

产卵基质模式和性比对白星花金龟 生殖力的影响*

张广杰^{1**} 徐 韬¹ 杨 柳¹ 马德英^{1***} 刘玉升^{2***}

(1. 新疆农业大学农学院, 农林有害生物监测与安全防护重点实验室, 乌鲁木齐 830052;

2. 山东农业大学植物保护学院, 泰安 271018)

摘 要 【目的】 为探究产卵基质模式和雌雄比对白星花金龟生殖力影响, 寻求提高白星花金龟繁殖力的技术参数。设计复合产卵基质模式的思想, 可为其他产卵于固体基质中的昆虫提高生殖力提供借鉴。

【方法】 本研究设计了 5 种产卵基质模式(牛粪、细沙单一基质、粪沙混、粪沙分和粪液沙复合基质)和 5 个雌雄比(♀:♂=4:8、5:7、6:6、7:5 和 8:4), 在室外敞口棚和自然温光条件下, 开展对白星花金龟成虫产卵量和死亡率、幼虫孵化率的影响研究。**【结果】** 5 种产卵基质下白星花金龟成虫产卵量的顺序为粪沙分>粪沙混>牛粪>粪液沙>细沙, 其中, 白星花金龟在粪沙分复合产卵基质 40 d 的单雌产卵量达 129.0 粒, 是原生产卵基质——牛粪的 1.72 倍; 5 个雌雄比处理比较, 白星花金龟群体产卵量的顺序为 7:5>8:4>6:6>5:7>4:8; 单雌产卵量的顺序为 4:8>6:6>5:7>7:5>8:4, 最高达 3.60 粒/d。2 项试验下成虫死亡率和幼虫孵化率在各处理间无显著差异, 幼虫孵化率均在 90%以上。综合分析和结合群体实际雌雄比可知, 雌雄比为 1:1 时, 对于保障白星花金龟的群体繁殖力效果最佳。**【结论】** 牛粪和细沙两复合体系作为产卵基质和维持雌雄比 1:1, 可显著提高白星花金龟的繁殖力。

关键词 白星花金龟; 产卵基质; 雌雄比; 繁殖力

Effects of oviposition substrate pattern and sex ratio on the fecundity of *Proteatia brevitarsis* (Coleoptera: Cetoniidae)

ZHANG Guang-Jie^{1**} XU Tao¹ YANG Liu¹ MA De-Ying^{1***} LIU Yu-Sheng^{2***}

(1. Key Laboratory of the Pest Monitoring and Safety Control on Crop and Forest,

College of Agriculture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

Abstract 【Objectives】 To investigate the effects of oviposition substrate and sex ratio on the fecundity of *Proteatia brevitarsis* Lewis, improve the current fecundity parameters for this species, and design a composite oviposition substrate that will improve the fertility of insects that lay eggs in solid substrate. **【Methods】** The effects of five different oviposition substrates (cow manure, sand, cow manure mixed with sand, cow manure and sand and cow manure and liquid sand) and five ♀:♂ sex ratios (4:8, 5:7, 6:6, 7:5, 8:4), on adult fecundity, mortality and hatching rates were measured and compared. **【Results】** Oviposition substrates can be ranked in adult fecundity as follows: cow manure and sand > cow manure mixed with sand > cow manure > cow manure and liquid sand > sand. Female fecundity was highest (129.0 eggs/40 d) on a substrate comprised of cow manure and sand, fecundity on this substrate was 1.72 times that on cow manure, which is the natural substrate. The five sex ratios can be ranked in terms of overall female fecundity as follows: 7:5>8:4>6:6>5:7>4:8, and in terms of average fecundity per female: 4:8>6:6>5:7>7:5>8:4 (up to 3.60 eggs/day). Neither substrate nor sex ratio had a significant effect on adult mortality or hatching rate; the hatching rate was > 90% in all cases. Based on

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发项目(2018YFD0201303)

**第一作者 First author, E-mail: 18763828272@163.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: mdyxnd@163.com; ysl8877@163.com

收稿日期 Received: 2019-11-01; 接受日期 Accepted: 2020-02-29

investigation of the natural sex ratio, the optimal sex ratio for ensuring high fertility is 1 : 1. **[Conclusion]** Choice of oviposition substrate and adult sex ratio can significantly improve the fecundity of *P. brevitarsis*; maximum fecundity was obtained with an oviposition substrate comprised of cow mature and sand and an adult sex ratio of 1 : 1.

Key words *Proteatia brevitarsis* Lewis; spawning substrate; sex ratio; fertility

白星花金龟 *Proteatia brevitarsis* Lewis 是隶属于鞘翅目 Coleoptera 花金龟科 Cetoniidae 星花金龟属 *Proteatia* 的昆虫 (马文珍, 1995), 广泛分布于中国及俄罗斯、朝鲜、蒙古等国家 (嵇保中等, 2011)。成虫为植食性或腐食性, 在自然界有一定的危害性 (李涛等, 2010)。其幼虫腐食性, 取食量大, 转化力强, 可高效转化农作物秸秆 (刘玉升和张大鹏, 2015; 杨诚等, 2015; 张广杰等, 2019)、食用菌菌糠 (张倩, 2015; 孙晨可, 2018)、生活湿垃圾 (宋绪洋, 2018) 等有机废弃物, 现已被成功应用到农作物秸秆 (王卉, 2019) 的处理中。老熟幼虫在抗癌和治疗肥胖等疾病 (Yoon *et al.*, 2003; 金华等, 2008; 崔春爱等, 2009; Ahn *et al.*, 2019)、明目 (邱晓星等, 2012; 谭涵宇等, 2018)、活性成分提取 (徐明旭等, 2008; Suh and Kang, 2012) 等医药上的应用价值被国内外学者关注。幼虫干品的蛋白质含量在 50% 左右, 为理想的水产、畜禽等养殖业昆虫源蛋白饲料原料 (杨诚等, 2014a)。幼虫粪砂是一种优良的有机肥 (刘福顺等, 2018), 赖德强等 (2019) 研究表明, 其在低温下能够促进辣椒苗期的生长和提高耐寒能力。总之, 白星花金龟在转化处理有机废弃物、医药应用、饲料原料和有机肥料领域颇具资源潜力。白星花金龟的基因组和转录组测序已经完成, 为资源化开发白星花金龟奠定了分子基础 (Li *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2019)。在生产领域, 也值得探索其高效繁殖技术体系。

白星花金龟喜在未腐熟的物料中产卵。实际生产中发现, 由于物料中微生物的活动, 产卵基质存在发热、失水过快等问题, 而适宜的温度和基质含水量则是保障昆虫产卵量的重要环境因子 (杨诚等, 2014b; 张玉托等, 2014)。湿沙具有保湿透气性好、性质稳定等特性, 可被作为昆虫产卵、孵化的基质, 因此被选为参试基质材料,

以探究其作为产卵基质成分的适宜模式。性比 (Sex ratio) 是指昆虫种群在某一时期内雌雄个体数量之间的比例 (胡萃和万兴生, 1988), 是影响昆虫寿命、生殖力的关键因子 (李敏敏等, 2014; 何超等, 2017), 但还未有性比对白星花金龟生殖力影响的相关研究报道。鉴于此, 本实验立足探究适宜的产卵基质模式和性比, 以提高白星花金龟的生殖力, 为其更好的发挥转化处理作物秸秆、畜禽粪便、蔬菜秧蔓等有机废弃物的功能奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 主要实验原料 牛粪 (西门塔尔肉牛粪便)、细沙和白星花金龟 (玛纳斯县塔西河乳泉牧业发展专业合作社)、西瓜 *Citrullus lanatus* (玛纳斯包家店镇水果市场)。

1.1.2 主要实验仪器或器具 圆形产卵盒 (24.5 cm×11.6 cm×29.5 cm, 4 800 mL, 天津通源塑料制品有限公司, 上盖自制通气孔)、圆形孵化盒 (10.0 cm×8.5 cm×14.8 cm, 1 000 mL, 惠安县裕格塑料制造厂, 上盖自制通气孔)、分离筛 (自制: 2 目、30 目)、电子天平 (LT3002, 常熟市天量仪器有限责任公司)、自制十字架分割板等。

1.2 实验方法

1.2.1 5 种产卵基质模式对白星花金龟生殖力的影响 取碾碎并经 2 目筛除杂的干牛粪 200 kg, 添加 1‰ RW 促腐剂 ($\text{cfu} \geq 10.0 \times 10^9/\text{g}$), 调节牛粪含水量为 70%, 堆成馒头状并加盖塑料薄膜好氧酵化, 每 5 d 翻堆一次, 酵化 25 d 后摊开晒干, 过 30 目筛备用。取足量的干沙, 过 30 目筛后备用。

取适量的干牛粪和细沙, 分别调节基质含水量为 55% 和 15%, 设置牛粪、细沙、粪沙混、粪沙分、粪液沙 5 个产卵基质模式, 基质装配产卵盒的深度为 7 cm, 其中, 粪沙混基质为牛粪和细沙各一半混合均匀后装配; 粪沙分基质为牛粪和细沙各半按对角线装配(自制十字分割板将产卵盒等分为 4 个区域); 粪液沙为一半量牛粪基质浸泡 1 h 后的过滤液来调干沙含水量为 15% 后装配。

本实验开始时间为 7 月 10 日, 实验地点为玛纳斯县塔西河乳泉牧业发展专业合作社, 每个产卵盒放置 10 对同一天羽化、雌雄比 1:1 配对和健康一致的成虫, 每个处理重复 5 次, 在室外敞口棚和自然温光条件下, 每 2 d 更换足量的西瓜补充营养, 每天观察雌雄虫死亡情况, 并分别记录和补充与各处理条件一致的备份成虫, 每 5 d 调查一次产卵量, 一直调查和记录到第 40 天, 最后统计成虫产卵量和死亡率。并于第 15、20、25 天 3 次调查中选择 5 个处理产卵量都较高(期望产卵量大于 50 粒, 实际是第 25 天符合条件)的一次开展幼虫孵化率实验。

于每个处理的每个重复中随机选取 50 粒卵, 以过 30 目筛、调节含水量为 15% 湿沙为孵化基质, 在孵化盒中装配深度为 6 cm, 将卵埋于湿沙中心, 置于平均室温为 27 °C 的室内孵化, 2 d 后每天观察幼虫的孵化情况, 并记录和挑出已孵化的幼虫, 一直观察和记录到第 11 天, 统计幼虫孵化数, 计算幼虫孵化率。

1.2.2 性比对白星花金龟生殖力的影响 为使小群体样本的白星花金龟的雌雄比落在 0.5-2.0 之间, 又兼顾实验处理个数和设置 1:2、1:1、2:1 3 个雌雄比的需要, 发现以 12 头作为一个小群体, 设置♀:♂=4:8, 5:7, 6:6, 7:5, 8:4 5 个雌雄比, 在取样群体最小的情况下恰好满足要求。实验于 7 月 27 日开展, 产卵基质为醇化牛粪, 基质装配产卵盒的深度为 7 cm, 取同一天羽化、状态一致的雌雄虫足量, 按雌雄比=4:8, 5:7, 6:6, 7:5, 8:4 进行装配, 每个处理重复 3 次。实验地点和环境条件、醇化牛粪、产卵和孵化条件、调查和记录模式、产卵

量、死亡率和幼虫孵化率的记录、统计和计算方式均同试验 1.2.1, 幼虫孵化率样本为在第 20 天的产卵数据中抽取。

1.3 数据处理

运用 IBM SPSS Statistics 23 对试验数据进行统计分析, 计算平均值及标准误差, 对不同处理进行单因素方差分析(One-Way ANOVA), 对不同处理间的差异进行 Tukey 多重比较分析($P<0.05$)。应用 Microsoft Excel 2013 记录、整理数据和绘制表格, 用 Sigma Plot 14 作图。

2 结果与分析

2.1 5 种产卵基质模式对白星花金龟生殖力的影响

由表 1 可知, 不同产卵天数下, 5 种产卵基质模式下白星花金龟产卵量差异性较大(第 20 天除外), 但粪沙分和粪沙混复合基质均表现较优, 40 d 的产卵总量上, 粪沙分产卵基质表现最佳, 且与其他处理具有显著差异, 其次为粪沙混, 牛粪单一基质位居第 3, 细沙表现最差。由图 1 可知, 30 d 以前, 白星花金龟产卵量受环境温度影响较大, 第 1-20 天的降温过程, 使各处理产卵量下降明显, 形成第 5-10 天和第 20-25 天两个产卵高峰。30 d 后, 随着白星花金龟产卵天数的增长, 产卵量呈现下降趋势, 表现出生殖力受年龄影响变大。

由表 2、图 2 可知, 不同产卵天数下, 白星花金龟产卵量在牛粪和湿沙两分量中均差异显著, 在湿沙中的产卵量总是优于在牛粪中的产卵量。产卵量与环境温度变化趋势一致, 第 20 天下均出现低谷。细沙分量累计产卵量是牛粪分量的 1.83 倍。

由图 3 可知, 5 种基质模式下, 白星花金龟单雌产卵量顺序粪沙分>粪沙混>牛粪>粪液沙>细沙, 且粪沙分、粪沙混和牛粪处理两两之间均差异显著, 40 d 的产卵期, 白星花金龟在粪沙分复合基质中的单雌产卵量达 129.0 粒, 是牛粪单一基质的 1.72 倍。粪液沙基质产卵量稍低于牛粪基质, 但差异不显著, 细沙基质表现最差。

表 1 5 种产卵基质模式对白星花金龟生殖力的影响

Table 1 Effect of five spawning substrate patterns on the fecundity of *Proteatia brevitarsis*

基质 Substrate	产卵量 (粒) Number of fecundity								
	5 d	10 d	15 d	20 d	25 d	30 d	35 d	40 d	总计 Total
牛粪 Cow manure	44.4±7.6b	172.8±15.4bc	160.4±8.9b	50.4±5.0a	147.0±12.1bc	131.6±15.5bc	30.8±5.9bc	12.6±2.1bc	750.0±21.1c
粪沙混 Mix manure and sand	135.6±9.5a	249.2±30.0ab	105.2±8.1bc	76.8±22.1a	249.8±14.8a	161.8±9.0ab	62.0±7.4ab	23.0±6.5ab	1 063.4±43.7b
粪沙分 Half manure and sand	112.0±14.7a	283.4±40.0a	252.0±41.9a	85.0±28.7a	215.8±22.6ab	192.8±12.2a	95.4±10.0a	53.2±16.6a	1 289.6±28.5a
粪液沙 Manure liquid sand	11.6±3.6b	104.4±10.4c	50.2±9.3c	67.0±12.9a	169.0±25.6b	140.6±14.8bc	57.2±10.7bc	30.6±5.0ab	630.6±53.9c
细沙 Sand	9.4±4.2b	76.6±16.9c	44.4±15.4c	32.0±4.9a	79.8±4.4c	94.8±7.8c	26.4±3.3c	30.8±2.7ab	394.2±33.8d

表中数据为平均数±标准误；每列数据后标有不同字母表示差异显著 (Tukey 法, 显著水平 $P<0.05$)。下表同。
Data in the table are mean±SE, and followed by different letters indicate significantly different ($P<0.05$). The same below.

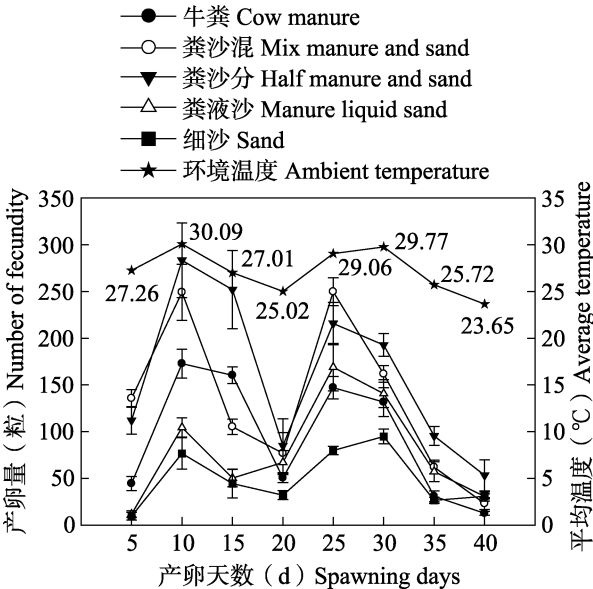


图 1 5 种基质模式下白星花金龟产卵量与
环境温度的关系

Fig. 1 The relationship of temperature and the
fecundity of *Proteatia brevitarsis* in treatments of
five spawning substrate patterns

由表 3 可知, 5 种基质模式下白星花金龟成虫死亡率在群体、雌虫和雄虫 3 个指标上均无显著差异, 群体死亡率高低顺序为粪沙分>粪沙混>牛粪≈粪液沙≈细沙。在幼虫孵化率上, 5 种基质模式下所产有效卵率均在 90%以上, 且各处理之间无显著差异, 粪沙分处理下孵化率最高, 为 92.40%。

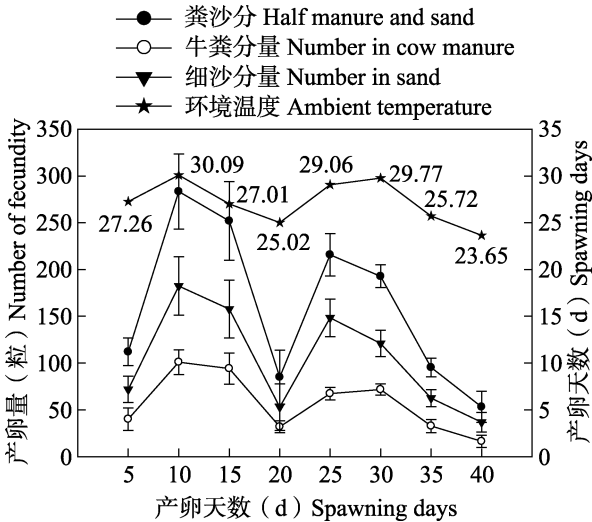


图 2 粪沙分基质模式下白星花金龟产卵量与
环境温度的关系

Fig. 2 The relationship of temperature and the
fecundity of *Proteatia brevitarsis* in half manure and
sand spawning substrate pattern

2.2 性比对白星花金龟生殖力的影响

由表 4、图 4 可知, 白星花金龟单雌产卵量仅在第 15-20 天产卵周期下表现为雌雄比 R 5 : 7 和 R 8 : 4 之间差异显著, 而其它两两之间的比较差异均不显著。不同天数下白星花金龟单雌产卵量变化与环境温度变化趋势一致, 形成第 5-10 天的产卵大高峰和第 30-35 天的产卵小高峰。

表 2 白星花金龟在粪沙分基质两分量中产卵量的差异
Table 2 The fecundity differences of *Proteatia brevitarsis* in spawning substrate with the two components of half manure and sand

粪沙分基质 Half manure and sand substrate	产卵量 (粒) Number of fecundity							
	5 d	10 d	15 d	20 d	25 d	30 d	35 d	40 d
牛粪分量 Number in cow manure	40.2±12.0	101.0±13.2	94.2±16.7	32.0±6.5	67.4±6.6	71.8±6.1	32.8±7.1	16.4±6.5
细沙分量 Number in sand	71.8±14.1*	182.4±31.3*	157.8±31.0*	53.0±24.9*	148.4±20.1*	121.0±14.2*	62.6±9.1*	36.8±10.4*
总计 Total								833.8±38.5*

采用独立样本 *T*-检验, *表示差异显著。
Using independent sample *T*-test, * means significantly different.

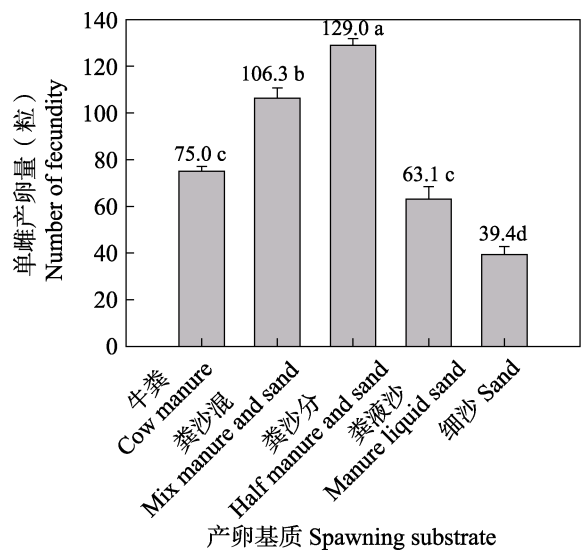


图 3 5 种基质模式下白星花金龟单雌产卵量
Fig. 3 The fecundity of *Proteatia brevitarsis* in treatments of five spawning substrate patterns
数据为平均数±标准误; 柱上标有不同字母表示差异显著 (Tukey 法, 显著水平 *P*<0.05)。
Data are mean±SE. Histograms with different letters indicate significantly different by Tukey test (*P*<0.05).

由图 5 可知, 整体上看, 白星花金龟群体产卵量呈现随雌雄比的增大而增大的趋势, 而单雌产卵量则与之相反, 但就各处理而言, 群体产卵量和单雌产卵量均无显著差异。40 d 的产卵期下, 各处理单雌产卵量均在 100 粒以上, 最高达 144.10 粒, 合 3.60 粒/d。
由表 5、图 6 可知, 5 个处理间白星花金龟成虫死亡率和幼虫孵化率均无显著性差异, 雌雄比 R 5 : 7 和 R 6 : 6 下死亡率相对较低; 幼虫孵化率随雌雄比的增大而略有降低, 但平均孵化率都在 90% 以上。

3 结论与讨论

昆虫的产卵行为选择较为复杂, 融合了味觉和触角感受, 但都可以归结到为了自身补充营养或 (和) 后代营养需求的目标上来 (王争艳, 2008)。白星花金龟在自然界中喜产卵于未腐熟的畜禽粪便、作物秸秆等有机废弃物中, 说明其

表 3 5 种基质模式下白星花金龟成虫死亡率和幼虫孵化率的差异
Table 3 Differences of the adult mortality and the larvae hatching rate of *Proteatia brevitarsis* in treatments of five spawning substrate patterns

基质 Substrate	死亡率 (%) Mortality rate			幼虫孵化率 (%) Larvae hatching rate
	群体 Group	雌虫 Female	雄虫 Male	
牛粪 Cow manure	19.00±1.87a	22.00±2.00a	16.00±2.45a	92.00±0.63a
粪沙混 Mix manure and sand	23.00±4.64a	24.00±5.10a	22.00±4.90a	92.00±0.63a
粪沙分 Half manure and sand	29.00±2.45a	30.00±3.16a	28.00±2.00a	92.40±0.75a
粪液沙 Manure liquid sand	19.00±2.92a	18.00±3.74a	20.00±3.16a	92.00±0.63a
细沙 Sand	19.00±3.67a	18.00±3.74a	20.00±4.47a	91.60±0.75a

表 4 雌雄比对白星花金龟单雌产卵量的影响
Table 4 Effect of sex ratio on the fecundity of *Proteatia brevitarsis*

雌雄比 (R) Sex ratio	单雌产卵量 (粒) Number of fecundity							
	5 d	10 d	15 d	20 d	25 d	30 d	35 d	40 d
R 4 : 8	33.67±4.88a	30.00±9.46a	21.37±1.09a	17.58±1.31ab	7.83±1.84a	10.00±3.74a	17.75±2.92a	5.92±2.72a
R 5 : 7	28.40±3.25a	26.73±6.75a	21.27±1.55a	20.33±0.87a	10.08±1.67a	5.33±2.14a	14.60±1.14a	4.13±1.43a
R 6 : 6	28.87±4.25a	35.33±3.27a	22.73±1.23a	15.72±0.47ab	16.33±2.53a	9.94±2.41a	13.11±0.39a	6.50±0.63a
R 7 : 5	24.87±3.56a	28.60±1.31a	14.77±3.46a	14.71±2.15ab	15.08±1.96a	7.52±1.14a	14.76±2.90a	7.81±0.85a
R 8 : 4	27.63±3.70a	22.73±1.04a	14.10±0.95a	11.63±2.01b	12.75±0.66a	5.79±1.09a	11.71±2.14a	3.83±0.98a

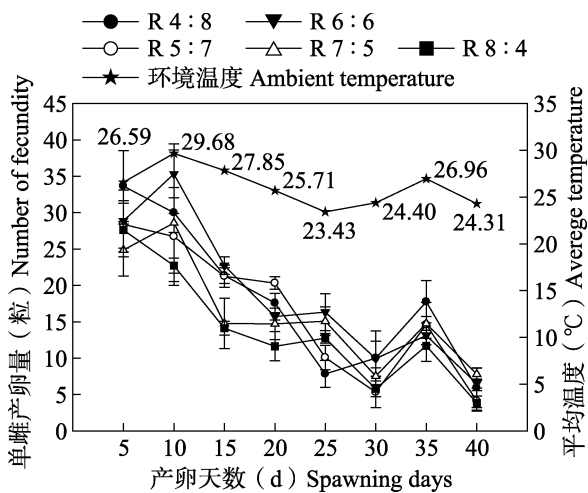


图 4 5 个雌雄比下白星花金龟单雌产卵量与
环境温度的关系

Fig. 4 The relationship of temperature and
the fecundity of *Proteatia brevitarsis* in
treatments of five sex ratios

R: 雌雄比。下图同。R: Sex ratio. The same below.

产卵行为选择偏向于为了幼虫的营养需求, 本实验中醇化牛粪相当于其原生产卵基质, 细沙是完

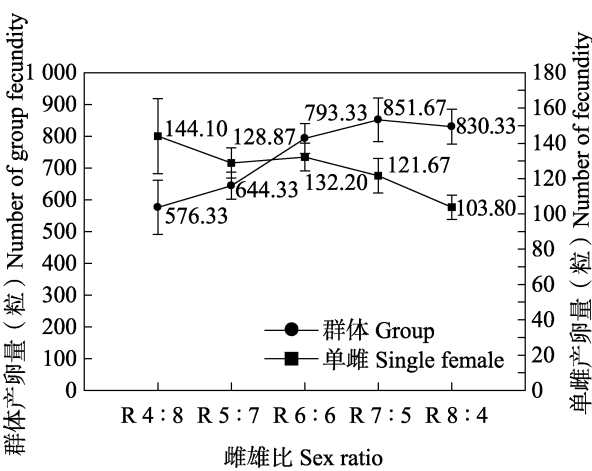


图 5 5 个雌雄比下白星花金龟群体和单雌产卵量
Fig. 5 The group and single fecundity of *Proteatia brevitarsis* in treatments of five sex ratios

全替代基质。白星花金龟单雌产卵量试验中, 牛粪>粪液沙>细沙, 且细沙基质产卵量与牛粪和粪液沙基质产卵量差异显著, 表明原生产卵基质是保证白星花金龟生殖力的必要条件。粪沙各半的 2 种产卵基质, 粪沙分显著优于粪沙混, 粪沙

表 5 5 个雌雄比下白星花金龟成虫死亡率和幼虫孵化率的差异
Table 5 Differences of the adult mortality and the larvae hatching rate of
Proteatia brevitarsis in treatments of five sex ratios

雌雄比 (R) Sex ratio	死亡率 (%) Mortality			幼虫孵化率 (%) Larvae hatching rate
	群体 Group	雌虫 Female	雄虫 Male	
R 4 : 8	36.11±2.78a	41.67±16.67a	33.33±4.17a	94.00±1.15a
R 5 : 7	33.33±4.81a	40.00±11.55a	28.57±0.00a	92.67±0.67a
R 6 : 6	33.33±4.81a	27.78±5.55a	38.89±5.56a	92.00±1.15a
R 7 : 5	38.89±7.35a	38.10±4.76a	40.00±11.55a	91.33±1.76a
R 8 : 4	36.11±5.56a	33.33±4.17a	41.67±8.33a	90.00±2.00a

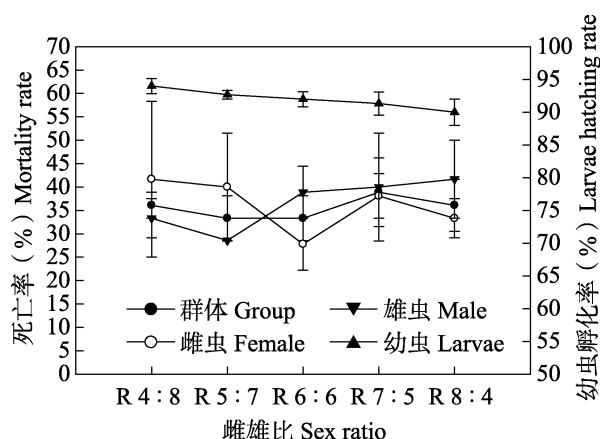


图 6 5 个雌雄比下白星花金龟成虫死亡率和幼虫孵化率折线图

Fig. 6 The adult mortality and the larvae hatching rate of *Proteatitia brevitarsis* in treatments of five sex ratios

混又显著优于牛粪,表明细沙的加入,改善了产卵小生境,且牛粪和细沙复合产卵基质模式比牛粪基质提升生殖力的效果显著,超 70%,可能与细沙体系创造了更优的温湿度条件和提供了又一个产卵“篮子”有关,但其改善白星花金龟生殖力的机理需要进一步探究。因此,下一步可以从改善白星花金龟产卵小生境入手,进一步筛选更佳的产卵基质模式,本文设计复合产卵基质模式的思想,可为其他产卵于固体基质中的昆虫提高生殖力提供借鉴。

研究表明,自然条件下,诱集得到的白星花金龟雌雄比数据差别较大,但都在本实验设计的雌雄比在 0.5-2.0 之间(王萍莉等, 2016)。雌雄比不同则雌虫得到的交配几率和多余雌雄虫对配对雌雄虫的干扰几率不同,本实验结果表明,性比对单雌产卵量无显著影响,而人工繁育群体实际的雌雄比接近 1:1(未发表数据)。因此,维持繁育群体性比 1:1,不仅方便实际生产操作,而且有助于白星花金龟发挥其生殖潜力。

参考文献 (References)

- Ahn EM, Myung NY, Jung HA, Kim SJ, 2019. The ameliorative effect of *Protaetia brevitarsis* larvae in HFD-induced obese mice. *Food Science and Biotechnology*, 28(4): 1177–1186.
- Cui CA, Li L, Yang WS, Sun S, 2009. Pro-apoptotic effect of grub extract on A549 cells and its mechanism. *Liaoning Journal of Traditional Chinese Medicine*, 36(8): 1317–1318. [崔春爱, 李莉, 杨万山, 孙抒, 2009. 蛴螬提取物诱导人肺癌 A549 细胞凋亡的机制研究. 辽宁中医杂志, 36(8): 1317–1318.]
- He C, Shen DR, Yin LH, Yuan SY, Tian XJ, 2017. Effects of different sex ratios on the longevity and fertility of *Assara inouei* adult. *Plant Protection*, 43(5): 62–66, 118. [何超, 沈登荣, 尹立红, 袁盛勇, 田学军, 2017. 不同性比对井上蛱斑蛱成虫寿命及生殖力的影响. 植物保护, 43(5): 62–66, 118.]
- Hu C, Wan XS, 1988. Studies on the sex ratio of *Pteromalus Puparum* L.. *Acta Entomologica Sinica*, 31(3): 332–335. [胡萃, 万兴生, 1988. 蝶蛹金小蜂性比的研究. 昆虫学报, 31(3): 332–335.]
- Ji BZ, Liu SW, Zhang K, 2011. *Entomological Basis and Common Species Identification*. Beijing: Science Press. 251–252. [嵇保中, 刘曙雯, 张凯, 2011. 昆虫学基础与常见种类识别. 北京: 科学出版社. 251–252.]
- Jin H, Sun S, Yu BY, Yang WS, Jin TF, 2008. Effects of the grub extract on apoptosis of MCF-7 human breast cancer cell line. *Chinese Journal of Pathophysiology*, 24(1): 93–96. [金华, 孙抒, 于柏艳, 杨万山, 金铁峰, 2008. 蛴螬提取物对 MCF-7 人乳腺癌细胞株凋亡的影响. 中国病理生理杂志, 24(1): 93–96.]
- Lai DQ, Wang QL, Wu Y, Su CL, Zhang Y, Liu CQ, 2019. Effect of *Protaetia brevitarsis* Lewis larvae dung on development of pepper seedling stage under low temperature. *Northern Horticulture*, (8): 63–66. [赖德强, 王庆雷, 吴娱, 束长龙, 张悦, 刘春琴, 2019. 白星花金龟幼虫粪对低温条件下辣椒苗期发育的影响. 北方园艺, (8): 63–66.]
- Li MM, Cheng YX, Xiao YH, Luo LZ, Jiang XF, Zhang L, 2014. Effects of sex ratio on reproductive potential and longevity of *Loxostege sticticalis* L.. *Journal of Applied Entomology*, 51(6): 1589–1596. [李敏敏, 程云霞, 肖永红, 罗礼智, 江幸福, 张蕾, 2014. 性比对草地螟生殖潜力和寿命的影响. 应用昆虫学报, 51(6): 1589–1596.]
- Li T, Ma DY, Qiang S, Wei Y, 2010. A study on hosts and the occurrence regularity of *Protaetia brevitarsis* Lewis in west suburb of Urumqi. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 47(2): 320–324. [李涛, 马德英, 羌松, 魏勇, 2010. 乌鲁木齐市西郊白星花金龟的寄主及发生规律研究. 新疆农业科学, 47(2): 320–324.]
- Li ZJ, Meng MM, Li SS, Deng B, 2019. The transcriptome analysis of *Protaetia brevitarsis* Lewis larvae. *PLoS ONE*, 14(3): e0214001.
- Liu FS, Feng XJ, Xi GC, Wu Y, Wang QL, 2018. The effects of *Protaetia brevitarsis* larva manure application on the growth of cherry radish. *Hubei Agricultural Sciences*, 57(4): 44–46, 50. [刘福顺, 冯晓洁, 席国成, 吴娱, 王庆雷, 2018. 白星花金龟幼虫粪对樱桃萝卜生长情况的影响. 湖北农业科学, 57(4): 44–46, 50.]
- Liu YS, Zhang DP, 2015. Study on the model of microcirculation

- farm and ranch on the corn straw transformed by larval of *Protaetia brevitarsis* Lewis. *Journal of Anhui Agri. Sci.*, 43(31): 85–87. [刘玉升, 张大鹏, 2015. 基于白星花金龟幼虫转化玉米秸秆的微循环农牧场模式研究. *安徽农业科学*, 43(31): 85–87.]
- Ma WZ, 1995. Chinese Economic Entomology (Coleoptera, Cetoniidea) (Vol. 46). Beijing: China Science and Technology Press. 94–95. [马文珍, 1995. 中国经济昆虫志(鞘翅目, 花金龟科)(第四十六册). 北京: 中国科技出版社. 94–95.]
- Qiu XX, Peng QH, Chen M, Peng J, Tan HY, Li WJ, 2012. Effect of holotrichia extractive on the expression of Ang1 and PEDF in choroidal neovascularization of rabbit. *International Eye Science*, 12(11): 2053–2058. [邱晓星, 彭清华, 陈梅, 彭俊, 谭涵宇, 李文娟, 2012. 蛭螬提取物对兔脉络膜新生血管中 Ang1 和 PEDF 表达的影响. *国际眼科杂志*, 12(11): 2053–2058.]
- Song XY, 2018. Ecological transformation of household wet garbage. *Urban and Rural Construction*, (14): 64. [宋绪洋, 2018. 家庭湿垃圾的生态转化处理. *城乡建设*, (14): 64.]
- Suh HJ, Kang SC, 2012. Antioxidant activity of aqueous methanol extracts of *Protaetia brevitarsis* Lewis (Coleoptera: Scarabaedia) at different growth stages. *Natural Product Research*, 26(6): 510–517.
- Sun CK, 2018. Study on the recycling mode of “wheat straw-stropharia rugosoannulata-Protaetia brevitarsis”. Master dissertation. Tai'an: Shandong Agricultural University. [孙晨可, 2018. “小麦秸秆—大球盖菇—白星花金龟”循环模式研究. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学.]
- Tan HY, Li JC, Peng J, Wen XJ, Zhou YS, Peng QH, 2018. Effects of different routes of medication of grub extract on wet age-related macular degeneration. *World Science and Technology-Modernization of Traditional Chinese Medicine*, 20(1): 109–117. [谭涵宇, 李建超, 彭俊, 文小娟, 周亚莎, 彭清华, 2018. 蛭螬提取物不同途径给药对激光诱导鼠眼 CNV 模型的影响. *世界科学技术-中医药现代化*, 20(1): 109–117.]
- Wang H, 2019. Little but multi-skilled insects have big roles. *Chinese Science Newspaper*, 2019-06-06(004). [王卉, 2019. 多技能傍身小昆虫有大作用. *中国科学报*, 2019-06-06(004).]
- Wang PL, Li XW, Zhang Y, Wen JB, 2016. Population dynamics and male-female ratio of *Protaetia brevitarsis* (Coleoptera: Cetoniidae) adult in different environments. *Northern Horticulture*, (22): 124–127. [王萍莉, 李小万, 张艳, 温俊宝, 2016. 异境中白星花金龟成虫种群动态及雌雄比. *北方园艺*, (22): 124–127.]
- Wang ZY, 2008. Study on the larval feeding and adult oviposition preference of two synanthropic fly species. Doctoral dissertation. Hangzhou: Zhejiang University. [王争艳, 2008. 家蝇与大头金蝇幼虫取食与成虫产卵行为研究. 博士学位论文. 杭州: 浙江大学.]
- Wang K, Li PP, Gao YY, Liu CQ, Wang QL, Yin J, Zhang J, Geng LL, Shu CL, 2019. De novo genome assembly of the white-spotted flower chafer (*Protaetia brevitarsis*). *GigaScience*, 8(4): 1–9.
- Xu MX, Gao GF, Yang SY, Sun J, Zhang CX, Xu CH, Lv Y, Zhang KY, 2008. Isolation and purification of antibacterial materials from *Protaetia brevitarsis* (Coleoptera) Larva. *Life Science Research*, 12(1): 53–56. [徐明旭, 高国富, 杨寿运, 孙捷, 张崇星, 徐春花, 吕毅, 张克云, 2008. 白星花金龟(*Protaetia brevitarsis*)幼虫抗菌物质的分离纯化. *生命科学研究*, 12(1): 53–56.]
- Yang C, Liu YS, Xu XY, Zhang JW, 2014a. Analysis and evaluation of resource components of *Protaetia brevitarsis* (Lewis) larvae. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition)*, 45(2): 166–170. [杨诚, 刘玉升, 徐晓燕, 张建巍, 2014a. 白星花金龟幼虫资源成分分析及评价. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 45(2): 166–170.]
- Yang C, Liu YS, Xu XY, Zhao L, 2015. The study on the effect of *Protaetia brevitarsis* Lewis larvae transformation the corn straw. *Journal of Environmental Entomology*, 37(1): 122–127. [杨诚, 刘玉升, 徐晓燕, 赵莉, 2015. 白星花金龟幼虫对醇化玉米秸秆取食效果的研究. *环境昆虫学报*, 37(1): 122–127.]
- Yang C, Zhang Q, Liu YS, 2014b. Effects of nourishment and humidity on reproduction of *Protaetia brevitarsis* (Lewis) adult. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition)*, 45(4): 498–501. [杨诚, 张倩, 刘玉升, 2014b. 营养和湿度对白星花金龟成虫生殖的影响. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 45(4): 498–501.]
- Yoon HS, Lee CS, Lee SY, Choi CS, Lee IH, Yeo SM, Kim HR, 2003. Purification and cDNA cloning of inducible antibacterial peptides from *Protaetia brevitarsis*. *Archives of Insect Biochemistry & Physiology*, 52(2): 92–103.
- Zhang GJ, Wang Q, Liu YS, Li ZA, 2019. Study on the transformation capability of four materials in different fermentation cycles fed by *Protaetia brevitarsis* (Coleoptera: Cetoniidae) larvae. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition)*, 50(5): 764–767, 804. [张广杰, 王倩, 刘玉升, 李增安, 2019. 白星花金龟幼虫对不同醇化周期四种物料的转化力研究. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 50(5): 764–767, 804.]
- Zhang Q, 2015. Study on the biology of *Protaetia brevitarsis* (Lewis) feeding on oyster mushroom bran. Master dissertation. Tai'an: Shandong Agricultural University. [张倩, 2015. 取食平菇菌糠的白星花金龟生物学研究. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学.]
- Zhang YT, Du JJ, Liu HF, 2014. Effect of temperature and substrate on egg yield of *Blaps rynchopetera* Fairmaire. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 32(2): 213–217. [张玉托, 堵晶晶, 刘海峰, 2014. 温度、基质对喙尾琵琶甲产卵量的影响. *四川农业大学学报*, 32(2): 213–217.]