应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2020, 57(4): 946–954. DOI: 10.7679/j.issn.2095–1353.2020.097

不同农业有机废弃物对白星花金龟生物学特性影响研究*

杨 柳[1**] 张广杰[1] 徐 韬[1] 张连俊[1] 李金兰[1]
张 帅[1] 羌 松[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控重点实验室，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】** 白星花金龟 *Protaetia (Liocola) brevitarsis* (Lewis)幼虫取食农作物秸秆、畜禽粪便等农业废弃物，在自然界中发挥着净化环境、变废为宝的作用。**【方法】** 本文选用 8 种农牧业有机废弃物，包括腐熟沼渣、平菇菌糠、猪粪、牛粪、玉米秸秆、25%玉米秸秆 + 牛粪、50%玉米秸秆 + 牛粪、75%玉米秸秆 + 牛粪作为饲料，研究不同农业有机废弃物对白星花金龟生物学特性的影响。**【结果】** 沼渣组和平菇菌糠组单雌产卵量较高，分别为 130.17 粒和 117.00 粒，显著高于猪粪、牛粪和玉米秸秆处理；在牛粪与玉米秸秆混配组，各处理单雌产卵量为 101.50-108.67 粒，不同混合比例间无显著差异。从幼虫孵化率比较，平菇菌糠组和猪粪组幼虫孵化率较高，分别为 87.78%和 82.22%；玉米秸秆及其与牛粪不同比例混合处理的幼虫孵化率均很低，仅为 46.67%-57.78%。从幼虫化蛹率、羽化率比较，玉米秸秆添加不同比例牛粪处理组的化蛹率和羽化率均较高，分别达到 90.00%-95.56%和 88.89%-91.11%；沼渣、猪粪等单一物质处理的化蛹率和羽化率均较低，分别低于 90%和 70%。单一物质处理中，沼渣、平菇菌糠、牛粪、玉米秸秆处理组羽化后均为雌虫比例大于雄虫比例。玉米秸秆与牛粪混配组中，仅 50%玉米秸秆 + 牛粪处理组为雌虫比例大于雄虫比例；雌、雄成虫的体长及体宽均在（17-19）mm、（10-11）mm 之间，沼渣、猪粪和牛粪处理组体长略小。以不同农业有机废弃物饲喂的白星花金龟全世代发育历期中，牛粪饲喂组白星花金龟历期最短，为（315.29 ± 0.55）d；沼渣饲喂组白星花金龟历期最长，为（330.75 ± 1.76）d。**【结论】** 不同农业有机废弃物均可作为白星花金龟繁育基质，并可为其幼虫转化处理农业有机废弃物提供理论依据。

关键词 白星花金龟；生长发育；农业有机废弃物

The effects of different agricultural organic wastes on the biological characteristics of *Protaetia* (*Liocola*) *brevitarsis* (Lewis)

YANG Liu[1**] ZHANG Guang-Jie[1] XU Tao[1] ZHANG Lian-Jun[1] LI Jin-Lan[1]
ZHANG Shuai[1] QIANG Song[1] MA De-Ying[1***] LIU Yu-Sheng[2***]

(1. College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Key Laboratory of the Pest Monitoring and Safety Control of Crops and Forests, Urumqi 830052, China; 2. College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

Abstract **[Objectives]** The larvae of *Protaetia (Liocola) brevitarsis* (Lewis) feed on crop stalks and livestock manure, which plays a role in purifying the environment in nature. In order to better play the role of biological conversion of agricultural organic waste. **[Methods]** The biological characteristics of *P. brevitarsis* were studied by using 8 principal agricultural organic wastes produced in agriculture and animal husbandry, including the renewal, oyster mushroom, pig manure, shard, corn stalk as well as shard mixed with 25% corn stalk, 50% corn stalk and 75% corn stalk as feeding matrix.

*资助项目 Supported projects：国家重点研发项目（2018YFD0201303）；新疆农业大学作物学重点学科项目（XNCDKY2017008）
**第一作者 First author，E-mail：1115346032@qq.com
***共同通讯作者 Co-corresponding authors，E-mail：mdyxnd@163.com；ysl8877@163.com
收稿日期 Received：2019-10-24；接受日期 Accepted：2020-01-22

[Results] The highest spawning amount was obtained in the treatment of renewal and oyster mushroom, with 130.17 and 117.00 eggs/female; It was significantly higher than that of pig manure, shard and corn stalk; Regarding the different proportion mixture treatments of shard and corn stalk, the spawning amount was obtained in the treatment with 101.50-108.67 eggs/female; there was no significant difference between different mixing ratios. Compared with the larval hatching rate, the larval hatching rate of oyster mushroom and pig manure was 87.78% and 82.22%; The hatching rate of corn stalk mixed with shard in different rate was all very low, only 46.67%-57.78%. From the rate of larval pupation and feather comparison, The pupation rate and feather rate of corn stalk treated with different proportion of shard were higher, reaching 90.00%-95.56% and 88.89%-91.11%. The pupation rate and eclosion rate of renewal and pig manure were lower than 90% and 70%. In the treatment of single substance, the proportion of female worms was higher than that of male worms in the treatment of renewal, oyster mushroom, shard andcorn stalk. In the mixed treatment group of corn stalk and shard, the proportion of female worms was higher than male worms in the 50% corn stalk + shard groups.The length and width of female and male adults were 17-19 mm and 10-11 mm respectively. The body length of renewal, pig manure and shard treatment group was slightly smaller; Feeding different agricultural organic wastes to the whole developmental cycle of *P. brevitarsis*, shard feeding group turtle calendar period is the shortest, is (315.29 ± 0.55) d; renewal feeding group turtle calendar period is the longest, is (330.75 ± 1.76) d. **[Conclusion]** Different agricultural organic wastes can be used as breeding grounds for *P. brevitarsis*, the production practice in Xinjiang shows that it has the feasibility of high value utilization, it can provide a theoretical basis for the larval transformation of agricultural organic waste.

Key words *Protaetia brevitarsis*; growth and development; agricultural organic waste

白星花金龟 *Protaetia* (*Liocola*) *brevitarsis* (Lewis)成虫是一种常见的农业害虫（索中毅，2015），取食危害西瓜、桃子、葡萄、向日葵、玉米等农作物，造成巨大经济损失（郭文超，2004等；谢辉，2014）。该虫于 2001 年在新疆昌吉首次发现（郭文超等，2004），随后扩散至昌吉市各乡镇、乌鲁木齐安宁渠、米泉、石河子等地（许建军等，2009）。白星花金龟卵及幼虫多在农家肥中生活，随农家肥的运输、成虫产卵扩散是其远距离传播的主要途径。而新疆作为畜牧业大区，随处堆放的畜禽粪便、农作物秸秆为白星花金龟成虫提供了丰富的产卵场所，更为幼虫生长发育提供了得天独厚的条件。同时，随着新疆果园规模及种植区域不断扩大，使得白星花金龟暴发成灾。传统观念认为，白星花金龟成虫是一种危害作物和果实的害虫，故前人对白星花金龟的研究集中于寄主分布（许建军，2007）、形态学特征（郑洪源等，2005）、发生规律及防治方法上（何成勇等，2006；李涛等，2010）上，仅少数学者对白星花金龟的生物学特性进行研究。近年来，人们对白星花金龟有了全新的认识，关注到白星花金龟幼虫具有腐食性（张乐，2012），可高效取食农作物秸秆、畜禽粪便等农业有机废弃物，在自然界中发挥着净化环境的作用。杨诚等（2015）、张倩（2015）、孙晨可（2018）根据这一特性，分别选用腐熟玉米秸秆、平菇菌糠、大球盖菇菌糠作为白星花金龟的生长发育基质进行研究。同时，研究了白星花金龟幼虫对 3 种农业废弃物的转化利用效率。发现白星花金龟幼虫取食玉米秸秆（杨诚，2014）、平菇菌糠（张倩，2015）、大球盖菇菌糠（孙晨可，2018）后，转化率分别为 63.82%、44.28%、49.32%；消化率分别为 22.75%、19.88%、20.08%；利用率分别为 17.51%、8.74%、9.80%。白星花金龟幼虫转化利用农业有机废弃物后，幼虫干物质中蛋白质、脂肪和氨基酸含量分别为 49.90%、15.42%和 38.90%，为高蛋白昆虫；虫粪有机质含量高达 34.1%，是良好的有机肥（杨诚等，2014），符合我国化肥减施、增施有机肥的发展方向。因此，白星花金龟幼虫可作为解决有机废弃物的途径之一，在不对环境造成污染的同时，又可产生昆虫蛋白用于畜禽、水产等养殖业。新疆是一个畜牧业大区，根据 2005 年新疆农村社会经济统计年鉴数据，新疆每年产生畜禽粪便 174.23×10^6 吨，农作物秸秆量 19.85×10^6 吨（谭祖琴和徐文修，2008）。当前对畜禽粪便、农作物秸秆处理

方式有沼化处理法、低等动物处理法、干燥处理法、生物技术法、焚烧法及制作动物饲料，而这些方法或多或少存在有害气体污染环境、成本高、效益低等问题（李淑芹和胡玖坤，2003；何逸民等，2009）。在新疆地区将农作物秸秆、畜禽粪便利用白星花金龟幼虫集中处理，不仅可以对农业有机废弃物进行资源化利用，净化环境，还可实现白星花金龟的源头治理，减轻或消除对作物的危害。本文针对新疆当地资源优势，研究白星花金龟在腐熟牛粪、猪粪、玉米秸秆、平菇菌糠、沼渣及牛粪与不同比例玉米秸秆混配物中的生物学特性，比较白星花金龟在不同农业有机废弃物中的生长发育情况，明确白星花金龟生长发育最佳基质，为将来高效转化利用农业有机废弃物提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验地点：新疆玛纳斯县塔西河乳泉牧业发展专业合作社。

供试虫源：由玛纳斯县塔西河乳泉牧业发展专业合作社人工繁殖。

供试农业有机废弃物：沼渣（玛纳斯县塔西河乳泉牧业发展专业合作社沼气站）、平菇菌糠、猪粪、牛粪、玉米秸秆（玛纳斯县塔西河乳泉牧业发展专业合作社）。

试验材料：圆桶形塑料养虫盒（24.5 cm×11.6 cm×29.5 cm，4 800 mL，天津通源塑料制品有限公司；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）；苹果（玛纳斯县水果批发市场）；游标卡尺；生态宝（山东宝来利来生物工程股份有限公司）；电子天平（LT3002 型，常熟市天量仪器有限责任公司）。

1.2 方法

将玉米秸秆粉碎，长度为 1.5-2.0 cm 备用。取足量的猪粪、牛粪、玉米秸秆，调节各物料含水量为 60%-70%，添加生态宝微生物菌剂，堆成馒头状并加盖塑料薄膜好氧发酵，每 5 d 翻堆一次，酵化 30 d 后摊开晒干并碾碎备用。

1.2.1 不同农业有机废弃物对白星花金龟产卵量的影响 在养虫盒（10.0 cm×8.5 cm×14.8 cm，1 000 mL）中填充 6-7 cm 腐熟牛粪、猪粪、平菇菌糠、沼渣、玉米秸秆、25%玉米秸秆 + 牛粪、50%玉米秸秆 + 牛粪、75%玉米秸秆 + 牛粪（WC=55% ± 5%），2019 年 7-9 月于室内自然条件下饲养，每处理投入 2 对刚羽化的雌雄虫交配，并用苹果喂食，重复 5 次，选择单雌产卵量表现好的 3 个重复计入数据统计。实验期间，每 3 d 更换果实，每 5 d 收集并记录产卵量，以雌虫连续不产卵为止。

1.2.2 不同农业有机废弃物对白星花金龟幼虫孵化的影响 实验前收集处于产卵高峰的雌虫同一天产的卵，2018 年 8 月于室内自然条件下饲养。将卵投入填充 6-7 cm 腐熟牛粪、猪粪、平菇菌糠、沼渣、玉米秸秆、25%玉米秸秆 + 牛粪、50%玉米秸秆 + 牛粪、75%玉米秸秆 + 牛粪（WC=55% ± 5%）的养虫盒（10.0 cm×8.5 cm×14.8 cm，1 000 mL）中，每处理 30 粒，重复 3 次。每天检查并记录幼虫孵化时间及数量。

1.2.3 不同农业有机废弃物对白星花金龟化蛹及羽化的影响 2019 年 5-7 月于室内自然条件下饲养，在养虫盒（24.5 cm×11.6 cm×29.5 cm，4 800 mL）中填充 4-5 cm 腐熟牛粪、猪粪、平菇菌糠、沼渣、玉米秸秆、25%玉米秸秆+牛粪、50%玉米秸秆+牛粪、75%玉米秸秆+牛粪（WC=55% ± 5%），每处理投入大小一致的 3 龄幼虫 30 头，重复 3 次，期间不做任何干扰，待大部分成虫羽化后，记录各处理组中化蛹但未羽化的蛹数，统计化蛹率及羽化率。同时，成虫羽化后，记录各处理雌雄成虫的数量，并测量羽化成虫的体长及体宽。

1.2.4 不同农业有机废弃物对白星花金龟发育历期的影响

（1）卵期 根据 1.2.2 中所记录幼虫孵化时间可得。

（2）幼虫期和蛹期 2018 年 9 月-2019 年 7 月于室内不加温条件下饲养，使其在室内自然生长、越冬、化蛹及羽化。将同一天孵化的幼虫投入填充 6-7 cm 腐熟牛粪、猪粪、平菇菌糠、沼

渣、玉米秸秆、25%玉米秸秆 + 牛粪、50%玉米秸秆 + 牛粪、75%玉米秸秆 + 牛粪(WC=55% ± 5%) 的养虫盒（10.0 cm×8.5 cm×14.8 cm，1 000 mL）中，单头饲养，每个处理重复 15 次，每 3 d 观察并无接触、无损伤测量幼虫的体长和头壳宽，并结合蜕皮次数确定白星花金龟虫龄，每周更换一次物料。翌年 4 月份开始每天观察幼虫化蛹情况。幼虫进入蛹期后，每天观察并记录蛹的羽化情况，最终选取 10 组有效数据。

（3）产卵前期 2019 年 7 月挑选同一天羽化成虫，按雌雄 1∶1 进行配对，投入填充 6-7 cm 腐熟牛粪、猪粪、平菇菌糠、沼渣、玉米秸秆、25%玉米秸秆 + 牛粪、50%玉米秸秆 + 牛粪、75%玉米秸秆+牛粪（WC=55% ± 5%）的养虫盒（10.0 cm×8.5 cm×14.8 cm，1 000 mL）中，每个处理重复 10 次，以苹果喂食，每 2 d 更换一次，每天观察并记录产卵情况及时间。

1.3　数据处理

调查数据采用 SPSS19.0 进行分析，采用 Duncan’s 新复极差法进行方差分析。

2　结果与分析

2.1　不同农业有机废弃物对白星花金龟产卵量的影响

如表 1 所示，在单一农业有机废弃物中，沼渣组单雌产卵量最高，为 130.17 粒，与平菇菌糠组无显著差异（P>0.05），玉米秸秆组单雌产卵量最低，仅为 59.00 粒，与其余处理组间存在显著差异（P<0.05）。牛粪与玉米秸秆混配组，25%玉米秸秆 + 牛粪组单雌产卵量最高，为 108.67 粒，与其余两组间存在显著差异（P<0.05）；同时，玉米秸秆与牛粪混配后，单雌产卵量均比牛粪组高。

表 1　不同农业有机废弃物对白星花金龟产卵量的影响

Table 1　The influence of different agricultural organic wastes on the individual size of the adult to *Protaetia brevitarsis*

不同基质 Different materials	单雌产卵量 Number of fecundity
沼渣 Renewal	130.17 ± 9.84a
平菇菌糠 Oyster mushroom	117.00 ± 8.79a
猪粪 Pig manure	72.00 ± 17.69bc
牛粪 Shard	74.00 ± 11.46bc
玉米秸秆 Corn stalk	59.00 ± 4.54d
25%玉米秸秆 + 牛粪 25% corn stalk and shard	108.67 ± 10.00a
50%玉米秸秆 + 牛粪 50% corn stalk and shard	101.50 ± 8.76ab
75%玉米秸秆 + 牛粪 75% corn stalk and shard	102.67 ± 11.09ab

表中数据为平均数 ± 标准误，每列数据后标有不同字母代表差异显著（差异水平 P<0.05，Duncan’s 多重检验法）。下表同。

Data in the table are mean ± SE, and followed by different letters within each column indicate significant difference by Duncan’s multiple range test (P<0.05). The same below.

2.2　不同农业有机废弃物对白星花金龟幼虫孵化的影响

如图 1 所示，平菇菌糠组幼虫孵化率最高，为 87.78%，与猪粪组孵化率无显著差异（P>0.05）。沼渣与牛粪组幼虫孵化率无显著差异（P>0.05），分别为 70.00%、72.22%。而玉米秸秆组幼虫孵化率较沼渣、平菇菌糠、猪粪、牛粪组幼虫孵化率低，并存在显著差异（P<0.05）。玉米秸秆与牛粪混配组中，25%玉米秸秆 + 牛粪与 50%玉米秸秆 + 牛粪、75%玉米秸秆 + 牛粪组幼虫孵化率存在差异（P<0.05），孵化率最低，仅为 46.67%；50%玉米秸秆 + 牛粪与 75%玉米秸秆 + 牛粪组幼虫孵化率无显著差异（P>0.05），分别为 52.22%、53.33%。同时，牛粪与玉米秸秆混配后幼虫孵化率均比牛粪组幼虫孵化率低。

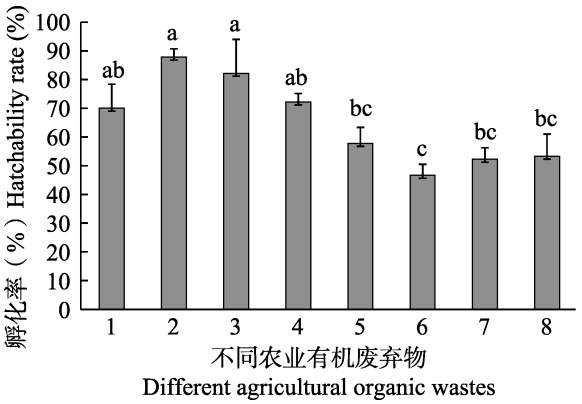

图 1 不同农业有机废弃物对白星花金龟幼虫孵化的影响

Fig. 1 Effects of different agricultural organic waste on larvae hatching of *Protaetia brevitarsis*

1: 沼渣；2: 平菇菌糠；3: 猪粪；4: 牛粪；5: 玉米秸秆；6: 25%玉米秸秆 + 牛粪；7: 50%玉米秸秆 + 牛粪；8: 75%玉米秸秆 + 牛粪。柱上标有不同小写字母代表差异显著（差异水平 *P*<0.05，Duncan's 多重检验法）。

1: Renewal; 2: Oyster mushroom; 3: Pig manure; 4: Shard; 5: Corn stalk; 6: 25% corn stalk and shard; 7: 50% corn stalk and shard; 8: 75% corn stalk and shard. Histograms with different lowercase letters indicate significant difference by Duncan's multiple range test (*P*<0.05).

2.3 不同农业有机废弃物对白星花金龟化蛹及羽化的影响

如表 2 所示，沼渣与平菇菌糠、猪粪、牛粪、玉米秸秆饲喂组化蛹率存在显著差异（*P*<0.05），而平菇菌糠、猪粪、牛粪、玉米秸秆饲喂组化蛹率无显著差异（*P*>0.05）。牛粪饲喂组化蛹率最高，为 90.00%；沼渣饲喂组化蛹率最低，为 83.33%。玉米秸秆与牛粪混配饲喂组中，75%玉米秸秆 + 牛粪饲喂组与 25%玉米秸秆 + 牛粪、50%玉米秸秆 + 牛粪饲喂组化蛹率存在显著差异（*P*<0.05），化蛹率较高，为 95.56%。3 组混配处理组中，75%玉米秸秆 + 牛粪饲喂组化蛹率较牛粪饲喂组化蛹率高，并存在显著差异（*P*<0.05）。各处理组成虫羽化后，牛粪与沼渣、平菇菌糠、猪粪、玉米秸秆饲喂组存在显著差异（*P*<0.05），羽化率最高，为 68.89%。玉米秸秆与牛粪按比例混配后，3 个不同比例的饲喂组间均存在显著差异（*P*<0.05），75%玉米秸秆 + 牛粪饲喂组羽化率最高，为 91.11%；而 50%玉米秸秆 + 牛粪饲喂组羽化率最低，为 57.78%。3 组混配饲喂组与牛粪饲喂组间羽化率均存在显著差异（*P*<0.05），75%玉米秸秆 + 牛粪饲喂组羽化率最高。

2.4 不同农业有机废弃物对白星花金龟成虫性比的影响

如表 3 所示，除猪粪处理组外，沼渣、平菇菌糠、牛粪、玉米秸秆处理组羽化后均为雌虫比例大于雄虫比例，玉米秸秆处理组雌、雄成虫占比基本为 1∶1，且各个处理组间均无显著差异（*P*>0.05）。玉米秸秆与牛粪混配组中，25%玉米秸秆 + 牛粪、75%玉米秸秆 + 牛粪处理组均为雄虫比例大于雌虫比例，而 50%玉米秸秆 + 牛粪处理组雌虫所占比例最大，为 1.05∶1；3 个处理组间无显著差异（*P*>0.05）。

表 2 不同农业有机废弃物对白星花金龟化蛹及羽化的影响

Table 2 Effects of different agricultural organic waste on chrysalis pupation and eclosion rate of *Protaetia brevitarsis*

不同基质 Different materials	化蛹率（%）Percentage of pupation	羽化率（%）Eclosion rate
沼渣 Renewal	83.33 ± 1.93b	52.22 ± 4.01c
平菇菌糠 Oyster mushroom	87.78 ± 7.29ab	58.89 ± 15.67c
猪粪 Pig manure	88.89 ± 2.22ab	54.44 ± 2.94c
牛粪 Shard	90.00 ± 1.92ab	68.89 ± 2.22bc
玉米秸秆 Corn stalk	88.89 ± 4.01ab	53.33 ± 5.09c
25%玉米秸秆 + 牛粪 25% corn stalk and shard	94.44 ± 1.11ab	88.89 ± 4.84ab
50%玉米秸秆 + 牛粪 50% corn stalk and shard	90.00 ± 1.92ab	57.78 ± 6.76c
75%玉米秸秆 + 牛粪 75% corn stalk and shard	95.56 ± 1.11a	91.11 ± 2.22a

表 3　不同农业有机废弃物对白星花金龟成虫性比的影响
Table 3　The ratio of male and female of *Protaetia brevitarsis* with different agricultural organic waste

不同基质 Different materials	雌雄比 Female and male ratio
沼渣 Renewal	1.24：1 a
平菇菌糠 Oyster mushroom	1.22：1 a
猪粪 Pig manure	0.69：1 a
牛粪 Shard	1.31：1 a
玉米秸秆 Corn stalk	1.03：1 a
25%玉米秸秆 + 牛粪 25% corn stalk and shard	0.60：1 a
50%玉米秸秆 + 牛粪 50% corn stalk and Shard	1.05：1 a
75%玉米秸秆 + 牛粪 75% corn stalk and Shard	0.76：1 a

2.5　不同农业有机废弃物对白星花金龟成虫个体大小的影响

如表 4 所示，沼渣、平菇菌糠、猪粪、牛粪、玉米秸秆饲喂组中，玉米秸秆饲喂组羽化后雌虫体长及体宽均为最大，分别为（18.40 ± 0.22）mm、（10.76 ± 0.20）mm；平菇菌糠饲喂组羽化后雄虫体长最大，为（18.31 ± 0.26）mm；而猪粪饲喂组羽化后，雌虫、雄虫体长及体宽均为最小。玉米秸秆与牛粪混配饲喂组中，3 组间雌虫体长均存在显著差异，75%玉米秸秆 + 牛粪饲喂组羽化后体长最大，为（18.69 ± 0.22）mm；50%玉米秸秆 + 牛粪处理组与 25%玉米秸秆 + 牛粪、75%玉米秸秆 + 牛粪饲喂组羽化后，在雌虫体宽、雄虫体长及体宽均存在显著差异（$P<0.05$），且均为最小。

2.6　不同农业有机废弃物对白星花金龟发育历期的影响

如表 5 所示，各处理组间卵历期无显著差异（$P>0.05$），卵期均为 9-10 d。牛粪与沼渣、平菇菌糠、猪粪、玉米秸秆饲喂组幼虫历期、蛹历期、产卵前期及全世代发育历期均存在差异（$P<0.05$），且各历期均较短；沼渣、平菇菌糠、猪粪及玉米秸秆饲喂组幼虫历期无显著差异（$P>0.05$）；而沼渣、平菇菌糠饲喂组与猪粪、玉米秸秆饲喂组蛹历期、产卵前期均存在显著差异（$P<0.05$）；除牛粪组外，沼渣、平菇菌糠、猪粪及玉米秸秆饲喂组全世代发育历期均无显著差异（$P>0.05$）。玉米秸秆与牛粪按比例混配后，25%玉米秸秆 + 牛粪与 50%玉米秸秆 + 牛粪、75%玉米秸秆 + 牛粪饲喂组幼虫历期及全世代发育历期存在显著差异（$P<0.05$），历期相对较长；3 组混配饲喂组在蛹历期均存在显著差异（$P<0.05$），而产卵前期均无显著差异（$P>0.05$）。3 组混配饲喂组与牛粪饲喂组卵历期无显著差异（$P>0.05$）；25%玉米秸秆 + 牛粪组与牛粪饲喂组幼虫历期存在显著差异（$P<0.05$），幼虫历期

表 4　不同农业有机废弃物对白星花金龟成虫个体大小的影响
Table 4　The influence of different agricultural organic wastes on the individual size of the adult to *Protaetia brevitarsis*

不同基质 Different materials	雌虫 Female		雄虫 Male	
	体长（mm） Body length	体宽（mm） Body width	体长（mm） Body length	体宽（mm） Body width
沼渣 Renewal	17.79 ± 0.06cd	10.57 ± 0.08bc	17.72 ± 0.29b	10.61 ± 0.15bc
平菇菌糠 Oyster mushroom	18.16 ± 0.07bc	10.72 ± 0.20abc	18.31 ± 0.26ab	10.62 ± 0.12bc
猪粪 Pig manure	17.53 ± 0.21d	10.28 ± 0.09c	17.68 ± 0.26b	10.34 ± 0.12c
牛粪 Shard	17.65 ± 0.10cd	10.59 ± 0.03bc	18.06 ± 0.18ab	10.64 ± 0.08abc
玉米秸秆 Corn stalk	18.40 ± 0.22ab	10.76 ± 0.20abc	18.29 ± 0.18ab	10.77 ± 0.05ab
25%玉米秸秆 + 牛粪 25% corn stalk and shard	18.47 ± 0.18ab	11.16 ± 0.15a	18.53 ± 0.20a	10.96 ± 0.10a
50%玉米秸秆 + 牛粪 50% corn stalk and shard	18.00 ± 0.14bcd	10.85 ± 0.22ab	18.34 ± 0.08ab	10.90 ± 0.05ab
75%玉米秸秆 + 牛粪 75% corn stalk and shard	18.69 ± 0.22a	11.07 ± 0.08a	18.66 ± 0.02a	10.95 ± 0.03a

表 5 不同农业有机废弃物对白星花金龟发育历期的影响

Table 5 Effects of different agricultural organic waste on the developmental duration of *Protaetia brevitarsis*

不同基质 Different materials	卵历期（d） Developmental durations of eggs	幼虫历期（d） Developmental durations of larvae	蛹历期（d） Developmental durations of pupea	产卵前期（d） Developmental durations of preoviposition adult	全世代发育历期（d） Developmental durations of the whole generation
沼渣 Renewal	9.97 ± 0.23a	265.60 ± 1.75a	48.80 ± 1.31bc	6.70 ± 0.37bc	330.75 ± 1.76a
平菇菌糠 Oyster mushroom	9.85 ± 0.11a	266.20 ± 2.70a	46.50 ± 2.44bc	6.90 ± 0.46bc	328.96 ± 0.19a
猪粪 Pig manure	9.91 ± 0.29a	270.60 ± 1.11a	38.60 ± 1.71d	7.70 ± 0.56b	326.13 ± 2.14a
牛粪 Shard	9.96 ± 0.07a	247.00 ± 3.27b	53.00 ± 3.07b	5.90 ± 0.28c	315.29 ± 0.55b
玉米秸秆 Corn stalk	9.95 ± 0.08a	271.00 ± 1.00a	38.90 ± 1.29d	10.10 ± 0.38a	329.18 ± 2.04a
25%玉米秸秆 + 牛粪 25% corn stalk and shard	10.00 ± 0.18a	272.20 ± 1.57a	41.60 ± 1.38cd	7.20 ± 0.53bc	330.56 ± 0.42a
50%玉米秸秆+牛粪 50% corn stalk and shard	9.59 ± 0.10a	249.20 ± 3.10b	51.20 ± 3.14b	7.30 ± 0.60bc	316.48 ± 1.51b
75%玉米秸秆 + 牛粪 75% corn stalk and shard	9.78 ± 0.20a	242.00 ± 3.67b	60.00 ± 3.80a	6.90 ± 0.28bc	316.67 ± 1.78b

相对较长；50%玉米秸秆 + 牛粪饲喂组与牛粪饲喂组蛹历期无显著差异（P>0.05），而产卵前期 3 组混配饲喂组与牛粪饲喂组均存在显著差异（P<0.05）；除 25%玉米秸秆 + 牛粪饲喂组外，牛粪饲喂组与其余两个饲喂组全世代发育历期无显著差异（P>0.05）。

3 讨论

通过比较不同农业有机废弃物对白星花金龟产卵量的影响发现，沼渣组的单雌产卵量最高，为 130.17 粒；将牛粪与玉米秸秆按比例混配后，25%玉米秸秆 + 牛粪处理组单雌产卵量最高，为 108.67 粒。

对白星花金龟幼虫孵化的研究中，杨诚（2014）发现，当土壤含水量为 15%时，孵化率最高，为 83.33%，而含水量越高，孵化率越低；同时，孙晨可（2018）利用大球盖菇菌糠为幼虫孵化基质时，幼虫孵化率为 70.42%。在本研究中，不同农业有机废弃物中平菇菌糠孵化率最高，为 87.78%，与张倩（2015）研究结果相似，其研究发现，当菌糠含水量为 45%-55%时，幼虫孵化率最高。因此，白星花金龟幼虫孵化时，可以利用平菇菌糠作为孵化基质。除此以外，利用现有学者的研究成果，可将菌糠类基质含水量调节为 55% ± 5%为宜，过高或过低均不适宜幼虫孵化。

研究表明，沼渣处理组化蛹率、羽化率均最低，分别为 83.33%和 52.22%；玉米秸秆与牛粪混配后，75%玉米秸秆 + 牛粪处理组化蛹率、羽化率均最高，分别为 95.56%、91.11%。吐努合·哈米提（2011）研究发现，在第 30 天时，牛粪中白星花金龟化蛹率、羽化率最高，分别为 80%和 83%。而在本研究中，对各处理组不进行任何干扰的条件下，牛粪处理组化蛹率为 90.00%，羽化率为 68.89%，羽化率偏低。

成虫羽化后，除沼渣、平菇菌糠、牛粪处理组外，各处理组均为雄虫比例大于雌虫比例。同时，白星花金龟成虫体长均在 17-18 mm 之间，体宽均在 10-11 mm 之间。

白星花金龟在新疆地区 1 年发生 1 代，通常以老熟幼虫在粪堆、秸秆等含腐殖质较多的场所越冬（许建军等，2009）。赵仁贵和陈日曌（2008）利用腐殖土在室内饲养发现，白星花金龟完成 1 个世代需要 400 d 左右。而在本研究中，不同农业有机废弃物基质白星花金龟全世代发育历期最长为沼渣，为（331.34 ± 1.55）d，最短为牛粪，为（315.91 ± 0.34）d，该结果比赵仁贵和陈日曌（2008）研究的全世代发育历期短，可能与所用基质有关，不同农业有机废弃物基质的营养物质较腐殖土丰富，更适宜白星花金龟生存。

通过研究不同农业有机废弃物对白星花金龟的幼虫孵化、生长发育历期、化蛹率、羽化率及产卵量发现，饲养白星花金龟成虫时，可选用沼渣作为产卵基质，以提高白星花金龟的繁殖力；饲养白星花金龟幼虫时，可选用牛粪作为饲养基质，保证白星花金龟幼虫有较高的化蛹率、羽化率；在具备大量废弃玉米秸秆的区域，可将玉米秸秆与牛粪按 75%玉米秸秆 + 牛粪比例混配后作为白星花金龟幼虫的基质。课题组在玛纳斯县塔西河乳泉牧业发展专业合作社的生产实践表明，在新疆地区，以牛粪为饲养基质，每收获 1 kg 白星花金龟老熟幼虫干虫，可转化处理 50 kg 牛粪，得到 35 kg 幼虫粪砂，干虫的成本大致在：15 元（饲料）+ 2 元（人工）+ 3 元（水电）+ 2 元（折旧等）=22 元/kg，折合虫粪砂的成本大致在 0.63 元/kg。白星花金龟幼虫干虫的营养成份介于黑水虻 *Hermetia illucens* L.和黄粉虫 *Tenebrio molitor* L.之间，其预估售价为 15-20 元/kg，虫粪砂有机质含量在 35%左右，氮磷钾含量大于 5%，微量元素丰富，其预估售价在 1 元/kg。总之，对野外白星花金龟进行人工收集、饲养，并用于转化有机废弃物，在实现源头控制其危害的同时，可得到高值的虫体和虫粪砂，化害为利、变废为宝，具有良好的社会、生态、经济效益。

参考文献 (References)

Guo WC, Xu JJ, He J, Arkedan, Zhai GR, Xu JT, 2004. A new pest of crops and fruit trees in Xinjiang-*Protaetia brevitarsis*. *Xinjiang Agricultural Sciences*, (5): 322–323, 397. [郭文超, 许建军, 何江, 阿克旦, 翟国荣, 徐介涛, 2004. 新疆农作物和果树新害虫——白星花金龟. 新疆农业科学, (5): 322–323, 397.]

He CY, Guo H, Xu DF, ALiMu·ABuLa, 2006. Occurrence rules and pollution-free prevention and control of *Protaetia brevitarsis*. *Xinjiang Agricultural Science and Technology*, (5): 34. [何成勇, 郭辉, 许风东, 阿里木·阿不拉, 2006. 白星花金龟的发生规律及无公害防治. 新疆农业科技, (5): 34.]

He YM, Feng CF, Yang Y, He ZX, Zhang GH, 2009. Progress of livestock and poultry manure pollution and its treatment technology. *Guangdong Animal Husbandry and Veterinary Science and Technology*, 34(1): 3–5, 11. [何逸民, 冯春复, 阳燕, 何兆祥, 张桂红, 2009. 畜禽粪便污染及其治理技术进展. 广东畜牧兽医科技, 34(1): 3–5, 11.]

Li SQ, Hu JK, 2003. Livestock and poultry manure pollution and treatment technology. *Renewable Energy*, (1): 21–23. [李淑芹, 胡玖坤, 2003. 畜禽粪便污染及治理技术. 可再生能源, (1): 21–23.]

Li T, Ma DY, Qiang S, Wang XP, Wei Y, 2010. Study on the host and occurrence rule of the white star golden tortoise in the western suburb of Urumqi. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 47(2): 320–324. [李涛, 马德英, 羌松, 王小平, 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.]

Sun CK, 2018. Study on the circulation model of "wheat straw- large bulb cap mushroom-*Protaetia brevitarsis*". Mater dissertation. Shandong: 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. 山东: 山东农业大学.]

Suo ZY, Bai M, Li S, Ma DY, 2015. Textual research on the name of *Protaetia brevitarsis* tortoise and its harm in Xinjiang. *Northern Fruits*, (3): 1–3. [索中毅, 白明, 李莎, 马德英, 2015. 白星花金龟名称考证及其在新疆的危害. 北方果树, (3): 1–3.]

Tan ZQ, XU WX, 2008. Xinjiang rural organic waste resources estimate and biogas potential analysis. *Renewable Energy*, (2): 104–106. [谭祖琴, 徐文修, 2008. 新疆农村有机废弃物资源量概算及沼气潜力分析. 可再生能源, (2): 104–106.]

TuNuHe·HaMiTi, 2011. Study on occurrence rules and green prevention and control techniques of *Protaetia brevitarsis* in turpan area. Master dissertation. Xinjiang: Xinjiang Agricultural University. [吐努合·哈米提, 2011. 吐鲁番地区白星花金龟的发生规律及绿色防控技术研究. 硕士学位论文. 新疆: 新疆农业大学.]

Xie H, 2014. A brief discussion on the investigation and comprehensive prevention and control of the *Protaetia brevitarsis*. *Green Technology*, (7): 63–64. [谢辉, 2014. 浅议白星花金龟的调查及综合防控. 绿色科技, (7): 63–64.]

Xu JJ, 2007. A preliminary study on the harm-spreading trend and prevention and control techniques of *Protaetia brevitarsis* in Xinjiang. China Society of Plant Protection. Plant Conservation and Modern Agriculture-Proceedings of the 2007 Meeting of the China Society of Plant Protection. Guilin. 486–489. [许建军, 2007. 白星花金龟在新疆为害、扩散趋势及其防治技术初探. 中国植物保护学会. 植物保护与现代农业-中国植物保护学会 2007 年学术会议论文集. 桂林. 486–489.]

Xu JJ, Yuan Z, Liu ZJ, Liu H, Guo WC, TuErXun·AHeMaiTi, He J, 2009. Host, distribution and occurrence rule of *Protaetia*

brevitarsis tortoise in the farmland ecological area of Xinjiang. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 46(5): 1042–1046. [许建军, 袁洲, 刘忠军, 刘红, 郭文超, 吐尔逊·阿合买提, 何江, 2009. 白星花金龟在新疆农田生态区的寄主、分布及其发生规律. 新疆农业科学, 46(5): 1042–1046.]

Yang C, 2014. Biology and feeding habit of *Protaetia brevitarsis* on corn stalk. Master dissertation. Shandong: Shandong Agricultural University. [杨诚, 2014. 白星花金龟生物学及其对玉米秸秆取食习性的研究. 硕士学位论文. 山东: 山东农业大学.]

Yang C, Liu YS, Xu XY, Zhang JW, 2014. Analysis and evaluation of larval resource components of *Protaetia brevitarsis*. *Journal of Shandong Agricultural University* (*Science Edition*), 45(2): 166–170. [杨诚, 刘玉升, 徐晓燕, 张建巍, 2014. 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. Study on feeding effect of larva of *Protaetia brevitarsis* on leavened corn stalk. *Journal of Environmental Entomology*, 37(1): 122–127. [杨诚, 刘玉升, 徐晓燕, 赵莉, 2015. 白星花金龟幼虫对酵化玉米秸秆取食效果的研究. 环境昆虫学报, 37(1): 122–127.]

Zhang L, 2012. Occurrence and control of *Protaetia brevitarsis* in cotton field. *Agriculture and Technology*, 32(10): 78. [张乐, 2012. 棉田白星花金龟的发生与防治. 农业与技术, 32(10): 78.]

Zhang Q, 2015. Biological study on the *Protaetia brevitarsis* feeding on oyster mushroom. Mater dissertation, Shandong: 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. 山东: 山东农业大学.]

Zhao RG, Chen RZ, 2008. Observation on the living habits of *Protaetia brevitarsis*. *China Plant Protection*, (6): 19–20. [赵仁贵, 陈日曌, 2008. 白星花金龟生活习性观察. 中国植保导刊, (6): 19–20.]

Zheng HY, Liu JP, Nan HL, Li ZL, He LF, 2005. Studies on the feeding habits of the *Protaetia brevitarsis*. *Shanxi Agricultural Science*, (3): 23–24, 54. [郑洪源, 刘建平, 南怀林, 李占林, 何丽芬, 2005. 白星花金龟子食性研究. 陕西农业科学, (3): 23–24, 54.]