



张广杰, 王倩, 刘玉升. 白星花金龟人为条件生物学与应用潜力 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (2): 257–266.

白星花金龟人为条件生物学与应用潜力

张广杰, 王倩, 刘玉升*

(山东农业大学植物保护学院, 山东泰安 271018)

摘要: 本文选取人工饲养的东亚飞蝗虫砂作为白星花金龟 *Potosia brevitaris* Lewis 幼虫饲料、成虫产卵基质进行人为条件下的生物学研究。测定了其在不同温度条件下各虫态发育历期、不同食物下成虫单雌产卵量、不同孵化周期条件下东亚飞蝗虫砂 2 龄、3 龄幼虫的转化力; 分析了幼虫虫体和虫砂的主要营养成分; 实施了虫砂盆栽小白菜试验。结果显示, 白星花金龟适宜的繁育温度为 22~28℃, 25℃ 全世代发育历期为 126.62 (±1.05) d; 以 11 种水果为食料, 成虫单雌产卵量顺序为: 芒果>菠萝>葡萄>苹果>桃>梨>西瓜>甜瓜>李子>杏>西红柿, 最高 207 粒, 最低 68 粒; 东亚飞蝗虫砂孵化周期与取食龄期的最佳对应组合分别为 2 龄 30 d 和 3 龄 25 d, 折合每转化 100 g 可增长 2 龄虫体 3.04 g、产生虫砂 81.90 g 或 3 龄虫体 4.37 g、虫砂 74.48 g; 3 龄幼虫含蛋白质 (53.8%)、脂肪 (6.6%)、18 种氨基酸 (44.68%), 是昆虫源高蛋白原料; 虫砂含有机质 (18.72%) 和氮磷钾 (5.95%)。盆栽小白菜试验表明, 1 cm² 施用 0.13 g, 效果最佳。水果残余物作为白星花金龟成虫食物, 东亚飞蝗虫砂作为成虫产卵基质和幼虫繁育饲料, 保持适宜温光条件, 可以实现白星花金龟周年繁育。白星花金龟虫体和虫砂在生态循环农业、医药等领域具有应用潜力。

关键词: 白星花金龟; 东亚飞蝗虫砂; 生物学; 繁育; 应用潜力

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2020) 02-0257-010

Biology under artificial condition and utilization potential of *Potosia brevitaris* (Coleoptera: Cetoniidea)

ZHANG Guang-Jie, WANG Qian, LIU Yu-Sheng* (College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Taian 271018, Shandong Province, China)

Abstract: The dung-sand of *Locusta migratoria manilensis* (Meyen) by artificial rearing was selected to study the artificial biology of *Potosia brevitaris* Lewis as the feed of the larvae and the ovipositional substrates of the adults in this paper. The developmental durations of all instars at different temperatures, the adult fecundity feeding different kinds of food, and the transformation capability of 2nd and 3rd instar larvae to the different fermentation cycles of *L. migratoria manilensis* dung-sand were determined, and the main components of the larvae and dung-sand were analyzed, and the dung-sand from *P. brevitaris* rearing was used to fertilize the vegetable plantation. The results showed that the preferably temperature for *P. brevitaris* was 22~28℃, and the whole generation developmental durations were 126.62 (±1.05) d at 25℃; with 11 kinds of fruits as food, the order of adult fecundity was ranged: mango>pineapple>grape>apple>peach>pear>watermelon>melon>plum>apricot>tomato, with maximum 207 eggs and minimum 68 eggs; the best corresponding combinations of the fermentation cycles of the dung-sand of *L.*

基金项目: 山东省重点研发计划 (鲁渝科技协作, 2019LYXZ010); 山东省农业重大应用技术创新项目 (SD2019ZZ015); 中国烟草总公司山东省公司科技重大专项和重点项目 (201907)

作者简介: 张广杰, 男, 1991 年生, 河南民权县人, 硕士研究生, 研究方向为城市与资源昆虫学, E-mail: 18763828272@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 刘玉升, 男, 博士, 教授, 研究方向为资源昆虫, E-mail: ysl8877@163.com

收稿日期 Received: 2019-09-24; 接受日期 Accepted: 2020-02-04

migratoria manilensis and feeding instars were 30 d for the 2nd instar and 25 d for the 3rd instar larvae, and each feeding can convert 3.04 g 2nd instar larvae and produce 81.90 g dung-sand, or 4.37 g 3rd instar larvae and 74.48 g dung-sand were obtained when the larvae fed 100 g fodder; the 3rd instar larvae contained protein (53.8%), fat (6.6%) and 18 kinds of amino acids (44.68%), as a high-protein insect material; the dung-sand contained organic matter (18.72%) and NPK (5.95%), and was used to fertilize the potted *Brassica rapa chinensis* with best concentration of 0.13 g for 1 cm² field. Selecting the fruits residue as adult food, and the *L. migratoria manilensis* dung-sand as the feed of the larvae and the ovipositional substrates of the adult, and maintaining proper temperature and light conditions, the yearly rearing of *P. brevitarsis* can be realized. The *P. brevitarsis* larvae body and dung-sand from their rearing have application potential in ecological recycle agriculture and medicine.

Key words: *Potosia brevitarsis* Lewis; *Locusta migratoria manilensis* (Meyen) dung-sand; biology; rearing; utilization potential

白星花金龟 *Potosia brevitarsis* Lewis 是隶属于鞘翅目 Coleoptera 花金龟科 Cetoniidae 的腐食性昆虫。分布范围广, 2001 年首次在新疆北疆地区被发现(郭文超等, 2004), 目前为止, 白星花金龟已全国性分布。国外主要分布在蒙古、朝鲜、韩国、日本、俄罗斯等国家(嵇保中等, 2011)。成虫食性广, 能取食包括农作物、果树、瓜果、林木、杂草等几百种植物, 迁飞能力强、取食量大、抗逆性强, 且群集生活, 在自然界对植物造成了一定的危害(李涛等, 2010)。因此, 将白星花金龟成虫作为农业(陈日翌等, 2006)和林果业害虫, 对其综合防治技术(何笙等, 2006)与发生机理(郝双红等, 2005; 高有华和于江南, 2011; Chen *et al.*, 2013; Chen *et al.*, 2014)的研究居多。

白星花金龟幼虫为腐食性蛴螬, 在自然界中存在于腐烂的秸秆、烂草堆和久放的畜禽粪便中。近年来, 环境污染和有机废弃物随意堆弃问题日趋严重, 白星花金龟“大自然清道夫”的功能受到关注。研究表明, 白星花金龟幼虫对醇化的玉米 *Zea mays* 秸秆(杨诚等, 2015; 刘玉升和张大鹏, 2015)、食用菌菌糠(张倩, 2015; 孙晨可, 2018)等有机废弃物有较强的转化能力。杨诚等(2014a)测定并评价了白星花金龟幼虫营养成分, 认为其可作为理想的昆虫源蛋白饲料原料。刘福顺等(2018)的盆栽肥效试验初步证明, 白星花金龟虫砂是一种优良的有机肥, 其在低温下能够促进辣椒苗期的生长和提高耐寒能力(赖德强等, 2019)。虫体在抗癌(杨万山等, 2006; 金华等, 2008; 崔春爱等, 2009)、明目(邱晓星等, 2012; 谭涵宇等, 2018)、活性成分利用(徐明旭

等, 2008; Suh & Kang, 2012)等医药上的研究, 也取得进展, 幼虫也被应用于对重金属的生化反应研究(Yin *et al.*, 2018)。李小万和王萍莉(2018)探索了白星花金龟成虫甲壳素提取工艺。

相比于白星花金龟的应用潜力, 其人为繁育生物学研究严重不足(杨诚等, 2014b), 在一定程度上阻碍了白星花金龟资源潜力的发挥。越冬虫源调查发现, 人工饲养的东亚飞蝗 *Locusta migratoria manilensis* (Meyen) 虫砂堆中, 白星花金龟老熟幼虫密度达 7.5 kg/m², 自然繁殖量远高于牛粪、秸秆堆。本文选取东亚飞蝗虫砂作为白星花金龟幼虫饲料、成虫产卵基质进行人为条件下的生物学研究, 以期探索白星花金龟的生殖潜力、转化力和资源利用价值, 为白星花金龟的高效繁育和发挥应用潜力提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 主要实验原料

东亚飞蝗虫砂(人工饲料为墨西哥玉米草 *Purus frumentum*)和白星花金龟(山东农业大学植保实验站)、11 种常见水果(山东农业大学南校区小吃街我浓果园水果店)、RW 促腐剂(鹤壁市人元生物技术有限公司)、小白菜 *Brassica rapa chinensis* (山东农业大学农大种业有限公司)。

1.1.2 主要实验仪器或器具

智能人工气候箱(RZX-380A, 宁波江南仪器厂制造)、高速多功能粉碎机(WJX-800A 型, 上海缘沃工贸有限公司)、电热恒温鼓风干燥箱(DHG-9076A 型, 上海精宏实验设备有限公司)、

电冰箱 (BC/BD-147NA, 澳柯玛股份有限公司)、电子台秤 (A11B-LED 型, 中国凯飞集团)、电子天平 (JM-A10002 型, 余姚市纪铭称重核验设备有限公司)、家用微波炉 (M1-L202B 型, 广东美

的厨房电器制造有限公司)、自制蛹化和羽化观察器具 (图 1)、分离筛 (8 目、12 目、16 目、30 目)、养殖盒、花盆。

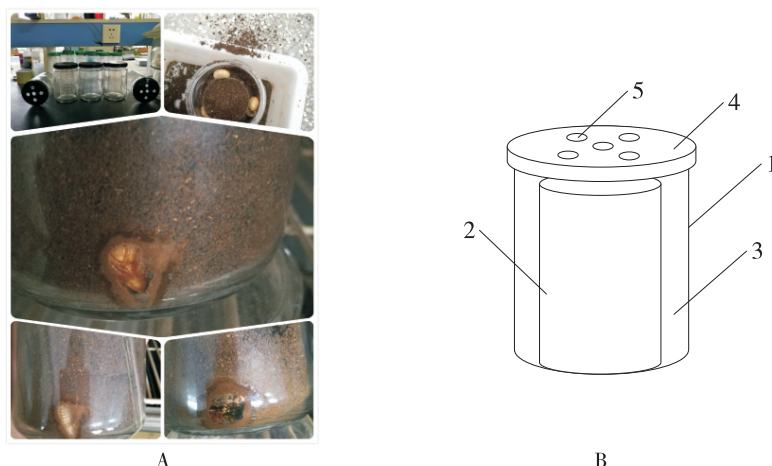


图 1 自制蛹化和羽化观察器具

Fig. 1 Self-made appliance of observing pupation and emergence

注: A, 制作器具、蛹化和羽化全程观察实物图; B, 器具模型图; 1, 玻璃瓶; 2, 塑料筒; 3, 空腔; 4, 瓶盖; 5, 通孔。Note: A, physical diagram of observing the whole process of pupation & emergence and making appliance; B, appliance model diagram; 1, glass bottle; 2, plastic cylinder; 3, cavity; 4, bottle cap; 5, through hole.

1.2 实验方法

1.2.1 温度对白星花金龟发育历期的影响

分别设置智能人工气候箱为 ($L:D = 16:8$ 、 $RH75\% \pm 5\%$) 19°C 、 22°C 、 25°C 、 28°C 、 31°C 、 34°C 6 个温度梯度, 用于饲养白星花金龟, 产卵和孵化基质、幼虫饲料为腐熟的东亚飞蝗虫砂, 成虫饲喂苹果 *Malus domestica* Borkh.。

(1) 卵期: 挑选处于产卵高峰的同一批雌虫同一天产的卵, 每组 100 粒, 每个温度梯度设置 3 个重复, 分别放入填充 6 cm 厚腐熟东亚飞蝗虫砂 ($WC = 55\% \pm 5\%$) 的养殖盒 ($22\text{ cm} \times 15\text{ cm} \times 8\text{ cm}$), 卵置于基质核心处, 每天检查和详细记录养殖盒中卵的孵化情况及基质湿度。

(2) 幼虫期: 分别挑选同一天孵化的幼虫, 每组 20 头放入填充 6 cm 厚腐熟东亚飞蝗虫砂 ($WC = 55\% \pm 5\%$) 的养殖盒 ($22\text{ cm} \times 15\text{ cm} \times 8\text{ cm}$) 作为 1 个处理, 每个处理设 5 个重复, 每周更换一次幼虫饲料, 每天记录幼虫生长和做土室情况。

(3) 蛹期: 分别挑选日龄和状态一致的老熟幼虫, 每 3 头作为 1 组放入自制观察器具中, 器具夹层充满腐熟东亚飞蝗虫砂 ($WC = 55\% \pm 5\%$),

待老熟幼虫在器具中开始作土室时进行记录, 从中挑选能够同时观察 3 头老熟幼虫发育状态的 20 组作为重复, 每天观察老熟幼虫化蛹、成虫羽化和出土室情况, 并做详细记录。

(4) 产卵前期: 待各自温度梯度内成虫出土室时, 挑选同一天羽化的成虫按雌雄比 1:1 进行配对, 每对置于透明罐头瓶 ($\Phi 8\text{ cm} \times h 12\text{ cm}$, 纱网盖) 中饲养, 瓶底铺 6 cm 厚腐熟东亚飞蝗虫砂 ($WC = 55\% \pm 5\%$), 每 2 d 饲喂并更换 1 cm $\times$ 1 cm $\times$ 1 cm 大小的苹果, 每个罐头瓶作为 1 个重复, 每处理设置 20 个重复, 每天观察产卵情况并做详细记录。

1.2.2 食物对白星花金龟单雌产卵量的影响

选取水果店常见的西瓜 *Citrullus lanatus*、葡萄 *Vitis vinifera*、桃 *Amygdalus persica*、苹果、梨 *Pyrus* spp.、甜瓜 *Cucumis melo*、菠萝 *Ananas comosus*、芒果 *Mangifera indica*、杏 *Armeniaca vulgaris*、李子 *Prunus salicina*、西红柿 *Lycopersicon esculentum* 11 种水果作为供试食物。取同一时期初羽化且同一天抱对成虫 44 对, 平分为 11 组用不同水果单对饲养。产卵基质为厚 6 cm 的腐熟东亚飞蝗虫砂 ($WC = 55\% \pm 5\%$), 置于智能人工气候箱 ($T =$

25℃、L:D = 16:8、RH75% ± 5%) 中培养, 每个处理每 2 d 分别饲喂 1 cm × 1 cm × 1 cm 大小的食物, 每 5 d 调查一次单对产卵量, 每天观察成虫状态, 直至雌虫死亡, 每组选择单雌产卵量表现好的 3 对计入统计数据。

1.2.3 虫砂酵化周期对白星花金龟幼虫转化力的影响

取东亚飞蝗虫砂 250 kg, 添加 1‰ RW 促腐剂 (cfu ≥ 10.0 × 10⁹/g), 调节虫砂含水量为 70%, 堆成馒头状并加盖塑料薄膜好氧酵化, 每 5 d 于堆体中心取样 2 kg, 取样后翻堆, 每次取样后将样品置于冰箱冷冻保存, 一直取到第 35 天。取样完成后, 将样品自然解冻后在 50℃ 的烘箱中烘干至恒重, 粉碎后过 16 目筛后备用。白星花金龟幼虫共 3 龄, 1 龄期较短, 且取食量较少, 仅选择 2 龄、3 龄初期相同状态的白星花金龟幼虫作为供试虫体, 两个龄期分别进行转化酵化 5、10、15、20、25、30、35 d 7 个物料处理, 每标准盒 (1 000 mL, 17 cm × 11.5 cm × 6.5 cm) 加干料 60 g, 调节并控制物料含水量为 50%, 分别放 2 龄幼虫 30 头, 3 龄幼虫 15 头, 置于智能人工气候箱 (T=25℃、L:D=12:12、RH75% ± 5%) 中, 每天观察幼虫死亡情况, 并及时补充条件一致的虫体。连续饲喂 10 d, 第 11 天将虫体拣出称鲜重, 将剩余物料、虫砂和部分虫体烘干, 称量累计增重量、累计取食量和累计排砂量 (均以干重计), 参考刘玉升 (2012) 计算饲料利用率、虫体转化率、虫砂转化率、近似消化率和死亡率。计算公式 (质量单位 mg):

饲料利用率 (ECI) = (总饲料量 - 剩余饲料量) / 总饲料量 × 100%

虫体转化率 (ECD) = 虫体增重量 / (取食量 - 排砂量) × 100%

虫砂转化率 (ECD) = 虫砂量 / (取食量 - 虫体增重量) × 100%

近似消化率 (AD) = (取食量 - 排砂量) / 取食量 × 100%

死亡率 = 死亡虫数 / 供试虫数 × 100%

1.2.4 白星花金龟幼虫干虫主要营养成分测定

取饲喂腐熟东亚飞蝗虫砂的白星花金龟 3 龄 25 日龄幼虫, 饥饿处理 1 d, 待排空体内虫砂后洗净、晾干后用微波炉烘干, 粉碎至可完全过 30 目筛的粉末送检。测定水分 (GB 5009.3-2016)、粗

蛋白质 (GB 5009.5-2016)、粗脂肪 (GB 5009.6)、粗纤维 (GB/T 5009.10-2003)、粗灰 (GB 5009.4-2016)、18 种氨基酸 (胱氨酸和色氨酸 (GB/T 18246-2000), 余 16 种 (GB 5009.124-2016))。

1.2.5 白星花金龟幼虫虫砂主要营养成分测定和盆栽试验

(1) 收集饲喂腐熟东亚飞蝗虫砂的白星花金龟 3 龄幼虫虫砂过 8 目和 12 目筛除杂, 留 12 目筛之上部分, 经鼓风干燥箱在 50℃ 下烘干后送检。测定有机质 (重铬酸钾容量法)、氮 (半微量凯氏定氮法)、磷 (采用钼黄光度法)、钾 (火焰光度法) 和 pH 值参照 NY525-2012; 氯离子含量参照 GB/T 24890-2010 标准。

(2) 盆栽试验于 2018 年 4 月在山东农业大学植保实验站进行, 实验土壤 pH 8.2、有机质 1.18%、总氮 0.24%、磷 0.41%、钾 0.99%, 每盆 (口内 Φ 21 cm × 底 Φ 15.5 cm × h 18 cm) 装土壤 3 kg, 虫砂用量 (干重) 分别为 0、15、30、45、60 和 75 g 每盆, 虫砂仅与上面 10 cm 的土壤混匀。每处理重复 3 次。每盆直播小白菜 5 穴, 每穴 6 粒种子, 待 2 个真叶后每穴保留长势良好的 1 株。在小白菜整个试验过程中常规一致管理。定株 1 个月后从每盆中选择表现最好的 1 株测量小白菜的地上高度、根系深度、地上部鲜重和地下部鲜重。

1.3 数据处理

运用 IBM SPSS Statistics 23 对试验数据进行统计分析, 得到平均值及标准误差, 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、整理数据和绘制图表。

2 结果与分析

2.1 温度对白星花金龟发育历期的影响

在 19~34℃ 6 个温度梯度范围内, 随温度的升高, 白星花金龟各虫态和全世代发育历期都缩短, 但 34℃ 与 31℃ 条件下差异不显著。全世代发育历期由 226.40 (± 3.10) d 缩短到 89.06 (± 1.00) d。

表 1 温度对白星花金龟发育历期的影响

Table 1 Effect of temperatures on developmental durations of *Potosia brevitaris*

温度 (℃) Temperature	卵发育历 (d) Developmental durations of egg	幼虫发育历期 (d) Developmental durations of larva	蛹发育历期 (d) Developmental durations of pupa	产卵前发育历期 (d) Developmental durations of pre-oviposition adult	全世代发育历期 (d) Developmental durations of whole generation
19	12.24 ± 0.14 a	112.92 ± 1.54 a	55.8 ± 1.08 a	45.43 ± 0.45 a	226.40 ± 3.10 a
22	10.01 ± 0.08 b	86.07 ± 1.44 b	38.60 ± 0.57 b	32.73 ± 0.50 b	167.42 ± 1.56 b
25	8.52 ± 0.28 c	65.59 ± 0.94 c	27.83 ± 0.55 c	24.67 ± 0.35 c	126.62 ± 1.05 c
28	7.47 ± 0.24 cd	56.54 ± 0.26 d	18.62 ± 0.43 d	14.31 ± 0.37 d	96.95 ± 1.29 d
31	7.04 ± 0.34 d	53.43 ± 0.90 d	17.41 ± 0.56 d	13.09 ± 0.20 e	90.98 ± 1.69 d
34	6.51 ± 0.23 d	53.20 ± 0.47 d	16.73 ± 0.39 d	12.62 ± 0.73 e	89.06 ± 1.00 d

注: 表中数据为平均数 ± 标准误; 表中每列数据后不同字母表示差异显著 (Tukey 法, 显著水平 $P < 0.05$)。下表同。
Note: Data in the table are Mean ± SE; Columns with different letters indicate significant difference ($P < 0.05$). The following tables are indicated as the same.

2.2 食物对白星花金龟单雌产卵量的影响

以 11 种水果为食料, 白星花金龟单雌产卵量 (图 2) 以芒果、菠萝表现最好, 单雌产卵量最高达 207 粒; 葡萄、苹果次之, 平均单雌产卵量在 190 粒左右; 桃、梨、西瓜、甜瓜位居第 3; 李子、

杏、西红柿表现最差, 单雌产卵量最低仅 68 粒。分析并粗略测定 11 种水果含糖量 (数据未列出) 可知, 取食含糖量较高水果的单雌产卵量表现较好, 可见, 在一定程度上, 水果的含糖量越高, 越能够提高单雌产卵量。

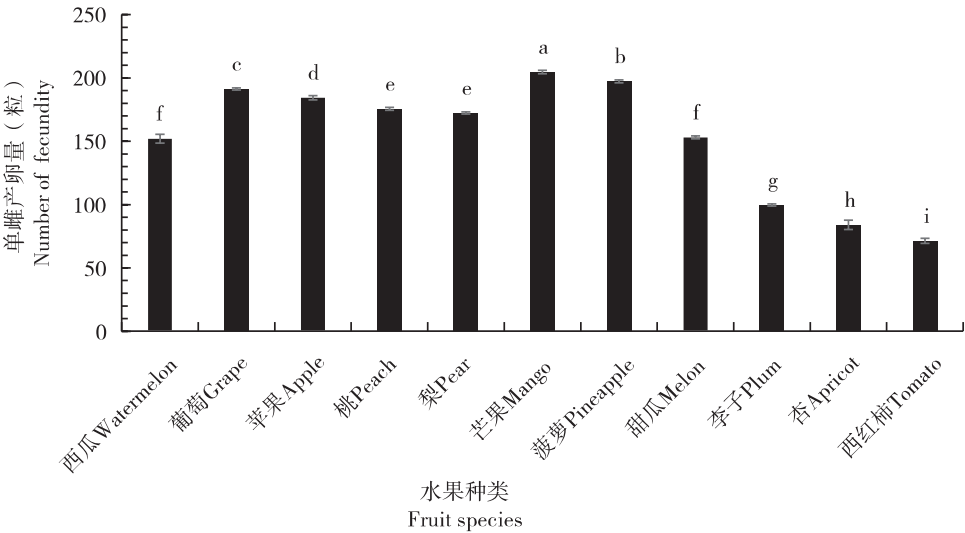


图 2 不同水果对白星花金龟成虫单雌产卵量的影响

Fig. 2 Effect of different fruits on the egg numbers per of *Potosia brevitaris* female

2.3 东亚飞蝗虫砂酵化周期对白星花金龟幼虫转化力的影响

随酵化周期的延长, 白星花金龟 2 龄幼虫累计增重量呈波动性增长, 在 30 d 时达到最大 (1.275 g ± 0.060 g), 35 d 又略微下降; 累计取食

量和累计排砂量均呈现波动性增长; 累计死亡率随酵化周期延长整体呈下降趋势, 30 d 时死亡率最低。分析可得出, 酵化 30 d 的东亚飞蝗虫砂作为白星花金龟 2 龄幼虫饲料效果最佳。此条件下经折合, 每取食 100 g 酵化东亚飞蝗虫砂可增长 2 龄虫体 3.04 g, 产生虫砂 81.90 g。

表 2 白星花金龟 2 龄幼虫对不同酵化周期东亚飞蝗虫砂的转化力

Table 2 Transformation capability of the 2nd instar larvae of *Potosia brevitarsis* to the different fermentation cycle of the *Locusta migratoria manilensis* dung-sand

酵化周期 (d)	累计增重量 (g)	累计取食量 (g)	累计排砂量 (g)	累计死亡率 (%)
Fermentation cycle	Cumulative larval dry weight	Cumulative consumed food	Cumulative excrement weight	Cumulative mortality
5	1.003 ± 0.104 a	36.16 ± 2.59 c	28.70 ± 2.16 c	25.56 ± 2.94 a
10	0.988 ± 0.052 a	37.38 ± 0.90 bc	30.66 ± 0.09 bc	18.89 ± 2.22 a
15	1.042 ± 0.019 a	38.36 ± 0.49 abc	31.32 ± 0.72 bc	18.89 ± 2.22 ab
20	1.081 ± 0.092 a	36.67 ± 0.52 c	29.55 ± 0.31 c	17.78 ± 2.94 ab
25	1.047 ± 0.050 a	36.60 ± 0.40 c	31.56 ± 0.29 bc	15.56 ± 2.94 ab
30	1.275 ± 0.060 a	41.99 ± 0.40 ab	34.39 ± 0.44 ab	10.00 ± 1.92 b
35	1.073 ± 0.007 a	43.15 ± 0.36 a	37.72 ± 0.76 a	15.55 ± 2.22 ab

白星花金龟 3 龄幼虫取食不同酵化周期的东亚飞蝗虫砂在累计增重量上差异不显著, 酵化 25 d 时增重量表现最好, 但酵化周期短的死亡率较高, 而酵化 25 d 时死亡率最低; 累计取食量和累计排砂量呈正相关, 随酵化周期的延长呈先增、

中降、后升的规律, 分析可知, 作为白星花金龟 3 龄幼虫饲料的东亚飞蝗虫砂最佳酵化周期为 25 d。此条件下经折合, 每取食 100 g 酵化东亚飞蝗虫砂可增长 3 龄虫体 4.37 g, 产生虫砂 74.48 g。

表 3 白星花金龟 3 龄幼虫对不同酵化周期东亚飞蝗虫砂的转化力

Table 3 Transformation capability of the 3rd instar larvae of *Potosia brevitarsis* to the different fermentation cycle of the *Locusta migratoria manilensis* dung-sand

酵化周期 (d)	累计增重量 (g)	累计取食量 (g)	累计排砂量 (g)	累计死亡率 (%)
Fermentation cycle	Cumulative larval dry weight	Cumulative consumed food	Cumulative excrement weight	Cumulative mortality
5	1.722 ± 0.034 a	45.88 ± 0.36 abc	36.15 ± 0.84 ab	22.22 ± 2.22 a
10	1.812 ± 0.159 a	46.17 ± 0.65 abc	35.66 ± 0.47 ab	22.22 ± 5.88 a
15	1.766 ± 0.217 a	48.17 ± 1.22 ab	36.56 ± 1.62 ab	17.78 ± 5.88 ab
20	1.666 ± 0.112 a	44.08 ± 0.57 c	33.16 ± 0.79 b	13.33 ± 3.85 ab
25	1.955 ± 0.057 a	44.78 ± 0.59 bc	33.35 ± 0.72 b	2.22 ± 2.22 b
30	1.784 ± 0.042 a	47.57 ± 1.01 abc	36.97 ± 1.17 ab	13.33 ± 3.85 ab
35	1.550 ± 0.343 a	48.33 ± 0.04 a	39.99 ± 0.09 a	8.89 ± 2.22 ab

在虫龄对物料的转化力差异上, 白星花金龟 2 龄、3 龄幼虫增重率无明显差异, 体现出幼虫增长的一致性; 3 龄较 2 龄在最佳酵化周期、饲料利用率、虫体转化率、累计死亡率上具有优势, 且差异显著, 而 2 龄的虫砂转化率较高。

2.4 白星花金龟幼虫干虫主要营养成分

昆虫体内蛋白质与脂肪含量的比值 (P/G) 一般大于 1, 即蛋白质含量要高于脂肪含量, 通常把 P/G ≥ 2 的昆虫称为高蛋白昆虫, 把 P/G < 2 的昆虫称为高脂肪昆虫 (王付彬等, 2011)。白星花

金龟 3 龄幼虫中粗蛋白质含量为 53.8%, 是粗脂肪含量的 8.15 倍, 属高蛋白、低脂肪的昆虫 (图 3)。

白星花金龟 3 龄幼虫氨基酸种类丰富, 测定的 18 种氨基酸, 包含全部 8 种人体必须氨基酸, 总氨基酸含量达 44.68%。18 种氨基酸含量相差较大, 谷氨酸含量最高 (5.65 g/100 g), 色氨酸含量最低 (0.50 g/100 g)。白星花金龟 3 龄幼虫的 EAA/NEAA 为 75.00% (≥ 60%); EAA/TAA 为 43.00% (40%), 可算作一种质量较好的蛋白质源 (FAO/WHO, 1973)。

表 4 白星花金龟不同龄期幼虫转化力的差异
Table 4 Differences in transformation capability of different instar larvae of *Potosia brevitaris*

虫龄 Instar	最佳酵化 周期 (d) Optimal fermentation cycle	增重率 (%) Weight gain rates	饲料利用 率 (%) Feed utilization efficiency	虫体转化 率 (%) Bodyweight conversion efficiency	虫砂转化 率 (%) Dung conversion efficiency	近似消化 率 (%) Approximate digestibility	累计死亡 率 (%) Cumulative mortality
2 龄幼虫 2 nd instar larvae	30	61.32 ± 2.52	69.99 ± 0.67	16.84 ± 1.35	84.45 ± 0.72 [*]	18.12 ± 0.59	10.00 ± 1.92 [*]
3 龄幼虫 3 rd instar larvae	25	63.88 ± 2.50	74.63 ± 0.98 [*]	17.47 ± 0.56 [*]	77.94 ± 0.67	25.53 ± 0.64 [*]	2.22 ± 2.22

注: 采用独立样本 *T* 检验; * 表示差异显著。Note: Independent *T*-test; * significantly different (*P* < 0.05) .

表 5 白星花金龟 3 龄幼虫干虫氨基酸含量
Table 5 Amino acid content of dry 3rd instar
larvae of *Potosia brevitaris*

序号 No.	检验项目 Test items	含量 (g/100 g) Content
1	丙氨酸 Ala	2.52
2	丝氨酸 Ser	2.18
3	* 亮氨酸 Leu	2.73
4	天冬氨酸 Asp	3.64
5	* 异亮氨酸 Ile	1.95
6	甘氨酸 Gly	3.57
7	精氨酸 Arg	2.28
8	组氨酸 His	1.51
9	* 缬氨酸 Val	2.39
10	脯氨酸 Pro	4.11
11	* 苏氨酸 Thr	1.91
12	* 苯丙氨酸 Phe	1.68
13	* 蛋氨酸 Met	2.16
14	谷氨酸 Glu	5.65
15	* 赖氨酸 Lys	2.58
16	** 酪氨酸 Tyr	2.65
17	** 胱氨酸 Cys	0.67
18	* 色氨酸 Trp	0.50
19	总氨基酸 TAA	44.68
20	●必需氨基酸 EAA	19.22
21	●必需氨基酸/非必需氨基酸 EAA/NEAA(%)	0.75
22	●必需氨基酸/总氨基酸 EAA/TAA (%)	0.43

注: * 为必需氨基酸, ** 为半必需氨基酸, ●包括酪氨酸和胱氨酸在内。Note: * indicates essential amino acids, ** indicates semi-essential amino acid, ● indicates including Tyr and Cys.

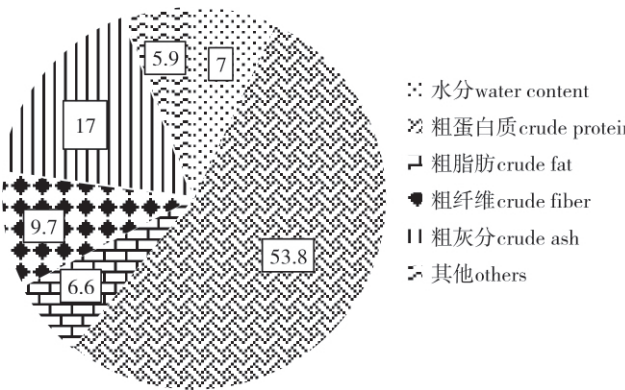


图 3 白星花金龟 3 龄幼虫干虫主要营养成分 (g/100g)
Fig.3 Main nutrients of dry 3rd instar larvae of *Potosia brevitaris*

2.5 白星花金龟虫砂组分指标和盆栽试验

经测定, 3 龄幼虫虫砂偏碱性, 有机质含量为 18.72%, 低于 NY525-2012 中有机质 ≥ 45% 的标准, 氮磷钾总量为 5.95%, 高于 NY525-2012 ≥ 5% 的标准, 且钾的含量高达 2.41%, 详见表 6。

表 6 白星花金龟 3 龄幼虫虫砂主要组分指标
Table 6 Main component indicators of 3rd instar
larvae dung-sand of *Potosia brevitaris*

测试指标 Test indicators	单位 Unit	结果 Result
有机质 DOM	g/100g	18.72
总氮 TN	g/100g	1.52
磷 P	g/100g	2.02
钾 K	g/100g	2.41
氮磷钾 NPK	g/100g	5.95
pH		8.9
水分 WC	g/100g	1.96
氯离子含量 Chloride ion content	(g/100g)	0.65

白星花金龟虫砂为干燥无异味的黑色长椭圆型颗粒、营养丰富、性状稳定,可作为生物肥料施用于田间。本论文以盆栽小白菜作为试验对象,测定了不同用量的白星花金龟虫砂对小白菜长势的影响,以探究其作为生物肥料的潜力(表7)。随虫砂用量的增加,小白菜的长势指标呈先上升

后下降的趋势,当施用量为 45 g 时,即 1 cm²施用 0.13 g,小白菜地上高度(17.80 ± 0.25 cm)、根系深度(8.80 ± 0.17 cm)、地上部鲜重(8.57 ± 0.35 g)和地下部鲜重(0.75 ± 0.02 g)均达到最大值。当施用量为 75 g 时,各项长势指标均低于对照组。

表 7 不同用量的白星花金龟 3 龄幼虫虫砂对小白菜长势的影响

Table 7 Effect of different amounts of the dung-sand from the 3rd instar larvae *Potosia brevitarsis* on the growth of *Brassica rapa chinensis* vegetable

施用量 (g) Application weight	地上高度 (cm) Height above ground	根系深度 (cm) Root depth	地上部鲜重 (g) Fresh weight above ground	地下部鲜重 (g) Underground fresh weight
0	16.07 ± 0.23 b	7.10 ± 0.06 b	6.83 ± 0.34 bc	0.39 ± 0.04 c
15	16.20 ± 0.21 b	7.50 ± 0.17 b	7.08 ± 0.20 b	0.44 ± 0.02 c
30	17.23 ± 0.20 a	7.63 ± 0.24 b	7.24 ± 0.16 b	0.64 ± 0.01 ab
45	17.80 ± 0.25 a	8.80 ± 0.17 a	8.57 ± 0.35 a	0.75 ± 0.02 a
60	15.90 ± 0.21 b	6.93 ± 0.27 b	6.84 ± 0.14 bc	0.57 ± 0.03 b
75	14.73 ± 0.12 c	5.97 ± 0.07 c	5.91 ± 0.02 c	0.36 ± 0.02 c

3 结论与讨论

温度是影响昆虫生长发育、生殖等生命活动最重要的因素(Hoffmann, 1985; Ratte, 1985)。冬季 25℃ 繁育白星花金龟的实践表明,老熟幼虫可不越冬完成生活史。表 1 也表明,温度 25℃,全世代发育周期为 126.62 (±1.05) d。理论与实践表明,营养充足、温光条件适宜的情况下,白星花金龟可周年繁育。本发育历期结果与刘政等(2012)的数据有较大差别,分析其原因主要是本实验选用的产卵基质和幼虫饲料均为腐熟的东亚飞蝗虫砂,在促进白星花金龟生长发育上优于粪土。研究发现,温度超过 28℃ 时,白星花金龟各虫态存在重量下降、成虫繁殖率降低等问题,因此,可将白星花金龟人工繁育生物学温度控制在 22 ~ 28℃ 之间,以 25 ~ 28℃ 为宜。以 11 种水果为食料,成虫的单雌产卵量顺序为:芒果 > 菠萝 > 葡萄 > 苹果 > 桃 > 梨 > 西瓜 > 甜瓜 > 李子 > 杏 > 西红柿,单雌产卵量最高达 207 粒。本实验成虫单雌产卵量数据与杨诚等(2014b)和张倩(2015)等人的结果相比有较大提升,应是优选食物提供了更丰富的营养和抗氧化物质(如,维生素 C、多酚、胡萝卜素等),从而提高了雌虫的寿

命和繁殖力(Molleman *et al.*, 2009; Boyd *et al.*, 2011)和东亚飞蝗虫砂代替土壤作为产卵基质对成虫交配、产卵有促进作用这两方面的结果。实际饲喂成虫时发现,水果残余物(坏损、过熟或失去商品价值而被丢弃的水果或果核)熟的越透,甚至开始腐烂的水果越能刺激成虫的取食,应是水果的风味物质散发的气味产生的效果,糖醋液能够诱集成虫的原理与此相似(王少山等, 2011)。因此,生产中通过优选水果种类、用水果残余物饲喂成虫实现变废为宝、提高单雌产卵量的双赢是可行的。东亚飞蝗虫砂酵化周期与取食龄期的最佳对应组合分别为 2 龄 30 d 和 3 龄 25 d,最佳酵化周期的确定与预处理中微生物酵化进程对幼虫转化虫砂存在既促进又竞争的作用有关,3 龄幼虫较 2 龄在取食力、转化力、抵抗力上均强。白星花金龟人为生产中,针对不同物料可实验确定最佳酵化周期,而不必等到完全腐熟,不仅可以缩短物料酵化周期,而且能提高幼虫转化力。这对于将白星花金龟应用于农作物秸秆、畜禽粪便、蔬菜秧蔓等有机废弃物转化处理上具有指导意义。

白星花金龟幼虫干虫是质量较好的昆虫源高蛋白原料,可应用于饲喂家禽家畜等脊椎动物和水产养殖,本文未涉及饲喂实验,是下一步研究

的方向。东亚飞蝗虫砂饲料基白星花金龟幼虫虫砂较玉米秸秆饲料基的有机质含量低, 磷钾的含量较为突出, 推测这与东亚飞蝗的前期转化促进有机质转化、实现磷钾富集有关(杨诚等, 2015; 刘福顺等, 2018)。本盆栽实验选用喜氮的小白菜作为供试植物, 当施用量为 45 g/盆时最佳, 75 g/盆时却低于对照, 系虫砂密度大, 高施用量下土壤通透性不足造成的。针对白星花金龟虫砂磷钾相对较高的特性, 下一步可以开展豆类、薯类等喜磷钾的作物的虫砂肥效试验, 以期制定更佳的施用方案。

白星花金龟人为繁育生物学研究结果展现出其较强的繁殖力和转化力, 其肠道微生物作用机理的研究可为提高幼虫转化力提供理论依据(王菲菲等, 2009; 田小燕等, 2017)。本文结果初步显示, 水果残余物作为白星花金龟成虫食物, 东亚飞蝗虫砂作为成虫产卵基质和幼虫繁育饲料, 保持适宜温光条件, 可以实现白星花金龟周年繁育。

参考文献 (References)

- Boyd O, Weng P, Sun XP, *et al.* Nectarine promotes longevity in *Drosophila melanogaster* [J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 2011, 50 (11): 1669–1678.
- Chen RZ, He KL, Yin J, *et al.* Preliminary study on propensity of *Potosia brevitarsis* Lewis and its behaviour law in endangering maize by fornicating [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2006, 28 (3): 240–243. [陈日璽, 何康来, 尹皎, 等. 白星花金龟主要习性及其群集为害玉米行为机制的初步研究 [J]. 吉林农业大学学报, 2006, 3: 240–243]
- Chen RZ, Klein MG, Li Y, *et al.* Japanese beetle lures used alone or combined with structurally related chemicals to trap NE China scarabs (Coleoptera: Scarabaeidae) [J]. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 2014, 17 (4): 871–877.
- Chen RZ, Klein MG, Sheng CF, *et al.* Male and female *Popillia quadriguttata* (Fabricius) and *Protaetia brevitarsis* (Lewis) (Coleoptera: Scarabaeidae) response to Japanese beetle floral and pheromone lures [J]. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 2013, 16 (4): 479–484.
- Cui CA, Li L, Yang WS, *et al.* Pro-apoptotic effect of grub extract on A549 cells and its mechanism [J]. *Liaoning Journal of Traditional Chinese Medicine*, 2009, 36 (8): 1317–1318. [崔春爱, 李莉, 杨万山, 等. 蛴螬提取物诱导人肺癌 A549 细胞凋亡的机制研究 [J]. 辽宁中医杂志, 2009, 36 (8): 1317–1318]
- FAO/WHO. Ad Hoc Expert Committee. Energy and Protein Requirement [M]. Rome: FAO and WHO, 1973: 40–73.
- Gao YH, Yu JN. Screening of the attractants for *Potosia brevitarsis* Lewis [J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2011, 34 (4): 332–334. [高有华, 于江南. 白星花金龟引诱剂的筛选 [J]. 新疆农业大学学报, 2011, 34 (4): 332–334]
- Guo WC, Xu JJ, He J, *et al.* The discovery of a new nest of fruit trees and crop in Xinjiang—*Postosia brevitarsis* Lewis [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2004 (5): 322–323, 397. [郭文超, 许建军, 何江, 等. 新疆农作物和果树新害虫—白星花金龟 [J]. 新疆农业科学, 2004, 41 (5): 322–323]
- Hao SH, Li GZ, Zhang T, *et al.* Behavior of the scarab beetle, *Potosia brevitarsis* and pheromone attraction effects [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2005 (2): 124–126. [郝双红, 李广泽, 张涛, 等. 白星花金龟行为学观察及其信息素的诱虫效果 [J]. 中国生物防治, 2005, 2: 124–126]
- HeS, Zhou ZR, Wu ZP, *et al.* A study on the occurrence of *Postosia brevitarsis* Lewis and its prevention & control technology [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006 (6): 314–316. [何笙, 周泽容, 吴赵平, 等. 白星花金龟发生与防治技术研究初报 [J]. 中国农学通报, 2006, 22 (6): 314–316]
- Hoffmann KH. Metabolic and Enzyme Adaptation to Temperature. In: Hoffmann KH, ed. *Environmental Physiology and Biochemistry of Insects* [C]. Berlin Heidelberg, New York: Springer – Verlag, 1985: 1–32.
- Ji BZ, Liu SW, Zhang K. Entomological Basis and Common Species Identification [M]. Beijing: Science Press, 2011: 251–252. [嵇保中, 刘曙雯, 张凯. 昆虫学基础与常见种类识别 [M]. 北京: 科学出版社, 2011: 251–252]
- Jin H, Sun S, Yu BY, *et al.* Effects of the grub extract on apoptosis of MCF-7 human breast cancer cell line [J]. *Chinese Journal of Pathophysiology*, 2008, 24 (1): 93–96. [金华, 孙抒, 于柏艳, 等. 蛴螬提取物对 MCF-7 人乳腺癌细胞株凋亡的影响 [J]. 中国病理生理杂志, 2008, 24 (1): 93–96]
- Lai DQ, Wang QL, Wu W, *et al.* Effect of *Postosia brevitarsis* Lewis larvae dung on development of pepper seedling stage under low temperature [J]. *Northern Horticulture*, 2019, 8: 63–66. [赖德强, 王庆雷, 吴娱, 等. 白星花金龟幼虫粪对低温条件下辣椒苗期发育的影响 [J]. 北方园艺, 2019, (08): 63–66]
- Li T, Ma DY, Qiang S, *et al.* A study on hosts and the occurrence regularity of *Postosia brevitarsis* Lewis in west suburb of Urumqi [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2010, 47 (2): 320–324. [李涛, 马德英, 羌松, 等. 乌鲁木齐市西郊白星花金龟的寄主及发生规律研究 [J]. 新疆农业科学, 2010, 47 (2): 320–324]
- Li XW, Wang PL. Study on the extraction of chitin from *Protaetia brevitarsis* Lewis [J]. *Journal of World Chinese Medicine*, 2018, 13 (8): 2027–2031. [李小万, 王萍莉. 从白星花金龟中提取甲壳素的工艺研究 [J]. 世界中医药, 2018, 13 (8): 2027–2031]
- Liu FS, Feng XJ, Xi GC, *et al.* The Effects of *Potosia brevitarsis* larva manure application on the growth of cherry radish [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2018, 57 (4): 44–46, 50. [刘福顺, 冯晓洁, 席国成, 等. 白星花金龟幼虫粪对樱桃萝卜生长情况的影响 [J]. 湖北农业科学, 2018, 57 (4): 44–46, 50]
- Liu YS, Zhang DP. Study on the model of microcirculation farm and

- ranch on the corn straw transformed by larval of *Potosia brevitarsis* Lewis [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2015, 43 (31): 85–87. [刘玉升, 张大鹏. 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 [J]. 安徽农业科学, 2015, 43 (31): 85–87]
- Liu YS. Insect Production Science [M]. Beijing: Higher Education Press, 2012: 178–180. [刘玉升. 昆虫生产学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2012: 178–180]
- Liu Z, Wang SS, Sun Y, *et al.* Studies on threshold temperature and effective accumulated temperature of *Potosia brevitarsis* [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2012, 21 (3): 198–201. [刘政, 王少山, 孙艳, 等. 白星花金龟发育起点温度和有效积温的研究 [J]. 西北农业学报, 2012, 21 (3): 198–201]
- Molleman F, Ding JM, Carey JR, *et al.* Nutrients in fruit increase fertility in wild-caught females of large and long-lived *Euphaedra* species (Lepidoptera, Nymphalidae) [J]. *Journal of Insect Physiology*, 2009, 55 (4): 375–383.
- Qiu XX, Peng QH, Chen M, *et al.* Effect of holotrichia extractive on the expression of Ang1 and PEDF in choroidal neovascularization of rabbit [J]. *International Eye Science*, 2012, 12 (11): 2053–2058. [邱晓星, 彭清华, 陈梅, 等. 蛭蟥提取物对兔脉络膜新生血管中 Ang1 和 PEDF 表达的影响 [J]. 国际眼科杂志, 2012, 12 (11): 2053–2058]
- Ratte HT. Temperature and Insect Development. In: *Environmental Physiology and Biochemistry of Insects* [M]. Hoffmann KH, ed. Berlin Heidelberg, New York: Springer–Verlag, 1985: 33–66.
- Suh HJ, Kang SC. Antioxidant activity of aqueous methanol extracts of *Protaetia brevitarsis* Lewis (Coleoptera: Scarabaeidae) at different growth stages [J]. *Natural Product Research*, 2012, 26 (6): 510–517.
- Sun CK. Study on the Recycling Mode of “Wheat Straw—*Stropharia Rugosoannulata*—*Protaetia brevitarsis*” [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2018. [孙晨可. “小麦秸秆—大球盖菇—白星花金龟”循环模式研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2018]
- Tan HY, Li JC, Peng J, *et al.* Effects of different routes of medication of grub extract on wet age-related macular degeneration [J]. *World Science and Technology/ Modernization of Traditional Chinese Medicine*, 2018, 20 (1): 109–117. [谭涵宇, 李建超, 彭俊, 等. 蛭蟥提取物不同途径给药对激光诱导鼠眼 CNV 模型的影响 [J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2018, 20 (1): 109–117]
- Tian XY, Song FP, Zhang J, *et al.* Diversity of gut bacteria in larval *Protaetia brevitarsis* (Coleoptera: Scarabaeidae) fed on corn stalk [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2017, 60 (6): 632–641. [田小燕, 宋福平, 张杰, 等. 饲喂玉米秸秆的白星花金龟幼虫肠道细菌多样性 [J]. 昆虫学报, 2017, 60 (6): 632–641]
- Wang FB, Liu YS. Analysis and evaluation of resource components of *Neochauliodes sparsus* larvae [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2011, 48 (1): 147–151. [王付彬, 刘玉升. 小碎斑鱼蛉幼虫资源成分分析及价值评价 [J]. 应用昆虫学报, 2011, 48 (1): 147–151]
- Wang FF, Liu YS, Ji XX, *et al.* The isolation and identification of intestinal microflora of adult *Potosia brevitarsis* [J]. *Chinese Journal of Microecology*, 2009, 21 (9): 798–800. [王菲菲, 刘玉升, 姬小雪, 等. 白星花金龟成虫肠道细菌的分离鉴定 [J]. 中国微生物学杂志, 2009, 21 (9): 798–800]
- Wang SS, Zhou TY, Liu Z, *et al.* Investigation on occurrences and damages of *Postosia brevitarsis* Lewis in Shihezi [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27 (18): 288–292. [王少山, 周天跃, 刘政, 等. 石河子白星花金龟发生为害调查研究 [J]. 中国农学通报, 2011, 27 (18): 288–292]
- Xu MX, Gao GF, Yang SY, *et al.* Isolation and purification of antibacterial materials from *Protaetia brevitarsis* (Coleoptera) larva [J]. *Life Science Research*, 2008 (1): 53–56. [徐明旭, 高国富, 杨寿运, 等. 白星花金龟 *Protaetia brevitarsis* 幼虫抗菌物质的分离纯化 [J]. 生命科学研究, 2008, (1): 53–56]
- Yang C, Liu YS, Xu XY, *et al.* Analysis and evaluation of resource components of *Protaetia brevitarsis* (Lewis) larvae [J]. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2014a, 45 (2): 166–170. [杨诚, 刘玉升, 徐晓燕, 等. 白星花金龟幼虫资源成分分析及评价 [J]. 山东农业大学学报 (自然科学版), 2014a, 45 (2): 166–170]
- Yang C, Liu YS, Xu XY, *et al.* The study on the effect of *Protaetia brevitarsis* Lewis larvae transformation the corn straw [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37 (1): 122–127. [杨诚, 刘玉升, 徐晓燕, 等. 白星花金龟幼虫对醇化玉米秸秆取食效果的研究 [J]. 环境昆虫学报, 2015, 37 (1): 122–127]
- Yang C, Zhang Q, Liu YS. Effects of nourishment and humidity on reproduction of *Protaetia brevitarsis* Lewis adult [J]. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2014b, 45 (4): 498–501. [杨诚, 张倩, 刘玉升. 营养和湿度对白星花金龟成虫生殖的影响 [J]. 山东农业大学学报 (自然科学版), 2014b, 45 (4): 498–501]
- Yang WS, Li JJ, Sun S, *et al.* Experimental study on anti-tumor effect of the grub extract on H22 hepatocellular carcinoma cells of mice [J]. *Journal of Sichuan of Traditional Chinese Medicine*, 2006, 11: 9–10. [杨万山, 李基俊, 孙抒, 等. 蛭蟥提取物对小鼠肝癌 H22 的抑制作用 [J]. 四川中医, 2006, 11: 9–10]
- Yin S, Li G, Liu M, *et al.* Biochemical responses of the *Protaetia brevitarsis* Lewis larvae to subchronic copper exposure [J]. *Environmental Science and Pollution Research International*, 2018, 25 (19): 18570–18578.
- Zhang Q. Study on the Biology of *Protaetia brevitarsis* Lewis Feeding on Oyster Mushroom Bran [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2015. [张倩. 取食平菇菌糠的白星花金龟生物学研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2015]