不同酵化时间和饲养密度对双叉犀金龟幼虫转化菌糠的影响*

袁 悦[1**] 陈杨博[1] 张俊杰[1] 刘 佳[3] 黄 海[2***] 杜文梅[1***]

（1. 吉林农业大学生物防治研究所，天敌昆虫应用工程技术研究中心，长春 130118；
2. 广西梧州学院食品与制药工程学院，梧州 543002；3. 磐石市森林病虫防治检疫站，磐石 132300）

摘 要 **【目的】**利用双叉犀金龟 *Allomyrina dichotoma* 生物治理菌糠，既可实现菌糠废弃物的无害化处理与应用，又可有效降低昆虫的饲养成本。本研究旨在明确菌糠发酵程度和种群饲养密度对双叉犀金龟幼虫转化菌糠的影响，为利用双叉犀金龟生物治理菌糠提供理论支撑。**【方法】** 在 29 ℃条件下，调查 3 龄幼虫连续 40 d 对不同酵化时间（10、20、30 和 40 d）和不同饲养密度（20、30、40、50 和 60 头/箱）条件下的取食菌糠量、排粪量和虫体增重等指标。**【结果】** 随着菌糠酵化时间的延长，双叉犀金龟转化菌糠能力呈显著上升趋势，发酵 40 d 时，双叉犀金龟连续 40 d 的取食量为（42.11±0.14）g/头、排粪量（30.12±0.40）g/头、虫体增重量（8.21±0.26）g/头，显著高于其他处理，但与对照无显著差异（$P<0.05$）；随着密度增加，虫体存活率无显著差异（$P>0.05$），但平均虫体增重量、取食量、排粪量均呈显著下降的趋势，其中密度 30 头/箱处理平均虫体增重量为（5.20±0.06）g/头，平均取食量为（56.32±1.14）g/头，排粪量为（35.74±0.47）g/头，与最小密度 20 头/箱处理无显著差异，但显著高于其他密度处理（$P<0.05$）。**【结论】** 双叉犀金龟 3 龄幼虫对酵化时间为 40 d 的木耳菌糠转化能力最强，种群密度应不高于 30 头/箱。

关键词 双叉犀金龟；木耳菌糠；酵化周期；饲养密度；转化率

Effects of different fermentation duration and feeding densities on the conversion of mushroom bran by *Allomyrina dichotoma* larvae

YUAN Yue[1**] CHEN Yang-Bo[1] ZHANG Jun-Jie[1]
LIU Jia[3] HUANG Hai[2***] DU Wen-Mei[1***]

(1. Engineering Research Center of Natural Enemy Insects, Institute of Biological Control, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; 2. School of Food and Pharmaceutical Engineering, Wuzhou University, Wuzhou 543002, China; 3. Forest Pest Control and Quarantine Station of Panshi City, Panshi 132300, China)

Abstract **[Aim]** Feeding fermented mushroom bran to *Allomyrina dichotoma* larvae not only enables harmless treatment and efficient utilization of mushroom bran waste, it also effectively reduces insect rearing costs. This study aimed to determine how fermentation duration and population rearing density affect the conversion of mushroom bran by *A. dichotoma* larvae, providing theoretical support for biological control and utilization of mushroom bran by the beetle larvae. **[Methods]** 3rd instar larvae were raised at 29 ℃ for 40 days. The amount of mushroom bran consumed, feces excreted, and larval weight, were measured under different fermentation durations (10, 20, 30 and 40 d, respectively) and different rearing densities (20, 30, 40, 50, 60 larvae/case, respectively). **[Results]** There was a significant increase in the ability of larvae to transform mushroom bran with increasing fermentation time. Food intake, the amount of feces excreted, and larval weight was (42.11±0.14), (30.12±0.40) and (8.21±0.26) g, respectively, in *A. dichotoma* fed mushroom bran fermented for 40 days. This result was significantly higher compared to the other treatment groups but not the control ($P<0.05$). There was no significant difference in

*资助项目 Supported projects：吉林省重点研发项目（20220203007SF）；2023 年大学生创新创业项目（S202310193094）
**第一作者 First author，E-mail：3088158604@qq.com
***共同通讯作者 Co-corresponding authors，E-mail：915654829@qq.com；280114191@qq.com
收稿日期 Received：2022-08-26；接受日期 Accepted：2023-04-23

the survival rate of the larva with increasing rearing density (P>0.05), but average weight gain, food intake, and feces excretion showed a significant downward trend. At a density of 30 larvae/case, average larval weight gain, food intake, and feces excretion was (5.20±0.06), (56.32±1.14) and (35.74±0.47) g, respectively. This result was not significantly different from the minimum density of 20 larvae/case, but it was significantly higher than the other density treatments (P<0.05). **[Conclusion]** Based on our findings, the optimal fermentation time for the effective conversion of mushroom bran by *A. dichotoma*, is 40 days. To conserve resources, the population density of *A. dichotoma* should not exceed 30 larvae/case.

Key words　*Allomyrina dichotoma*; mushroom bran; fermentation duration; feeding densities; percent conversion

食用菌产业已成为我国第五大种植产业，占世界总产量的 70%（张莹等，2020）。高效利用废弃菌糠既可推动食用菌行业的持续发展，也有利于农业经济提升。双叉犀金龟 *Allomyrina dichotoma*，属鞘翅目 Coleoptera 犀金龟科 Dynastidae 双叉犀金龟属 *Allomyrina*，广泛分布于亚洲，不仅在观赏、工业、食用、药用等方面具有重要价值（Zhou *et al*., 2020; Kim *et al*., 2021），也被越来越多地利用到处理菌糠废弃物中（刘玮等，2012；魏茂和郭建军，2022）。

种群密度和食物是直接影响昆虫生长发育的 2 个重要因素（黄伯有等，2010）。种群密度过大，则种内竞争对其平均个体所起的作用也相对较大。例如随着饲养密度的增加，东亚小花蝽 *Orius sauteri* 的捕食量受到显著影响，尤其是对棉蓟马 *Thrips tabaci* 和朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinu* 这 2 种猎物的取食行为存在强烈的干扰性（武予清等，2010）。除种群密度外，食物在昆虫发育过程中也起到重要作用。研究者发现，昆虫取食主要遵循营养需求和适口性 2 种原则（Dus *et al*., 2011）。昆虫在适宜食物条件下，取食量高，虫体生长速度快，生殖力高。如瓜实蝇 *Zeugodacus cucurbitae*、南亚实蝇 *Zeugodacus tau* 和草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 在不同寄主植物饲喂的条件下生长情况存在显著差异（王淑枝等，2021；李貌等，2022），白星花金龟 *Protaetia brevitarsis* 成虫在不同寄主上繁殖的能力不同，以葡萄为寄主时不产卵，取食番茄、西瓜、桃和杏的成虫繁殖能力比取食桑葚的高（蔡欢欢等，2021）。食物和饲养密度相辅相成，共同影响昆虫的生长发育。

利用双叉犀金龟生物转化木耳菌糠时，需对出耳后的菌包进行简单发酵处理，发酵时间不同，双叉犀金龟表现出明显的取食差异。同时，因 3 龄双叉犀金龟幼虫个体较大，其密度也严重影响了取食转化菌糠的能力，基于此，本研究主要研究了不同酵化时间和饲养密度对双叉犀金龟取食转化菌糠的影响，以期找到适合的菌糠酵化时间和密度，为利用双叉犀金龟生物处理菌糠提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　供试虫源

双叉犀金龟 3 龄幼虫于 2020 年 5 月 10 日至 15 日采自吉林省蛟河市黄松甸镇（N: 43°35′8.81″，E: 127°46′28.96″），在 26-28 ℃，RH 60%-70% 的饲养室内，用木耳菌糠饲养。成虫羽化待其性成熟后，取 30 对双叉犀金龟作为供试母体，每 24 h 更换 1 次产卵基质，将含有双叉犀金龟同日龄卵的产卵基质放入供试条件，用于后期试验。

1.2　试验仪器

多功能粉碎机（WJX-800A 型，上海缘沃工贸有限公司），烘箱（上海合恒仪器设备有限公司），电子天平（北京双杰电气股份有限公司），电子台秤（北京双杰电气股份有限公司），人工智能气候室（PRS-20 型，宁波赛福实验仪器有限公司），培养箱（MLR-351H 型，美墨尔特有限公司）。

1.3　试验方法

按照有效微生物（Effective microorganisms, EM）原菌粉：红糖：自来水（静置 24 h）=2：200：2 000 的比例，配置 2 L EM 原菌液，放入 38 ℃培养箱内 5 d。在室温 25 ℃条件下，将 EM 菌液倒入 200 kg 木耳菌糠中，搅拌均匀，并将

菌糠的含水量调配到 70%，堆成馒头状并加盖塑料薄膜酵化。

1.3.1　不同酵化时间对双叉犀金龟转化菌糠的影响　实验设置 4 个不同酵化时间处理（10、20、30 和 40 d），以自然条件下发酵 1 年的菌糠为对照组（CK），共 5 个处理。每个处理设 3 次重复，每个重复随机选取 1 日龄的 3 龄双叉犀金龟幼虫 5 头测定连续 40 d 的虫体增重量、取食量、排粪量。

虫体增重量、取食量及排粪量测定方法：随机取 1 日龄的 3 龄双叉犀金龟幼虫，称重后放入养虫罐（9 cm×9 cm×14 cm）中，并加入 120 g 经不同酵化时间处理且含水量为 55%的木耳菌糠。40 d 后，取出双叉犀金龟幼虫并称重，将剩余菌糠和虫粪过 10 目筛网分离，置于 60 ℃烘箱烘干后称重，计算取食量（取食量=初始菌糠干重–剩余菌糠干重）和排粪量（虫粪干重），每个重复随机测 5 头，取其平均值。

1.3.2　不同饲养密度对双叉犀金龟转化菌糠的影响　实验密度分别设置为 20、30、40、50 和 60 头/箱，共计 5 个处理，每个处理 3 次重复。在 1.3.1 的基础上，选择发酵 40 d 的木耳菌糠作为双叉犀金龟幼虫食物。每个处理挑选大小相似的 3 龄初期幼虫，分别称量虫体重量后放入体积为 57 cm×41 cm×30 cm 的饲养箱中，提供 12.50 kg，含水量 55%的菌糠，厚度为 19-20 cm，连续饲养 40 d 后，拣出虫体称鲜重，将剩余物料、虫粪和部分虫体烘干，称量累计虫体增重量、累计取食量和累计排粪量（均以干重计），参考刘玉升（2012）计算平均虫体转化率、平均虫重增长量、平均虫粪转化率和平均近似消化率，比较密度对双叉犀金龟菌糠转化的影响。

以上试验均在人工气候室[(29±1) ℃，RH70%±5%，L14∶D10]条件下进行，饲养双叉犀金龟待其进入 3 龄后开始试验。

1.4　数据处理与分析

所有数据均使用 DPS 数据处理系统及 Excel 2007 软件进行处理与分析，本研究数据通过单因素方差分析；当总体方差（$P<0.05$）存在显著差异时，使用 Tukey 法对平均值进行多重比较。

2　结果与分析

2.1　不同酵化时间对双叉犀金龟幼虫转化力的影响

由表 1 可得，随着发酵时间延长，双叉犀金龟 3 龄幼虫对菌糠的取食量、排粪量和虫体增重量显著增加。与室外自然发酵菌糠相比，利用 EM 菌发酵 40 d 时，双叉犀金龟 3 龄幼虫连续 40 d 的取食量最高，达到（42.11±0.14）g/头，与对照无显著差异，其次为发酵 30 d 时，取食量为（35.81±0.10）g/头，发酵 10 d 和 20 d 之间无显著差异，但显著低于其他处理，取食量仅为（28.76±0.15）-（30.57±0.12）g/头($P<0.05$)。菌糠发酵 40 d 时双叉犀金龟排粪量最高，达到（30.12±0.40）g/头，与对照无显著差异，其次为发酵 30 d 时，排粪量为（25.80±0.15）g/头，发酵 10 和 20 d 之间无显著差异，但显著低于其他处理（$P<0.05$）。随着发酵时间延长，3 龄双叉犀金龟的虫体增重量显著增加，利用 EM 菌发酵 40 d 时，双叉犀金龟 3 龄幼虫虫体增重量最大，达到（8.21±0.26）g/头。虽然发酵 30 d 和 40 d 处理的虫体增重均与对照无显著差异，但 40 d 的显著高于 30 d 的处理（$P<0.05$）。

2.2　不同饲养密度对双叉犀金龟幼虫转化力的影响

由表 2 可得各密度处理存活率无显著差异（$P>0.05$）；但平均虫体增重量、取食量、排粪量随着饲养密度的增加，呈显著下降的趋势。平均虫体增重量在密度 20 和 30 头/箱时，分别为（6.04 ±0.28）和（5.20±0.06）g/头，处理间无显著影响，但密度为 40-60 头/箱时，虫体增重量显著降低，仅有（4.05±0.36）-（4.83±0.15）g/头（$P<0.05$）；平均取食量与虫体增重趋势一致，在密度 20 和 30 头/箱时，无显著影响，但密度为 40-60 头/箱时，平均取食量显著降低（$P<0.05$）；平均排粪量在密度 20 头/箱时，为（44.55±0.60）g/头，显著高于其他 4 个密度，依次为密度 30 头/箱[(35.74±0.47) g/头]、40 头/箱[(27.95±2.41) g/头]、50 头/箱[(26.20±1.53) g/头]和 60 头/箱[(22.31±1.24) g/头]（$P<0.05$）。

表 1　不同酵化时间对双叉犀金龟转化力的影响

Table 1　Effects of different fermentation duration on transformation ability of *Allomyrina dichotoma*

时间（d） Time	DPS 参数 DPS parameters	虫体增重量（g/头） Insect weight gain (g/ind.)	取食菌糠干重（g/头） Dry weight of the fungus bran intake (g/ind.)	排粪量（g/头） Defecation volume (g/ind.)
10		5.17±0.40 c	28.76±0.15 c	20.11±0.96 c
20		5.74±0.22 c	30.57±0.12 c	21.74±0.23 c
30		6.77±0.10 b	35.81±0.10 b	25.80±0.55 b
40		8.21±0.26 a	42.11±0.14 a	30.12±0.40 a
CK		7.53±0.04 a	41.89±1.00 a	29.66±0.04 a
	F	27.04	180.21	71.32
	P	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1

表中数值为平均值±标准误，同列数字后标有不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05，Tukey 检验）。下表同。

The values in the table are mean ±SE; and followed by the different letters in the same column mean significant difference (*P*<0.05, Tukey tesy). The same below.

表 2　不同饲养密度对双叉犀金龟转化力的影响

Table 2　Effects of different feeding densities on transformation ability of *Allomyrina dichotoma*

密度（头/箱） Density (ind./box)	DPS 参数 DPS parameters	虫体增重量（g/头） Insect weight gain (g/ind.)	取食菌糠干重（g/头） Dry weight of the fungus bran intake (g/ind.)	排粪量（g/头） Defecation volume (g/ind.)	存活率（%） Survival rate (%)
20		6.04±0.28 a	63.41±1.44 a	44.55±0.60 a	98.33±1.67 a
30		5.20±0.06 ab	56.32±1.14 a	35.74±0.47 b	95.56±2.94 a
40		4.83±0.15 b	46.13±3.33 b	27.95±2.41 c	98.33±0.83 a
50		4.66±0.15 b	42.13±1.79 bc	26.20±1.53 c	92.67±1.76 a
60		4.05±0.36 b	35.59±0.94 c	22.31±1.24 c	93.89±2.78 a
	F	10.77	33.37	38.17	1.44
	P	0.001 2	<0.000 1	<0.000 1	0.291 9

2.3　不同饲养密度对双叉犀金龟幼虫转化率的影响

不同饲养密度对双叉犀金龟 3 龄幼虫转化率的影响见表 3。各密度处理平均虫体转化率均在 3.75%-4.79%，处理间无显著差异（*P*>0.05）；各处理平均虫粪转化率存在显著差异，密度为

表 3　不同饲养密度对双叉犀金龟转化率的影响

Table 3　Effects of different feeding densities on the transformation rate of *Allomyrina dichotoma*

密度（头/箱） Density (ind./box)	DPS 参数 DPS parameters	平均虫体转化率（%） Average insect body conversion rate (%)	平均虫粪转化率（%） Average insect dung conversion rate (%)	平均近似消化率（%） Average approximate digestibility (%)
20		4.58±0.20 a	71.31±2.28 a	29.65±2.28 b
30		3.75±0.10 a	64.36±0.68 ab	36.52±0.69 ab
40		3.81±0.17 a	61.43±2.03 b	39.49±2.03 a
50		4.58±0.07 a	63.20±0.98 ab	37.90±0.98 ab
60		4.79±0.56 a	63.73±2.14 ab	37.40±2.03 ab
	F	2.94	4.70	4.89
	P	0.075 6	0.021 5	0.019 1

40 头/箱时，平均虫粪转化率为 61.43%，显著低于密度 20 头/箱处理（$P<0.05$），与其它处理差异不显著；密度为 40 头/箱时，平均近似消化率为 39.49%，显著高于 20 头/箱处理（$P<0.05$），与其它处理差异不显著。

3　结论与讨论

EM 菌是由光合菌、乳酸菌、酵母菌、放线菌、双歧杆菌等有益微生物复合培养而成的多功能制剂，被广泛应用于农业种植、养殖等相关生产环节，特别是在畜禽饲料的发酵中发挥着重要的作用（宋朝霞等，2022）。本研究发现，双叉犀金龟对发酵不同程度的菌糠转化能力存在显著差异，随着发酵时间延长，其虫体增重、取食量、排粪量等指标呈现上升趋势，与室外自然发酵菌糠相比，并无显著性差异。从节约时间成本和效果上看，发酵时长为 40 d 最合适用于双叉犀金龟的人工饲养。

在昆虫转化底物的过程中，饲养密度大小会直接影响昆虫转化底物的能力（Deruytter and Coudron, 2022）。密度过低会造成空间上的浪费，密度过高会导致群体内部竞争，从而影响昆虫的正常生长发育以及对底物的转化。如利用黑水虻 *Hermetia illucens* 幼虫转化底物时若接种密度过大，不仅不会提高转化率，还会造成幼虫资源浪费（杨森，2010；李鑫，2021）。本研究结果与已报道密度对昆虫的影响结果基本一致，随着饲养密度增加，虫体增重量、取食量、排粪量等指标显著下降，密度为 20-30 头/箱时，各指标均显著最高，密度为 40 头/箱时，各指标开始显著降低，所以从节约空间的角度上看，密度应不高于 30 头/箱。

对比不同酵化时间单头饲养和不同密度群养虫体生长情况，发现群养时，虫体取食量和排粪量均有增加，但虫体增重量减少。此现象说明群体饲养可以促进双叉犀金龟幼虫的取食，但幼虫间也存在明显的种群内部竞争，所以适合的密度更有利于提高其取食转化菌糠的能力。这一现象在西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 和亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 的饲养过程中也有所体现，可能与群体饲养的昆虫可以通过其他个体引导更高效的寻觅食物，提高取食效率有关（乔利等，2011；李欣华等，2021）。

研究报道单头白星花金龟 3 龄幼虫对菌糠的取食量为 0.75-0.83 g/d（张倩，2015；孙晨可，2018），而本研究结果显示双叉犀金龟 3 龄幼虫对木耳菌糠的取食量最高可达 1.59 g/d，是白星花金龟的 1.92-2.12 倍，相比之下双叉犀金龟的取食量更大，转化菌糠所需虫体数量更少、效率更高。本研究明确了双叉犀金龟 3 龄幼虫饲养过程中最适宜的菌糠发酵时间、饲养密度及不同密度下对木耳菌糠的转化能力，为菌糠的生物转化提供理论依据，为探索更多农业废弃物的生物转化奠定理论基础。

参考文献 (References)

Cai HH, Huxidan MMT, Wang ZY, Liu YQ, Wang SS, 2021. Occurrence regularity of *Potosia brevitarsis* adults in Turpan and effect of the host on its reproduction. *Plant Protection*, 47(3): 237–241. [蔡欢欢, 胡西旦·买买提, 王忠跃, 刘永强, 王少山, 2021. 白星花金龟成虫在吐鲁番葡萄上的发生规律及寄主对其繁殖能力的影响. 植物保护, 47(3): 237–241.]

Deruytter D, Coudron CL, 2022. The effects of density on the growth, survival and feed conversion of *Tenebrio molitor* larvae. *Journal of Insects as Food and Feed*, 8(2): 141–146.

Dus M, Min S, Keene AC, Lee GY, Suh GSB, 2011. Taste-independent detection of the caloric content of sugar in *Drosophila*. *Proceedings of the Nationall Academy of Sciences*, *USA*, 108(28): 11644–11649.

Huang BY, Wang FH, Cai Y, Li GH, Zhang XD, Zhou HH, Pang Y, 2010. Effects of four insect diets on the development food digestion and utilization of *Myrmeleon sagax* larvae. *Chinese Bulletin of Entomology*, 47(1): 92–95. [黄伯有, 王方海, 蔡毅, 李广宏, 张宣达, 周汉辉, 庞义, 2010. 四种昆虫饵料对穴蚁蛉幼虫生长发育及消化利用的影响. 昆虫知识, 47(1): 92–95.]

Kim K, Kwak MK, Bae GD, Park EY, Baek DJ, Kim CY, Jang SE, Jun HS, Oh YS, 2021. *Allomyrina dichotoma* larva extract attenuates free fatty acid-induced lipotoxicity in pancreatic beta cells. *Nutrition Research and Practice*, 15(3): 294–308.

Liu W, Wu JQ, Wu YF, Jia K, Zhu LY, 2012. Recycling of the waste materials of edible fungus for feeding of ornamental beetles. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 40(8): 4577–4578. [刘玮, 吴俊清, 吴焱枫, 郑侃, 朱丽云, 2012. 食用菌废料在观赏甲

虫双叉犀金龟饲养中的再利用. 安徽农业科学, 40(8): 4577–4578.]

Liu YS, 2012. Insects Productive Science. Beijing: Higher Education Press. 178–179. [刘玉升, 2012. 昆虫生产学. 北京: 高等教育出版社.178–179.]

Li M, Zhang JL, Yan ZH, Liu N, Huang YY, Chen GH, Zhang XM, 2022. Effects of different hosts on growth, development and oviposition selection of *Zeugodacus cucurbitae* and *Zeugodacus tau*. *Plant Protection*, 48(3): 151–158. [李貌, 张金龙, 闫振华, 刘娜, 黄禹禹, 陈国华, 张晓明, 2022. 不同寄主对瓜实蝇和南亚实蝇生长发育和产卵选择的影响. 植物保护, 48(3): 151–158.]

Li X, 2021. Optimization of growth conditions of *Hermetia illucens* and study on efficiency of food waste treatment. Master dissertation. Harbin: Harbin Institute of Technology. [李鑫, 2021. 黑水虻生长条件优化及处理餐厨垃圾的效能研究.硕士学位论文. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学.]

Li XH, Wang DJ, Lei ZR, Wang HH, 2021. Comparison of life tables for experimental populations of individual rearing and group-rearing *Frankliniella occidentalis*. *Scientia Agricultura Sinica,* 54(5): 959–968. [李欣华, 王登杰, 雷仲仁, 王海鸿, 2021. 单头饲养和群体饲养的西花蓟马实验种群生命表比较. 中国农业科学, 54(5): 959–968.]

Qiao L, Pan ZL, Lu ZC, Zhang LX, Wu JX, 2011. Growth development and reproduction of the *Ostrinia furnacalis* (Guenee) under single raising and group raising. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 20(10): 204–206.[乔利, 潘兹亮, 卢兆成, 张丽霞, 仵均祥, 2011. 单头饲养与群体饲养对亚洲玉米螟生长发育与繁殖的影响. 西北农业学报, 20(10): 204–206.]

Song ZX, Cao L, Li GH, 2022. Current status of research and application of effective microorganisms (EM) in agriculture. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 50(1): 21–23, 54. [宋朝霞, 曹理, 李国辉, 2022. 有效微生物菌群在农业领域的研究与应用现状. 安徽农业科学, 50(1): 21–23, 54.]

Sun CK, 2018. Study on the recycling mode of "wheat straw-*Stropharia Rugosoannulata-Protaetia brevitarsis*". Master dissertation. Taian: 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.]

Wang SZ, Wang LX, Han RH,Zhang ZQ, Liu ST, Wang XM, Duan AJ, 2021. Effects of five crops on the growth and reproduction of *Spodoptera frugiperda* laboratory population. *China Plant Protection* , 41(11): 10–14. [王淑枝, 王利霞, 韩瑞华, 张自启, 刘顺通, 王小梅, 段爱菊, 2021. 5 种作物对草地贪夜蛾实验种群生长发育及繁殖的影响. 中国植保导刊, 41(11): 10–14.]

Wei M, Guo JJ, 2022. Research progress of resource insects *Trypoxylus dichotomus*. *Journal of Mountain Agriculture and Biology,* 41(1): 49–55. [魏茂, 郭建军, 2022. 资源昆虫双叉犀金龟研究进展. 山地农业生物学报, 41(1): 49–55.]

Wu YQ, Zhao MQ, Yang SF, Duan Y, Jiang YL, 2010. Predations of *Orius sauteri* (Hemiptera: Anthocoridae) on four insect pests. *Chinese Journal of Biological Control*, 26(1): 13–17. [武予清, 赵明茜, 杨淑斐, 段云, 蒋月丽, 2010. 东亚小花蝽对四种害虫的捕食作用. 中国生物防治, 26(1): 13–17.]

Yang S, 2010. Continuous culture of *Hermetia illucens* L. and study on swine manure bioconversion tropical region. Master dissertation. Wuhan: Huazhong Agricultural University. [杨森, 2010. 热带地区连续培养亮斑扁角水虻和生物转化猪粪研究. 硕士学位论文. 武汉: 华中农业大学.]

Zhang Q, 2015. Study on the biology of *Potosia brevitarsis* (Lewis) feeding on oyster mushroom bran. Master dissertation. Taian: 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 Y, Tian L, Xu MH, Wang B, Song B, Li Y, 2020. Research progress in comprehensive utilization of spent mushroom substrates. *Microbiology China,* 47(11): 3658–3670. [张莹, 田龙, 徐敏慧, 王蓓, 宋冰, 李玉, 2020. 食用菌菌糠综合利用研究进展. 微生物学通报, 47(11): 3658–3670.]

Zhou M, Huang D, Su X, Zhong J, Hassanein MF, An L, 2020. Analysis of microstructure characteristics and mechanical properties of beetle forewings, *Allomyrina dichotoma*. *Structures*, 29(33): 741–750.