙鹏, 师振华, 陈集瀚, 2013. 斑翅果蝇生物学特性研究. 植物检疫, 27(5): 36–41.]
- Wu SR, Tai HK, Li ZY, Wang X, Yang SS, Sun W, Xiao C, 2007. Field evaluation of different trapping methods of cherry fruit fly, *Drosophila suzukii*. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 22(5): 776–782. [伍苏然, 太红坤, 李正跃, 王旭, 杨仕生, 孙文, 肖春, 2007. 樱桃果蝇田间诱捕方法比较. 云南农业大学学报, 22(5): 776–782.]
- Zheng JT, Zhang TX, Xu YJ, Wang GY, Tang PH, Fu LW, Lu T, 2015. Distribution of drosophilid flies on Chinese bayberry fruits at different stages of maturity. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(2): 470–476. [郑金土, 张同心, 徐永江, 汪国云, 唐萍华, 傅立维, 陆艇, 2015. 不同成熟度杨梅果实上果蝇的动态变化. 应用昆虫学报, 52(2): 470–476.]