

不同成熟度杨梅果实上果蝇的动态变化*

郑金土^{1**} 张同心^{1***} 徐永江² 汪国云³ 唐萍华¹ 傅立维⁴ 陆艇⁵

(1. 宁波市林特科技推广中心, 宁波 315012; 2. 慈溪市林特技术推广中心, 慈溪 315300; 3. 余姚市林特技术推广总站, 余姚 315400; 4. 宁波市江北区慈城镇农村发展局, 宁波 315020; 5. 余姚市杨梅研究开发中心, 余姚 315410)

摘 要 【目的】果蝇类害虫是杨梅果实的主要害虫, 本文旨在探讨果蝇对不同成熟度果实的选择倾向以及杨梅园果蝇动态变化规律。【方法】通过饲养获得黑腹果蝇 *Drosophila melanogaster* 种群, 探讨果蝇在不同成熟度杨梅果实上的繁殖量, 通过果园调查统计杨梅成熟过程中落果数量、落果和树上挂果中果蝇数量。【结果】杨梅成熟过程中, 果色经历绿色、粉红色、红色和紫红色变化过程; 果蝇分别在各种成熟度果实上繁殖时, 绿色果实上果蝇后代数量最少, 但接近成熟的粉红色、红色和紫红色果实上果蝇后代数量无显著差异; 同时提供各种成熟度的果实时, 随着果实成熟度增加, 黑腹果蝇的后代繁殖数量增多。在果实成熟前后对果园果蝇数量的调查表明, 在果实成熟前, 落果中果蝇数量显著高于树上挂果, 落果是果园果蝇的主要繁殖地; 但当果园果实大量成熟时, 挂果中果蝇数量显著多于落果, 挂果成为果蝇主要繁殖场所。【结论】在杨梅园, 果蝇存在从地面落果转移至树上挂果的动态变化, 果蝇对不同成熟度果实的选择性差异可能是这种动态变化的主要原因。

关键词 杨梅, 果蝇, 成熟度, 害虫, 动态变化

Distribution of drosophilid flies on Chinese bayberry fruits at different stages of maturity

ZHENG Jin-Tu^{1**} ZHANG Tong-Xin^{1***} XU Yong-Jiang² WANG Guo-Yun³
TANG Ping-Hua¹ FU Li-Wei⁴ LU Ting⁵

(1. Ningbo Technology Extension Center for Forestry and Specialty Forest Products, Ningbo 315012, China; 2. Forestry Special Technology Popularization Center of Cixi, Cixi 315300, China; 3. Yuyao Technique Extension Center for Forestry and Specialty Forest Products, Yuyao 315400, China; 4. Cicheng Rural Development Bureau, Ningbo 315020, China; 5. Development Center of Waxberry of Yuyao, Yuyao 315410, China)

Abstract [Objectives] Drosophilid flies (Drosophilidae) are the main pest insects on fruits of the Chinese bayberry, *Myrica rubra* (Myricaceae). Our focus was to determine the relative preferences of *Drosophila melanogaster* for fruits at different stages of maturity, and the distribution of drosophilid flies on fallen vs unfallen fruits in Chinese bayberry orchards. [Methods] *D. melanogaster* was reared and its reproductive productivity on fruits at different stages of maturity studied. The number of drosophilid flies on fallen and unfallen fruits was also investigated in Chinese bayberry orchards. [Results] Fruits were initially green, then turned pink, red, and purple-red when totally mature. The productivity of captive reared *D. melanogaster* differed significantly on fruits at different stages of maturity; that on green fruits was the lowest. When green, pink, red, and purple-red fruits were provided to *D. melanogaster* significantly more progeny were produced on the more mature fruits. The field investigation in Chinese bayberry orchards showed that drosophilid fly numbers on fallen fruits were significantly higher than on unfallen fruits. However, when unfallen fruits became fully mature drosophilid fly numbers were significantly higher on these than on fallen fruits. [Conclusion] The results indicate that drosophilid flies switch from fallen to unfallen fruits when the majority of the latter become mature. Differences in the suitability of mature and immature fruits to

* 资助项目 Supported projects :宁波市重大(重点)科技攻关择优委托项目(2009C10004);国家公益性行业(农业)科研专项(201203089)

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

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: daxin1996@163.com

收稿日期 Received: 2014-01-04, 接受日期 Accepted: 2014-04-14

drosophilid flies is probably the primary reason for the shift from fallen to unfallen fruits in Chinese bayberry orchards.

Key words *Myrica rubra*, drosophilid fly, maturities, pests, dynamic variance

杨梅 *Myrica rubra* Sieb. et Zucc. 是我国南方地区特产果树之一, 在我国南方尤其是长江以南地区栽种较为广泛 (Cheng *et al.*, 2008; 张梅芳等, 2012)。杨梅在我国具有悠久的栽培历史, 有记录的人工栽培可追溯至 2000 年前 (陈宗良, 1996)。在浙江, 2011 年杨梅栽种面积达 84 510 hm^2 , 产量高达 437 100 t。杨梅果实色泽鲜美、甘甜可口, 富含碳水化合物、有机酸、维生素、花青素、黄酮醇等营养和保健物质, 并具有较高的抗氧化活性 (Fang *et al.*, 2006, 2007; Zhou *et al.*, 2009; Niu *et al.*, 2010); 除了鲜销外, 杨梅果实还能加工成果汁、红酒、果酱和罐头等。杨梅已成为我国南方一些山区农民增收的一大支柱产业。

随着杨梅产业的不断发展, 病虫害日趋严重, 由于杨梅果实多成熟于高温和高湿季节, 营养丰富的果实也成为果蝇等害虫重要滋生地, 其中, 果蝇 *Drosophilidae* 是果实上最主要的害虫。已报道的果蝇种类主要包括黑腹果蝇 *Drosophila melanogaster*、拟果蝇 *D. simulans*、斑翅果蝇 *D. suzukii* 等 (李德友等, 2005; 孙道旺等, 2006; 伍苏然等, 2007; 明珂等, 2008; 王穿才和马辉, 2008; 邱立军等, 2011)。果蝇及其引起的农药残留已成为杨梅安全生产的重要隐患。果蝇产卵于成熟或接近成熟的果实上, 幼虫在果粒间生活, 在果实表面或落入地下化蛹。一般认为落果是杨梅园果蝇的主要滋生场所之一, 清除落果能有效地减少果园果蝇虫口数 (李德友等, 2005; 伍苏然等, 2007; 邱立军等, 2011)。与树上的挂果相比, 落果可能对果蝇具有更高的适合性, 在杨梅成熟期间, 果蝇可能存在对不同成熟度果实的倾向性。本文以杨梅园常见的黑腹果蝇为对象, 探讨了不同成熟度杨梅果实对黑腹果蝇繁殖的适合性; 并通过杨梅园果实成熟期间不同成熟度落果和挂果上果蝇数量调查, 分析了杨梅园果蝇动态变化规律。

1 材料与方法

1.1 试验点和果蝇饲养

果蝇调查实验在慈溪市匡堰镇杨梅基地完成, 该基地杨梅栽种面积约 5.33 hm^2 , 主要栽种的是荸荠种, 树龄在 20~25 龄间。

黑腹果蝇采集于杨梅园, 在室内饲养 1 年左右。饲养方法采用改进蝇笼饲养方式。使用 30 $\text{cm} \times 30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ 蝇笼 (100 目尼龙网制作) 饲养成蝇, 定期喂饲柑橘等水果; 在蝇笼中放置果蝇产卵杯 (圆柱形透明玻璃杯, 直径 10 cm 、高 15 cm), 杯中加入 100 mL 左右培养基; 每天定期取出产卵杯, 饲养至果蝇化蛹; 果蝇蛹一般集中在光滑的玻璃杯杯壁上, 用喷瓶喷洒少量水雾, 使用毛笔扫下 (段毕升等, 2012)。果蝇培养及实验在人工气候箱 (PRX450A, 宁波海曙赛福实验仪器厂) 内进行, 温度为 $(25 \pm 1) ^\circ\text{C}$, 光照强度约为 2 000 lx ($L:D = 14:10$), 相对湿度为 $50\% \pm 5\%$ 。

1.2 黑腹果蝇在不同成熟度果实上的繁殖量

杨梅果实在成熟时, 经历绿色、粉红色、红色和紫红色的颜色变化过程, 紫红色为成熟度高的果实。按上述果色区分果实成熟度。在 2013 年 6 月 16 日, 采摘不同成熟程度杨梅果实, 并立即带回实验室, 进行下一步实验。

1.2.1 果蝇分别在不同成熟度果实上繁殖 将上述绿色、粉红色、红色和紫红色果实每 10 只分别置于 300 mL 透明塑料罐中, 每种颜色果设 3 个重复组。使用吸虫管在每组塑料罐中接入羽化 3 d 左右的果蝇成蝇 10 头 (雌雄各 5 只), 透气螺旋盖封住罐口。24 h 后, 移除果蝇。在人工气候箱中, 发育至果蝇化蛹, 每天统计果蝇蛹数量并移除蛹, 获得各成熟度果实上果蝇后代数。

1.2.2 果蝇对不同成熟度果实的选择 将上述各

种颜色果实各 10 只置于 2 L 方形透明养虫盒中, 透气盒盖封口。使用吸虫管在盒内接入羽化 3 d 左右的果蝇 50 头, 24 h 后移除果蝇并将各种颜色果实分别置于上述透明塑料罐中。实验设 3 个重复组。在人工气候箱中饲养, 按上述方法, 统计各成熟度果实上果蝇数量。

1.3 落果和果实上蝇类数量

自 2013 年 6 月 3 日起, 在杨梅园每 2 d 随机选择并标记 5 株杨梅树, 收集树下单位平米中的落果并记录果数; 采摘对应果树上 20 只果实, 5 株果树共采集 100 只; 调查期间不重复选择植株。将收集的果实每 10 只放入上述透明塑料罐, 每天观察并统计果蝇蛹数量并移除蛹(伍苏然等, 2007)。调查至 6 月 24 日大部分杨梅成熟并采摘为止。

1.4 数据分析

数据在 Excel 中汇总并作图。在分析单位平米落果和果蝇数量时, 对数据进行对数转换, 使之符合正态分布, 在 SPSS11.5 软件中, 完成方差分析并用 Duncan's 多重比较法进行均数间多重比较。在比较分析不同类型(落果和挂果)上单个果实果蝇数量(果蝇数/果数)变化时, 在挂果数据中存在大量为 0 的数据, 难以转换为正态分布数据。在 R2.13.0 软件(R Development Core Team, 2011)中, 使用广义线性模型(GLM)分析了各参数(果类型、调查日期及两者间交互作用)对单果果蝇数量的影响; 对比例数据使用二项分布模型, 建立模型后, 根据模型的 HF (残差/ df)值判定数据与二项分布符合程度; 较大的 HF 值($HF > 1$)意味着偏离二项分布, 会导致显著性检验程度被高估, 用近似二项分布(Quasibinomial)进行模型拟合, 对最后获得的模型用 F 检验进行分析(Crawley, 2007)。在进行模型优化时, 使用卡方检验比较去除交互项后的优化模型与原模型之间差异, 获得最优模型(Crawley, 2007)。在比较分析成熟前后单个挂果和落果中果蝇数量时, 在 SPSS11.5 软件中, 使用 Wilcoxon 法进行分析。

2 结果与分析

2.1 黑腹果蝇在不同成熟度果实上的繁殖量

荸荠种杨梅果实在成熟前一般经历绿色、粉红色、红色和紫红色的转变, 在成熟前 10 d 左右, 绿色果实颜色变淡, 一些果粒逐渐变为粉红色, 整个果实逐渐呈现粉红色至红色, 成熟采摘时的果实呈紫红色(图 1)。在各种不同成熟度果实上, 果蝇均可产卵(图 2)。

不同成熟度果实分别被果蝇利用时, 从各成熟度果实获得果蝇数量存在极显著差异($F_{1,3}=33.208, P<0.001$), 以接近成熟的粉红色、红色和紫红色果实上, 果蝇后代数量最多, 而绿色果子上果蝇数量最少(图 3)。当不同成熟度果实聚集在一起时, 从各成熟度果实上获得果蝇后代数量均存在极显著差异($F_{1,3}=46.131, P<0.001$), 以紫红色果实上, 果蝇后代数量最多, 随果实成熟度降低, 果蝇后代数量显著减少, 绿色果子上果蝇数量最少(图 4)。

2.2 杨梅园落果和果蝇数量变化

试验点杨梅在 16 日出现少量紫红色成熟果实, 在 20 日, 杨梅果实大量成熟。在杨梅成熟前, 树下存在大量落果。在调查期间, 落果数量差异显著($F_{10,44}=40.030, P<0.001$), 落果数量随果实成熟度而增加, 以调查最后 2 d(22 日和 24 日为最大)(表 1)。落果中果蝇数量差异显著($F_{10,44}=3.010, P=0.006$), 以调查中期果实成熟前果蝇数量较多, 而 4 日和 20 日之后数量较低(表 1)。

2.3 单个落果和挂果中的果蝇数量动态变化

在杨梅果实成熟前, 随果实成熟度增大, 落果中果蝇数量趋于增多; 而在果实成熟后, 落果中果蝇数量趋于减少; 单个落果中果蝇数量呈先增加后降低的趋势(图 5)。而在挂果中, 单果羽化的果蝇数量则逐渐增多, 尤其是在大量果实成熟之后(图 6)。

单果中果蝇数量与果实类型(落果和挂果)、日期以及两者间交互作用的 GLM 模型表明, 果

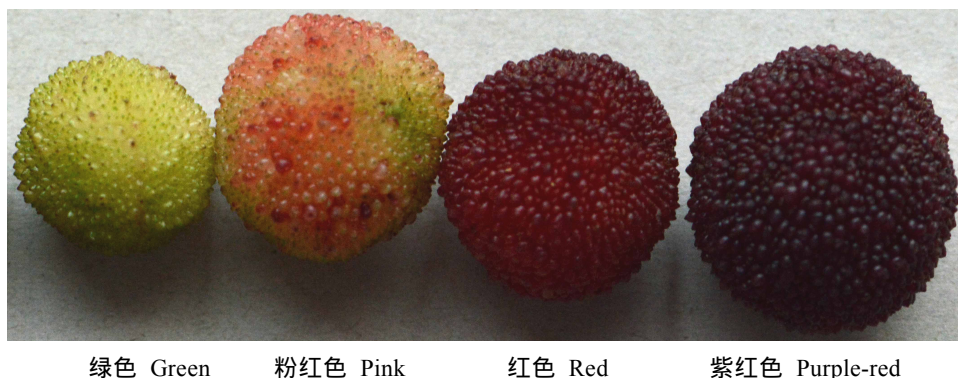


图 1 不同成熟度荸荠种杨梅果实

Fig. 1 Chinese bayberry fruits of Biqu cultivar at different maturity degrees

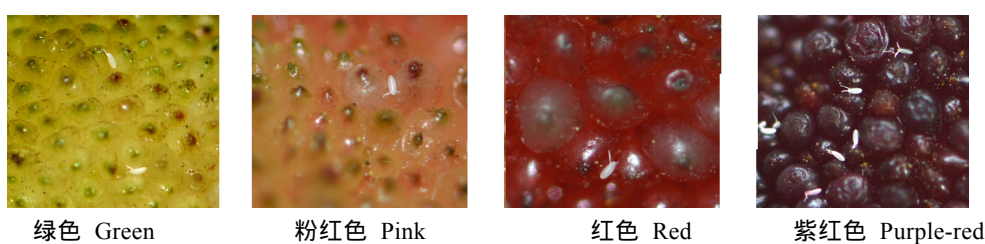


图 2 黑腹果蝇在杨梅果实上产下的卵

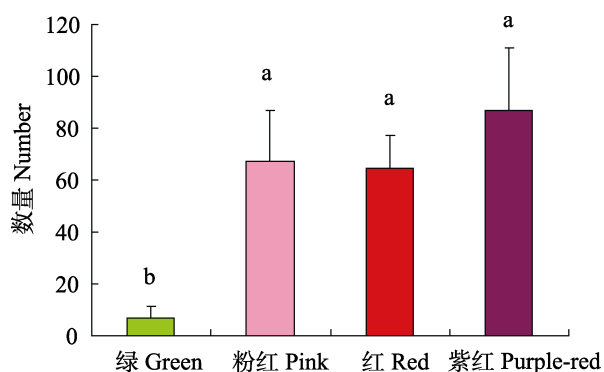
Fig. 2 Eggs laid on the surface of Chinese bayberry fruits by *Drosophila melanogaster*

图 3 黑腹果蝇在不同成熟度杨梅果实上分别繁殖时后代数量

Fig. 3 Progeny number of *Drosophila melanogaster* on Chinese bayberry fruits at different maturity degrees respectively

图中数据为平均值±标准差, 不同字母表示数据间差异显著 ($P<0.05$), 下图同。

Data are mean±SD, and histograms with different letters indicate significantly different ($P<0.05$). The same below.

蝇数量受果实类型影响并不显著 ($F_{1,108}=2.961$, $P=0.088$), 但受日期 ($F_{1,107}=70.495$, $P<0.001$)、日期和果实类型间的交互作用 ($F_{1,106}=103.241$,

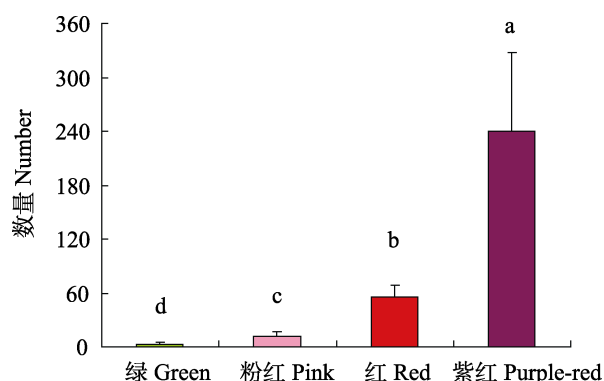


图 4 不同成熟度果实聚集时黑腹果蝇后代数量

Fig. 4 Progeny number of *Drosophila melanogaster* on Chinese bayberry fruits with different maturity degrees collected together

$P<0.001$) 影响极显著。日期的影响表明果蝇数量受果实成熟度的影响。日期和果实类型间的交互作用显著影响表明日期和果实类型的作用并非相互独立, 果实类型对果蝇数量的影响可能在果实成熟前后存在差异 (图 7)。

在果实成熟前 (4—14 日), 单果中果蝇数量与果实类型、日期以及两者间交互作用的

表 1 杨梅园落果及其中的果蝇数量 ($/\text{m}^2$)
Table 1 Number of fallen fruits and drosophilid flies in Chinese bayberry orchard ($/\text{m}^2$)

日期 Date	落果 Fallen fruits	果蝇 Drosophilid flies	挂果颜色 Color of unfallen fruits
6.04	31.80±11.54 ^{e,f}	4.00±3.54 ^c	绿 Green
6.06	27.20±17.05 ^f	10.40±8.85 ^{a,b}	绿, 粉红 Green, Pink
6.08	33.20±6.91 ^{e,f}	23.60±18.69 ^{a,b}	绿, 粉红 Green, Pink
6.10	39.60±10.17 ^e	28.40±25.32 ^{a,b}	绿, 粉红, 红 Green, Pink, Red
6.12	46.40±29.61 ^e	47.80±47.60 ^a	绿, 粉红, 红 Green, Pink, Red
6.14	41.60±11.97 ^e	19.40±9.15 ^{a,b}	绿, 粉红, 红 Green, Pink, Red
6.16	70.20±26.98 ^d	9.00±7.52 ^{a,b,c}	绿, 粉红, 红, 紫红 Green, Pink, Red, Purple-red
6.18	146.00±40.47 ^c	18.60±8.88 ^{a,b}	粉红, 红, 紫红 Pink, Red, Purple-red
6.20	206.60±59.85 ^{b,c}	5.20±2.59 ^{b,c}	红, 紫红 Red, Purple-red
6.22	324.60±72.47 ^{a,b}	5.20±2.59 ^{b,c}	紫红 Purple-red
6.24	373.00±115.51 ^a	6.20±4.02 ^{b,c}	紫红 Purple-red

表中数据为平均值±标准差, 不同字母表示在同列数据间差异显著 ($P < 0.05$), 果色指出现频率>5%的果实。

Data are mean±SD, and followed by different letters indicate significantly different in the same column ($P < 0.05$). Color of unfallen fruits means those fruits happen more than 5% in frequency.

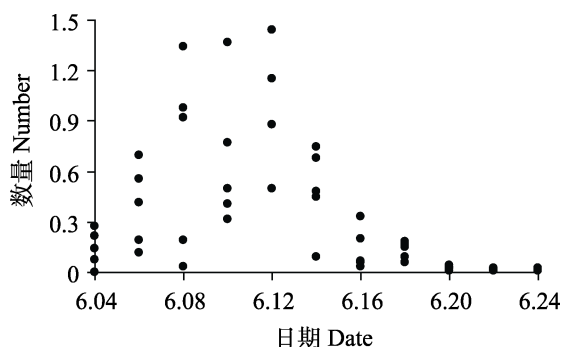


图 5 杨梅园单个落果中果蝇数量动态变化

Fig. 5 Dynamic variances of drosophilid flies on fallen fruits in Chinese bayberry orchard

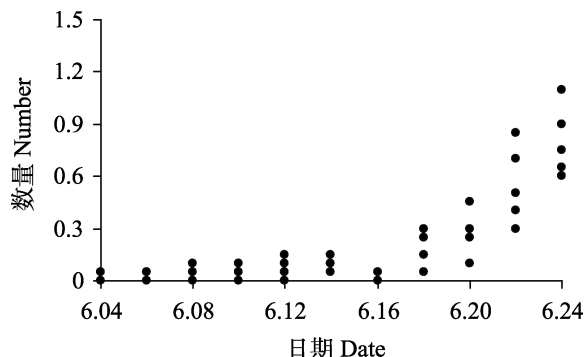


图 6 杨梅园单个挂果中果蝇数量动态变化

Fig. 6 Dynamic variances of drosophilid flies on unfallen fruits in Chinese bayberry orchard

GLM 模型表明日期和果实类型间的交互作用 ($F_{1,56}=0.708$, $P=0.404$) 影响并不显著, 去除交互项的最优模型表明, 果实类型 ($F_{1,58}=83.359$, $P<0.001$) 和日期 ($F_{1,57}=12.759$, $P<0.001$) 均对单果中果蝇数量存在显著影响。在杨梅果实成熟前, 落果中果蝇数量与挂果中果蝇数量差异显著 (Wilcoxtest, $P<0.001$), 单个落果中果蝇数量 (0.55 ± 0.41) 头显著高于挂果中 (0.05 ± 0.05) 头 (图 7)。

在果实开始成熟后 (16—24 日), 单果中果蝇数量与果实类型、日期以及两者间交互作用的 GLM 模型表明果实类型 ($F_{1,48}=161.470$, $P<0.001$)、日期 ($F_{1,47}=7.804$, $P=0.008$) 以及日期和果实类型间的交互作用 ($F_{1,46}=96.196$, $P<0.001$) 均对果蝇数量存在显著影响。进一步根据果树上果实成熟程度, 将数据分为果实部分成熟 (16—18 日) 和果实大量成熟 (20—24 日) 两个阶段进行分析。在果实部分成熟阶段, 去除交互项的最优模型表明果实类型 ($F_{1,18}=0.022$, $P=0.884$) 和日期 ($F_{1,17}=0.476$, $P=0.500$) 均对果蝇数量不存在显著影响。在果实大量成熟阶段, 分析结果表明果实类型 ($F_{1,28}=510.457$,

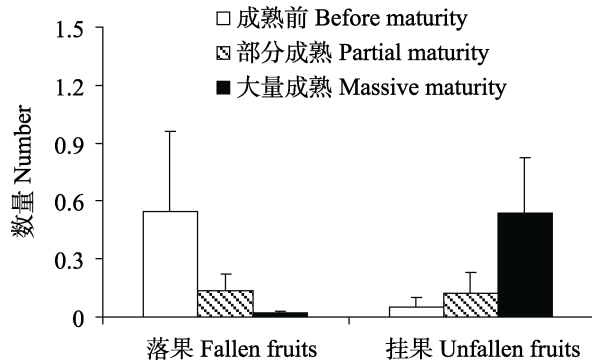


图7 杨梅成熟不同阶段挂果和落果上果蝇数量比较

Fig. 7 Comparison of drosophilid fly number per fruits at different maturity phases

$P < 0.001$)、日期 ($F_{1,27} = 4.858$, $P = 0.037$) 以及日期和类型间交互作用 ($F_{1,26} = 14.001$, $P < 0.001$) 均对果蝇数量影响显著, 在挂果中果蝇数量 (0.54 ± 0.28) 头显著高于落果中 (0.02 ± 0.01) 头 (Wilcoxtest, $P < 0.001$) (图7), 并且随日期(果实成熟度)增加, 挂果和落果中果蝇数量差异更大(图5, 图6)。

3 讨论

本研究表明, 黑腹果蝇在各种不同成熟度果实上均能繁殖, 但在绿色果实上, 繁殖后代数量最少, 在粉红色、红色和紫红色果实上的繁殖量相近; 这表明, 成熟度为粉红色果实已经比较适合果蝇繁殖; 但当各种成熟度果实聚集在一起时, 成熟的紫红色果实成为果蝇最佳选择, 且果蝇繁殖量随着成熟度增加而增大。可见, 果实成熟程度影响到黑腹果蝇繁殖量, 黑腹果蝇存在对不同成熟度果实的选择性, 倾向于选择更为成熟果实。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, 存在对生境斑块和食物类型等选择上存在倾向性(尚玉昌, 1998; Bartumeus and Catalan, 2009)。果蝇对不同成熟度果实的选择性与最优觅食理论预测相符。

杨梅果蝇在成熟前对落果的趋向性可能有以下主要原因: 首先与落果的更高成熟度相关。对“荸荠”、“东魁”和“早大梅”3个品种不同成熟度果实研究表明未成熟和成熟果实的呼吸速率和乙烯合成变化均呈现为呼吸跃变型果

实特征(张望舒等, 2005); 这种呼吸跃变型果实常常具有后熟效应, 在摘除后能够快速成熟 (Manjunatha *et al.*, 2010)。这导致落果成熟度显著高于树上的挂果, 果蝇对落果的倾向性更大。黑腹果蝇对不同成熟度果实的选择性差异也证明了这一点。其次, 落果中还存在部分自然落果的果实, 这些果实可能在树上已遭受果蝇为害, 更易落果, 这也可能是果实成熟前落果中果蝇数量显著较高的原因之一。

在杨梅果实成熟前, 存在大量落果, 而绝大多数果园并未对落果进行处理; 这些落果部分源自果实的生理性落果, 部分源自果农为了获得更大更早成熟果实而进行的人工摘除; 这造成了杨梅园中落果数量逐渐增多。随果实成熟, 采摘频繁, 进一步导致大量落果发生。对云南红河的杨梅园调查资料表明, 落果成为果园果蝇的主要滋生地(伍苏然等, 2007)。我们的结果也进一步表明, 在果实成熟前, 落果中果蝇数量是挂果中的10倍左右(图7), 落果成为果实成熟前杨梅园果蝇的主要滋生地。对苹果园的研究也表明, 落果是一些害虫重要滋生地 (Prokopy *et al.*, 1994)。在果实成熟前, 清除落果可有效地减少果园果蝇的数量(伍苏然等, 2007)。

我们的结果还表明, 在杨梅园果实大量成熟之后, 落果中果蝇数量趋于减少, 而树上的挂果中果蝇数量趋于增加。在果实大量成熟之后, 挂果可能具有对果蝇更大吸引力, 这一点从黑腹果蝇对不同成熟度果实的选择性上可以看出(图3, 图4)。同时, 在地面, 由于落果严重堆积, 部分底层果实已经开始腐烂变质, 并且落果中包括了大量早期脱落的果实, 与之相比, 树上的挂果更适合果蝇繁殖。可见, 在杨梅园果蝇存在随果实成熟度变化而转移的动态变化, 在成熟前, 集中于落果, 而成熟后, 集中于树上的挂果, 果蝇对不同成熟度果实的倾向性差异是杨梅园果蝇动态变化的重要原因。果蝇的取食习性是影响果实成熟期落果与树上果的果蝇数量差异主要因素之一。

果蝇对杨梅果实的危害特点体现其成虫吮吸成熟期果实, 引起受害果实凹凸不平, 果汁外溢, 出现落果现象, 导致产量和品质下降(伍苏

然等, 2007)。前已述及, 杨梅果实上果蝇种类较多, 其中黑腹果蝇是杨梅果实上主要果蝇种类之一, 并在我国很多地方均有发生。本文探讨的不同成熟度杨梅对黑腹果蝇的适合性具有一定代表性; 但本文并未对杨梅园果实中羽化的果蝇种类进行区分。关于不同品系杨梅果实上蝇类的种类、多样性以及不同种类果蝇的动态变化等尚需进一步研究才能揭示。

参考文献 (References)

- Bartumeus F, Catalan J, 2009. Optimal search behavior and classic foraging theory. *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, 42 (43): 434002.
- Chen ZL, 1996. The history of bayberries. *Journal of Fruit Science*, 13(1): 59–61. [陈宗良, 1996. 杨梅史考. 果树科学, 13 (1): 59–61.]
- Cheng JY, Ye XQ, Chen JC, Liu DH, Zhou SH, 2008. Nutritional composition of underutilized bayberry (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.) kernels. *Food Chemistry*, 107 (4): 1674–1680.
- Crawley MJ, 2007. The R Book. Chichester: John Wiley and Sons. 511–526.
- Duan BS, Zheng JT, Fang L, Hu HY, Zhang TX, Zhou HF, Lu T, 2012. Parasitic behavior of *Pachycrepoideus vindemmiae* Rondani to fruit fly pupae. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 33 (6): 1111–1115. [段毕升, 郑金土, 方磊, 胡好远, 张同心, 周和锋, 陆艇, 2012. 蝇蛹金小蜂对黑腹果蝇蛹的寄生习性. 热带作物学报, 33 (6): 1111–1115.]
- Fang ZX, Zhang M, Sun YF, Sun JC, 2007. Polyphenol oxidase from bayberry (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.) and its role in anthocyanin degradation. *Food Chemistry*, 103 (2): 268–273.
- Fang ZX, Zhang M, Tao GJ, Sun YF, Sun JC, 2006. Chemical composition of clarified bayberry (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.) juice sediment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54 (20): 7710–7716.
- Li DY, Zuo R, Yuan J, Xiong Y, Chen CQ, Xie SW, 2005. Injury of fly and its food source in red bayberry. *Guizhou Agricultural Sciences*, 33(2): 77–78. [李德友, 左锐, 袁洁, 熊元, 陈传庆, 解诗藏, 2005. 杨梅果蝇发生危害与食源调查. 贵州农业科学, 33 (2): 77–78.]
- Manjunatha G, Lokesh V, Neelwarne B, 2010. Nitric oxide in fruit ripening: Trends and opportunities. *Biotechnology Advances*, 28 (4): 489–499.
- Ming K, Wei GD, Xie BY, Zhong LQ, 2008. Harm of fruit fly to red bayberry in Taizhou. *Zhejiang Orange*, 25 (3): 30–31. [明珂, 韦国栋, 谢宝玉, 钟列权, 2008. 台州地区杨梅果蝇的为害情况与防治对策. 浙江柑橘, 25 (3): 30–31.]
- Niu SS, Xu CJ, Zhang WS, Zhang B, Li X, Kui LW, Ferguson IB, Allan AC, Chen KS, 2010. Coordinated regulation of anthocyanin biosynthesis in Chinese bayberry (*Myrica rubra* fruit by a R2R3 MYB transcription factor. *Planta*, 231 (4): 887–899.
- Prokopy RJ, Cooley DR, Autio WR, Coli WM, 1994. Second-level integrated pest management in commercial apple orchards. *American Journal of Alternative Agriculture*, 9 (4): 148–156.
- Qiu LJ, Shen G, Zhang ZZ, Li JH, Liu BW, 2011. Biological behavior and integrated control of fruit fly for the red bayberry cultivar, Wandao. *Zhejiang Orange*, 28 (3): 27–29. [邱立军, 沈刚, 张真真, 李江华, 刘博文, 2011. 晚稻杨梅果蝇的生物学特性与综合防治. 浙江柑橘, 28 (3): 27–29.]
- R Development Core Team, 2011. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL: <http://www.R-project.org/>.
- Shang YC, 1998. Behavior Ecology. Beijing: Beijing University Press. 41–43. [尚玉昌, 1998. 行为生态学. 北京: 北京大学出版社. 41–43.]
- Sun DW, Cao JF, Yang MY, Yang HY, Li GH, Yang ML, Yang JL, Yan WZ, 2006. Study on the generation span and oviposition regularity of *Drosophila simulans* in *Myrica rubra* in Fumin of Yunnan. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 19(4): 635–638. [孙道旺, 曹继芬, 杨明英, 杨红映, 李国宏, 杨美兰, 杨家鸾, 严位中, 2006. 云南富民杨梅拟果蝇 (*Drosophila simulans*) 世代及产卵规律研究. 西南农业学报, 19 (4): 635–638.]
- Wang CC, Ma H, 2008. Harm of *Drosophila melanogaster* to the red bayberry Dongkui cultivar and the biological behavior and the control technology. *Southern Fruit Tree of China*, 37 (4): 54–55. [王穿才, 马辉, 2008. 黑腹果蝇对东魁杨梅的为害及其生物学特性与防治技术研究. 中国南方果树, 37 (4): 54–55.]
- Wu SR, Li JT, Li ZY, Tao M, Xu ZQ, Ma GL, Xiao C, 2007. A comparative study on control effects of fruit flies by different methods in red bayberry orchard. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 26(4): 365–368. [伍苏然, 李江涛, 李正跃, 陶玫, 徐志强, 马光亮, 肖春, 2007. 不同方法对杨梅园果蝇田间诱集防治效果比较. 山地农业生物学报, 26 (4): 365–368.]
- Zhang MF, Chen X, Chen SM, Duan Z, Duan YJ, 2012. A review on *Myrica rubra* resources research in China. *Subtropical Plant Science*, 41(2): 77–80. [张梅芳, 陈曦, 陈素梅, 段忠, 段彦君, 2012. 我国杨梅资源研究进展. 亚热带植物科学, 41(2): 77–80.]
- Zhang WS, Zheng JT, Wang GY, He GE, Sun CD, Xu WP, Yang SL, Cai C, Li X, Chen KS, 2005. Changes in respiratory rate, ethylene production rate and quality of postharvest chinese bayberry fruits with different maturities. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 31(4): 417–424. [张望舒, 郑金土, 汪国云, 何桂娥, 孙崇德, 许文平, 杨绍兰, 蔡冲, 李鲜, 陈昆松, 2005. 不同成熟度杨梅果实采后呼吸速率、乙烯释放速率和品质的变化. 植物生理与分子生物学报, 31 (4): 417–424.]
- Zhou SH, Fang ZX, Lü Y, Chen JC, Liu DH, Ye XQ, 2009. Phenolics and antioxidant properties of bayberry (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.) pomace. *Food Chemistry*, 112 (2): 394–399.