

杜文梅,陈杨博,蔡苗,王乐奇,刘行,阮长春,张俊杰.环境条件对双叉犀金龟成虫存活及繁殖的影响 [J].环境昆虫学报,2022,44 (5):1264-1270.

环境条件对双叉犀金龟成虫存活及繁殖的影响

杜文梅,陈杨博,蔡 茁,王乐奇,刘 行,阮长春,张俊杰*(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)

摘要:双叉犀金龟 Allomyrina dichotoma 是一种重要的森林资源昆虫,本文研究了环境温度(20°C、23°C、26°C、29°C、32°C)及菌糠含水量(35%、45%、55%、65%)对双叉犀金龟成虫寿命及子代数量的影响。结果表明,双叉犀金龟雌雄虫寿命均随温度的升高呈显著缩短,20°C ~26°C下雌虫寿命在 55 ~62 d 之间,显著长于 29°C ~32°C 处理;20°C ~23°C下的雄虫寿命在 33 ~48 d 之间,显著长于 26°C ~32°C 处理;环境温度及菌糠含水量均对双叉犀金龟成虫子代数量有显著影响,26°C时,4 个菌糠含水量处理的平均子代数量为 31.42 头/雌,显著高于其它温度处理,菌糠含水量 55% ~65%时,5 个温度处理的平均子代数量为 18.83 ~19.12 头/雌,显著高于其它菌糠含水量处理,其中以温度 26°C、菌糠含水量 55%处理的双叉犀金龟子代数量最高,达 45.42 头/雌。各温度下双叉犀金龟繁殖子代数量均随时间的延长呈先上升后下降的趋势,各温度下产卵繁殖的高峰时间存在明显差异。在 26°C时,双叉犀金龟各时间段子代数量均高于其它温度,在 35 ~45 d 时,达到产卵高峰期(12.33 头/雌),综合各指标,建议利用菌糠饲养双叉犀金龟时,其成虫最佳环境条件为 26°C、菌糠含水量 55%。

关键词:双叉犀金龟;温度;菌糠含水量;寿命;子代数量

中图分类号: Q968.1; S89

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2022) 05-1264-07

Effects of environmental conditions on survival and reproduction of *Allomyrina dichotoma*

DU Wen-Mei, CHEN Yang-Bo, CAI Zhuo, WANG Le-Qi, LIU Xing, RUAN Chang-Chun, ZHANG Jun-Jie* (Engineering Research Center of Natural Enemy Insects, Institute of Biological Control, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract: Allomyrina dichotoma is an important forest resource insect. The effects of environmental temperature $(20^{\circ}\text{C}, 23^{\circ}\text{C}, 26^{\circ}\text{C}, 29^{\circ}\text{C}, 32^{\circ}\text{C})$ and bran moisture (35%, 45%, 55%, 65%) on the longevity of adult and the number of offspring of A. dichotoma were studied. The results showed that the longevity of male and female was significantly shortened with the increase of temperature. The longevity of female in the treatment of $20^{\circ}\text{C} \sim 26^{\circ}\text{C}$ ranged from 55 d to 62 d, which was significantly longer than that in the treatment of $29^{\circ}\text{C} \sim 32^{\circ}\text{C}$; The life span of males treated at $20^{\circ}\text{C} \sim 23^{\circ}\text{C}$ ranged from 33 d to 48 d, which was significantly longer than that treated at $26^{\circ}\text{C} \sim 32^{\circ}\text{C}$. Both the environmental temperature and bran moisture had significant effects on the offspring number of the adult A. dichotoma. At 26°C , the average offspring number of the four treatments with bran moisture was 31.42, which was significantly higher than that of other temperature treatments. When bran moisture was $55\% \sim 65\%$, the average

基金项目: 吉林省科技发展计划技术攻关项目 (20190303073SF); 2021 年大学生创新创业项目 (S202110193077)

作者简介: 杜文梅, 硕士, 副教授, 主要研究方向为昆虫行为生态学, E-mail: 280114191@ qq. com

^{*}通讯作者 Author for correspondence: 张俊杰,博士,教授,主要研究方向为昆虫行为生态学,E-mail: junjiezh@126.com收稿日期 Received: 2021 - 06 - 13;接受日期 Accepted: 2021 - 08 - 14

offspring number of the five temperature treatments was $18.83 \sim 19.12$, which was significantly higher than that of other treatments. Among them, at the temperature was 26°C and bran moisture was 55%, the offspring of A. dichotoma was the highest, which was 45.42. The number of offspring of A. dichotoma increased first and then decreased with the extension of time at different temperatures, and the peak time of spawning was significantly different at different temperatures. At 26°C , the number of offspring of A. dichotoma was higher than that at other temperatures, and it reached the peak of oviposition (12.33) at $35 \sim 45$ days. Based on all the indexes, it was suggested that the optimal environmental conditions for the adults of A. dichotoma fed with bran were 26°C , and bran moisture was 55%.

Key words: *Allomyrina dichotoma*; temperature; water content of spent mushroom substrates; longevity; number of offspring

环境条件对昆虫的生长发育、生殖及行为活 动等均能产生直接或间接的影响, 其中以温湿度 对其影响最为突出(武海卫等, 2012; 赵晨宇等, 2020; 陈俊屹, 2021)。在适宜温度范围内, 昆虫 寿命一般随温度升高而缩短, 性成熟及产卵前期 显著缩短,而最高生殖力仅限于较狭窄的温度范 围内,如白星花金龟 Protaetia brevitarsis (Lewis) 在19℃~34℃时,其产卵前期随温度的升高显著 缩短 (张广杰, 2019); 灰飞虱 Laodelphax striatellus (Fallén) 在18℃~27℃时,产卵量随随 温度的升高显著升高、当温度超过30℃时、其成 虫寿命极短,且不能产卵繁殖后代(张爱民等, 2008); 巨膜长蝽 Jakowleffia setulosa (Jakovlev) 在 28℃~35℃下存活率、增长指数和繁殖力较高, 是饲养巨膜长蝽的最适温度 (何嘉等, 2014)。昆 虫对湿度的反应与温度一样,有一定的适宜范围, 如落叶松毛虫 Dendrolimus superans Butler 在湿度 65%~80%时,幼虫发育历期最短,存活率最高 (马小博, 2017); 灰茶尺蠖 Ectropis grisescens Warrnen 在65%~80%湿度条件下化蛹率最高(王 慧芳, 2018): 暗黑鳃金龟 Holotrichia parallela 幼虫 适于在 20℃~28℃条件存活,其中以温度 24℃和 土壤含水量为16%时存活率最高,土壤含水量为 25%时,幼虫无法存活(冯晓洁等,2017)。在自 然界中, 温湿度总是同时存在, 相互影响, 对昆 虫进行综合作用。

双叉犀金龟 Allomyrina dichotoma 属鞘翅目 Coleoptera 犀金龟科 Dynastidae 双叉犀金龟属 Allomyrina,又称独角仙,是一种森林资源昆虫,一般在腐殖土或木屑堆内部生活。成虫可作观赏,也是仿生学研究的重要材料 (Zhou et al., 2021),幼虫具有很高的食用和药用价值(单立华等,

1998; Sung et al., 2020)。刘玮等人研究了利用菌糠废弃物作为双叉犀金龟饲料的可行性研究,发现菌糠废弃物可替换发酵木屑饲养双叉犀金龟(刘玮等, 2012)。而利用菌糠饲养双叉犀金龟时,成虫多蛰伏于菌糠堆内产卵繁殖,只有取食、交配和活动时会钻出表面,在目前的双叉犀金龟成虫人工饲养中,未见环境因素对其影响的报道。基于此,本文主要研究了环境温度和菌糠含水量对双叉犀金龟成虫存活及繁殖的影响,为资源昆虫的有效利用和进一步开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

双叉犀金龟 Allomyrina dichotoma 于 2020 年 5月 10-15 日采自吉林省蛟河市黄松甸镇,在 $26\%\sim28\%$, RH 60% $\sim70\%$ 的饲养室内,将单头双叉犀金龟幼虫分别装至养虫瓶内(直径 7 cm,高 15 cm),用木耳菌糠饲养,菌糠含水量为 50% $\sim60\%$ 。

1.2 试验方法

温度 A 和菌糠含水量 B 对双叉犀金龟成虫生殖的影响试验设置详见表 1, 共计 20 个处理,每个处理 12 个重复。将当日羽化的雌雄成虫配对后单独放入养虫盒中(33 cm×22.5 cm×16 cm),菌糠厚度为 13~15 cm,每 24 h 饲喂新鲜水果 1次,并记录双叉犀金龟存活情况,直到双叉犀金龟雌虫死亡;开始试验后,每个处理首次间隔 15 d 更换 1 次,更换的饲养盒和菌糠放入原有试验条件下 15 d 后检查饲养盒内双叉犀金龟子代数量(双

叉犀金龟产卵后直接检查会导致卵孵化率下降)。 试验均在人工气候室 RH 70% ±5%; 14 L:10 D 条件下进行。

温度对双叉犀金龟成虫产卵历期的影响:取最佳湿度下的雌雄虫寿命和子代数量,分析各温度下双叉犀金龟子代数量随时间变化及成虫的寿命、子代数量与温度的关系。

表 1 试验设计 Table 1 Experimental design

温度 (A) (℃)	菌糠含水量 (B) (%) Water content of spent mushroom substrates				
Temperature	35 (B1)	45 (B2)	55 (B3)	65 (B4)	
20 (A1)	A1B1	A1B2	A1B3	A1B4	
23 (A2)	A2B1	A2B2	A2B3	A2B4	
26 (A3)	A3B1	A3B2	A3B3	A3B4	
29 (A4)	A4B1	A4B2	A4B3	A4B4	
32 (A5)	A5B1	A5B2	A5B3	A5B4	

1.3 数据分析

所有数据处理均使用 DPS 数据处理系统及 Microsoft Excel 2007 软件进行处理、分析,本文试验 2.1 和 2.2 均通过做双因素方差分析(ANOVA),两因素分别为环境温度(5个水平)和菌糠含水量(4个水平);2.3 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 环境条件对双叉犀金龟寿命的影响

温度及菌糠含水量对双叉犀金龟雌雄成虫寿命的影响结果见表 2 和表 3。双叉犀金龟雌雄虫寿命随着温度的升高呈显著下降趋势(雌虫: $F_{4,220}$ = 30. 43,P < 0.01;雄虫: $F_{4,220}$ = 54. 27,P < 0.01),20℃、23℃和 26℃处理的雌虫寿命无显著性差异,在 55~62 d 之间,但显著长于 29℃和 32℃处理的雌虫寿命。显著长于 26℃、29℃和 32℃处理的雄虫寿命显著长于 26℃、29℃和 32℃处理,26℃和 29℃处理无显著差异,32℃处理的雄虫寿命最短,只有 22. 48 d。菌糠含水量对双叉犀金龟雌雄虫寿命均无显著性差异,雌虫寿命均在 49. 60~52. 05 d,雄虫寿命均在 33. 72~35. 80 d;且温度和菌糠含水量间的相互作用对双叉犀金龟雌虫寿命有显著影响。

菌糠含水量分别为 35% ~ 65% 时, 双叉犀金龟雌雄成虫寿命随温度的变化趋势相同, 菌糠含水量为 35% 时, A1B1 处理的雌雄成虫寿命均最高,分别为 67.50 d 和 40.42 d, 与 A2B1 无显著性差异,但显著高于 A3B1、A4B1 和 A5B1; 菌糠含水量为 45% 时, A2B2 处理的雌雄成虫寿命均最高,分别为 66.42 d 和 44.92 d, 与 A1B2 无显著性差异,但显著高于 A3B2、A4B2 和 A5B2; 菌糠含水量为 55% 时, A1B3 和 A2B3 处理的雌雄成虫寿命无显著性差异,但显著高于 A3B3、A4B3 和 A5B3; 菌糠含水量为 65% 时, A1B4 和 A2B4 处理的雌雄成虫寿命无显著性差异,但显著高于 A3B4、A4B4 和 A5B4。

表 2 环境条件对双叉犀金龟雌虫寿命的影响

Table 2 Effects of environmental conditions on female longevity of Allomyrina dichotoma

温度 (℃)	菌糠含水量 (%) Water content of spent mushroom substrates				平均寿命 (d)
Temperature	35	45	55	65	Average life span
20	67. 50 ± 5. 36 Aa	59. 60 ± 5. 49 Aab	62. 58 ± 5. 33 Aa	54. 67 ± 3. 98 Aa	61.06 ± 2.90 a
23	52. 33 ± 4. 41 Aab	66. 42 ± 4. 88 Aa	54. 42 ± 5. 22 Aa	65.00 ± 3.68 Aa	59.54 ± 2.65 a
26	44.90 ± 2.87 Bbc	55.67 ± 1.52 Bbc	$57.\ 25 \pm 2.\ 35\ \mathrm{Bb}$	$58.\ 17 \pm 3.\ 72 \text{ Ab}$	$54.00 \pm 1.58 \text{ a}$
29	45. 17 ± 2 . 23 Abc	37. 08 ± 4.54 Abc	$44.75 \pm 2.81 \text{ Abc}$	$48.92 \pm 1.56 \text{ Ab}$	$43.98 \pm 0.87 \text{ b}$
32	$31.58 \pm 3.23 \text{ Ac}$	$35.92 \pm 4.17 \text{ Ac}$	$32.67 \pm 4.73 \text{ Ac}$	$37.58 \pm 5.43 \text{ Ab}$	34. 44 ± 2. 44 c
平均 Average	48. 30 ± 1. 69 A	$50.92 \pm 2.13 \text{ A}$	$50.33 \pm 1.88 \text{ A}$	$52.87 \pm 1.28 \text{ A}$	-

注:表中数值为平均值 \pm 标准误,同列数字后的小写字母表示差异显著 (P < 0.05),同行数字后的大写字母表示差异显著 (P < 0.05),下同。Note: Values in the table were mean \pm standard error; different letters in the same column meant significant difference (P < 0.05), the same below.

	表 3 环境条件对双义库金电雄虫寿命的影响
Table 3	Effects of environmental conditions on male longevity of Allomyring dichotom

温度 (℃)	菌糠含水量 (%) Water content of spent mushroom substrates				平均寿命 (d)
Temperature	35	45	55	65	Average life span
20	40. 42 ± 2. 66 Aa	40. 83 ± 2. 57 Aab	43. 00 ± 1. 90 Aa	45. 50 ± 1. 63 Aa	42. 44 ± 1. 06 a
23	33.92 ± 3.11 Bab	44. 92 ± 3. 26 ABa	43. 42 ± 3. 23 ABa	$48.00 \pm 3.59 \text{ Aa}$	42. 56 ± 1.68 a
26	29. 00 ± 2.20 Abc	28. 75 \pm 2. 62 Abc	$31.25 \pm 3.02 \text{ Ab}$	$26.75 \pm 1.96 \text{ Ab}$	$28.94 \pm 1.12 \text{ b}$
29	24. 67 \pm 2. 43 Abc	$26.00 \pm 2.42 \text{ Abc}$	23. 08 ± 2.36 Abc	$24.50 \pm 2.18 \text{ Ab}$	24. 56 ± 1.31 be
32	$21.25 \pm 2.95 \text{ Ac}$	$20.42 \pm 6.35 \text{ Ac}$	$15.08 \pm 2.02 \text{ Ac}$	$18.42 \pm 2.33 \text{ Ab}$	$18.79 \pm 2.25 \text{ c}$
平均 Average	29. 85 ± 1. 15 A	32. $18 \pm 1.50 \text{ A}$	31. 17 \pm 1. 09 A	32. 63 ± 1. 11 A	-

表 4 温度和菌糠含水量双因素 DPS 处理结果
Table 4 DPS treatment results of temperature and
water content

	F	雌虫寿命 emale longevity	雄虫寿命 Male longevity	子代数量 Number of offspring
	A	< 0. 0001	< 0. 0001	< 0. 0001
P	В	0. 3659	0. 4401	< 0.0001
	$A \times B$	0. 025	0. 1708	< 0.0001
	A	30. 43	54. 27	81. 897
F	В	1.06	0. 90	23. 05
	$A \times B$	2.00	1. 40	3.96

2.2 环境条件对双叉犀金龟子代数量的影响

温度及菌糠含水量对双叉犀金龟子代数量的影响结果见表 5,在 $20\% \sim 32\%$ 时,双叉犀金龟均可繁殖后代,温度对双叉犀金龟子代数量有显著性影响(温度: $F_{4,220}=81.89$,P<0.01),26%处理 A3B1、A3B2、A3B3、A3B4 的平均子代数量显著高于其它温度,达 31.42 头/雌。菌糠含水量对双叉犀金龟子代数量也存在显著性影响($F_{4,220}=23.04$,P<0.01),含水量为 65% 的处理 A1B4、A2B4、A3B4、A4B4、A5B4 的平均子代数量最高,达 19.12 头/雌,显著高于菌糠含水量 $35\% \sim 45\%$ 的处理,与菌糠含水量 55% 的处理无显著性差异。温度和菌糠含水量间的相互作用对双叉犀金龟子代数量有显著影响。

以不同含水量的菌糠作为双叉犀金龟产卵繁殖基质,在 $20\% \sim 23\%$ 时,各菌糠含水量的子代数量 无显著性差异($20\% : F_{3,44} = 1.21, P > 0.05; 23\% : F_{3,44} = 1.46, P > 0.05),在 <math>26\% \sim$

32℃时,菌糠含水量对双叉犀金龟子代数量存在显著性差异(26℃: $F_{3,44}$ = 15.40,P < 0.01;29℃: $F_{3,44}$ = 5.39,P < 0.01;32℃: $F_{3,44}$ = 5.34,P < 0.01);其中在26℃时,双叉犀金龟在各菌糠含水量的后代数量均最高。菌糠含水量为35%~65%时,双叉犀金龟子代数量随着温度的升高呈先升高后降低的趋势,各处理差异显著(含水量35%: $F_{4,55}$ = 19.74,P < 0.01;含水量45%: $F_{4,55}$ = 12.04,P < 0.01;含水量55%: $F_{4,55}$ = 43.32,P < 0.01;含水量65%: $F_{4,55}$ = 43.32,P < 0.01;含水量65%: P < 0.01;

2.3 温度对双叉犀金龟繁殖历期的影响

各温度下,双叉犀金龟子代数量随时间变化趋势如图 1 所示,随着时间的延长,各温度下双叉犀金龟繁殖后代数均呈现先上升后下降的趋势,各温度下繁殖的高峰时间存在明显差异。在 26%时,双叉犀金龟各时间段子代数量均高于其它温度,在 $35\sim45$ d 时,子代数量为 12.33 头/雌,显著高于 $0\sim15$ d 和 $55\sim65$ d 的子代数量;其次为 29% 和 32%,在 $25\sim35$ d 时,子代数量最多 (11.00 头/雌和 5.67 头/雌);20% 和 23% 时,仅在 $45\sim75$ d 时繁殖后代,数量为 $0.42\sim1.83$ 头/雌。

对双叉犀金龟成虫的寿命、子代数量与温度的关系进行了比较,结果详见图 2。发现低温 20℃~23℃下,双叉犀金龟成虫虽能存活,但繁殖子代数量很低,只有 3~4 头/雌,不适于双叉犀金龟成虫繁殖后代;26℃~29℃时,子代数量相对最高,寿命较短,32℃时,寿命最短,产卵繁殖受到影响,不利于种群繁殖。

	表 5
Table 5	Effects of environmental conditions on the offspring numbers of Allomyrina dichotoma

温度 (℃)	菌糠含	平均子代数量 (头/雌)			
Temperature	35	45	55	65	Average number of offspring
20	$0.50 \pm 0.05 \text{ Ab}$	$0.67 \pm 0.067 \text{ Ac}$	$3.08 \pm 1.72 \text{ Ac}$	$1.75\pm1.02~\mathrm{Ac}$	$1.50 \pm 0.59 d$
23	$0.92 \pm 0.069 \text{ Ab}$	$4.58 \pm 1.62 \text{ Abc}$	$3.83 \pm 1.32 \text{ Ac}$	$4.33\pm1.74~\mathrm{Abc}$	$3.42 \pm 0.54 d$
26	16. 25 ± 3. 04 Ca	25. 92 ± 2. 16 BCa	45. 42 ± 3. 61 Aa	38. 08 ± 4. 04 ABa	31.42 ± 1.78 a
29	15. 58 ± 2. 55 Ba	15. 00 ± 4.23 Bab	25. $58 \pm 3.$ 23 ABb	33. 75 ± 4. 95 Aa	22. $48 \pm 1.77 \text{ b}$
32	$1.25 \pm 0.081 \text{ Bb}$	$7.58\pm3.96~\mathrm{ABbc}$	16. 25 ± 2.71 Ab	17. 67 ± 4.55 Ab	10. 69 \pm 2. 10 c
平均 Average	$6.90 \pm 1.09 \text{ B}$	10. 75 ± 0.83 B	18. 83 ± 1. 41 A	19. 12 ± 1. 41 A	-

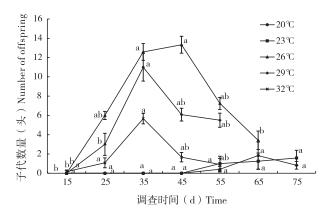


图 1 各温度下双叉犀金龟子代数量随时间变化曲线 Fig. 1 Time dependent curves of the offspring numbers of Allomyrina dichotoma under different temperatures

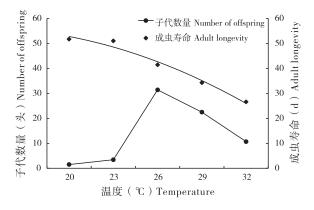


图 2 双叉犀金龟成虫寿命、子代数量与温度的关系 Fig. 2 Relationship between adult longevity, offspring numbers and temperature of adults of *Allomyrina dichotoma*

3 结论与讨论

丁岩钦(1980)等分析了环境条件对昆虫种群的影响,讨论了环境温度和湿度等对昆虫种群

存活、繁殖的影响,认为昆虫最高生殖力仅限于 较狭窄的温度范围内, 如黏虫成虫 Mythimna separata (Walker) 在温度 19℃~23℃适于活动和 产卵、当25℃、相对湿度90%时、产卵量最大、 30℃产卵受到影响,35℃时几乎不能产卵(丁岩 钦, 1980; 韦秋凤, 2012)。此外, 昆虫栖息场所的 湿度对于土壤昆虫关系更为密切, 如小地老虎 Agrotis ypsilon (Rottemberg) 在微山湖蝗区的世代 转移与数量分布,直接与土壤含水量有伴随关系 (张庆荣和赵国光, 1956);铜绿丽金龟 Anomala corpulenta Motschulsky 成虫的繁殖力以及幼虫和卵 的牛长发育都与土壤含水量有直接的关系, 当土 壤湿度为10%~25%时,卵能够正常的生长发育, 当土壤湿度超过30%时,卵的孵化时间明显延长 (范永贵, 1992; 范永贵, 1996; 党志红, 2009; 周 洪旭, 2009; 段爱菊, 2019)。本研究探讨了环境温 度和菌糠含水量对双叉犀金龟成虫存活和繁殖的 影响, 在温度 20℃~32℃, 菌糠含水量 35%~ 65%时,双叉犀金龟成虫均能存活及繁殖后代, 但双叉犀金龟最高繁殖力仅限于较狭窄的温度范 围内, 26℃~29℃时适于活动和繁殖后代, 当 26℃、菌糠含水量为55%时,子代数量最多, 32℃时繁殖受到影响,20℃~23℃不适于双叉犀 金龟成虫繁殖。利用双叉犀金龟生物治理菌糠时, 建议成虫的饲养温度为26℃,菌糠含水量为55%。

随着食用菌行业的快速发展,菌糠废弃物的综合开发与利用也成为一个崭新的课题。根据中国食用菌协会发布《2019年度全国食用菌统计调查结果分析》的结果显示,2019年全国食用菌总产量3933.87万t,总产值达到3126.67亿元。约有数亿吨的菌糠产生,如何将菌糠综合利用,就地消耗是目前研究应用的趋势。利用昆虫处理有

机废弃物,既可以实现减量,又可以获得昆虫产品及生物有机肥,符合环境污染治理的基本原则。目前研究和利用较为成熟的包括家蝇 Musca domestica L.、大头金蝇 Chrysomya megacephala (Fabricius)、黑水虻 Hermetia illucens L.、白星花金龟 Protaetia brevitarsis (Lewis)、黄粉虫 Tenebrio molitor L. 等(李逵等,2017)。利用双叉犀金龟生物治理菌糠既可实现菌糠废弃物的无害化处理与应用,又可有效降低双叉犀金龟的饲养成本。同时,幼虫及其副产物可以通过食用、药用、生产、娱乐、加工等方式被人类利用,从而形成良性的物质循环和能量流动。本研究明确了双叉犀金龟成虫最佳的繁殖条件,为资源昆虫的进一步开发利用提供理论依据。

参考文献 (References)

- Bae SM, Fan M, Choi YJ, et al. Exploring the role of a novel peptide from Allomyrina dichotoma larvae in ameliorating lipid metabolism in obesity [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2020, 21 (22): 8537.
- Chen JY. Effects of different soil environments on the development of the third instar *Allomyrina dichotoma* to adults of rhinoceros bimaculatus [J]. *Technology & Management*, 2021, 6: 67 68. [陈俊屹. 不同土壤环境对双叉犀金龟 3 龄幼虫至成虫发育过程的影响 [J]. 科学咨询(科技管理), 2021, 6: 67 68]
- Duan AJ, Wang SJ, Wang LX, et al. Effects of temperature and humidity on the egg growth and development of Anomala corpulenta Motschulsky [J]. Shanxi Journal of Agricultural Sciences, 2019, 65 (10): 71 74. [段爱菊, 王淑枝, 王利霞, 等. 温湿度对铜绿丽金龟卵生长发育的影响 [J]. 陕西农业科学, 2019, 65 (10): 71 74]
- Ding YQ. Principle and Application of Mathematical Ecology of Insect Population [M]. Beijing: Science Press, 1980: 5. [丁岩钦. 昆虫种群数学生态学原理与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1980: 5]
- Dang ZH, Li YF, Gao ZL, et al. Influence of soil moisture on growth and development of Holotrichia oblita [J]. Chinese Bulletin of Entomology, 2009, 46 (1): 135 138. [党志红,李耀发,高占林,等. 土壤含水量对华北大黑鳃金龟生长发育的影响[J]. 昆虫知识, 2009, 46 (1): 135 138]
- Fan YG, Zheng FQ, Feng JX. Effect of soil moisture content on the reproductive capacity of *Holotrichia parallela* (Motschulsky) [J]. *Journal of Shandong Agricultural University* (Natural Science Edition), 1992, 3: 305 307. [范永贵,郑方强,冯居贤. 土壤含水量对暗黑鳃金龟生殖力的影响[J]. 山东农业大学学报,1992, 3: 305 307]
- Fan YG, Zheng FQ, Feng JX. Effect of soil moisture content on the reproductive capacity of *Holotrichia oblita* Faldermann [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 1996, 3:160-162. [范永贵, 郑方强,

- 冯居贤. 土壤含水量对大黑鳃金龟生殖的影响 [J]. 昆虫知识, 1996, 3:160-162
- Feng XJ, Xi GC, Liu FS, et al. Effects of temperature, soil water content and food on the survival and development of Holotrichia parallela (Coleoptera: Scarabaeidae) larvae [J]. Acta Entomologica Sinica, 2017, 60 (8): 920 926. [冯晓洁, 席国成, 刘福顺, 等. 温湿度和食物对暗黑鳃金龟幼虫存活及生长发育的影响[J]. 昆虫学报, 2017, 60 (8): 920 926]
- He J, Gao LY, Zhang R, et al. Effects of temperature on the growth, development and reproduction of Jakowleffia setulosa (Hemiptera: Lygaeidae) [J]. Acta Entomologica Sinica, 2014, 57 (8): 935 942. [何嘉,高立原,张蓉,等.温度对巨膜长蝽生长发育与繁殖的影响 [J]. 昆虫学报, 2014, 57 (8): 935 942]
- Li K, Yang QZ, Lei CL, *et al.* Status and prospects of the transformation of organic wastes by insects in China [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2017, 39 (2): 453 459. [李逵, 杨启志, 雷朝亮, 等. 我国利用昆虫转化有机废弃物的发展现状及前景[J]. 环境昆虫学报, 2017, 39 (2): 453 459]
- Liu W, Wu JQ, Wu YF, et al. Recycling of the waste materials of edible fungus for feeding of ornamental beetles [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40 (8): 4577 4578. [刘玮, 吴俊清, 吴焱枫, 等. 食用菌废料在观赏甲虫双叉犀金龟饲养中的再利用[J]. 安徽农业科学, 2012, 40 (8): 4577 4578]
- Ma XB. Temperature and Humidity Effects on *Dendrolimus superans*Butler Grow and Develop [D]. Haerbing: Northeast Forestry
 University Master Thesis, 2017. [马小博. 温度和湿度对落叶松
 毛虫生长发育的影响 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学硕士论文,
 2017]
- Shan LH, Song YW, Jin LS, et al. Analysis of nutritional components in larvae of Allomyrina dichotoma [J]. Journal of Liaoning Forestry Science & Technology, 1998, 2: 30 31. [单立华,宋友文, 靳来素,等. 双叉犀金龟幼虫营养成分分析 [J]. 辽宁林业科技, 1998, 2: 30 31]
- Wang HF. Pupation Behaviors, Emergence Successes and Reproduction of *Ectropis grisescens* (Lepidoptera: Geometridae) in Response to Different Substrate Types and Moisture Contents [D]. Guangzhou: South China Agricultural University Master Thesis, 2018. [王慧芳. 基质类型和湿度对灰茶尺蠖化蛹、羽化和繁殖的影响 [D]. 广州: 华南农业大学硕士论文, 2018]
- Wu HW, Kang Z, Xin SL, et al. Effects of different food plants on the growth, development and reproduction of fall webworm, Hyphantria cunea, larvae [J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2012, 49 (4): 963 968. [武海卫, 康智, 信善林, 等. 不同食料植物对美国白蛾生长发育和繁殖的影响 [J]. 应用昆虫学报, 2012, 49 (4): 963 968]
- Wei QF. Discussion on biological features and control technology of armyworm [J]. *Journal of Guangxi Agriculture*, 2012, 27 (6): 26-28. [韦秋凤. 黏虫的生物学特性与防治技术初探[J]. 广西农学报, 2012, 27 (6): 26-28]
- Zhao CY, Li XC, Cui J, et al. Effects of fluctuating temperature on the growth, development and reproduction of Mamestra brassicae (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. Acta Entomologica Sinica, 2020,

- 63 (9): 1108-1116. [赵晨宇, 李新畅, 崔娟, 等. 变温对甘蓝夜蛾生长发育和繁殖的影响 [J]. 昆虫学报, 2020, 63 (9): 1108-1116]
- Zhou HX, Tan XM, Li CY, et al. Effect of nourishment and humidity on the development and reproduction of Holotrichia oblita [J]. Acta Agriculturae Boreali Sinica, 2009, 24 (4): 201 204. [周洪旭, 谭秀梅, 李长友, 等. 营养和湿度对华北大黑鳃金龟生长发育和生殖的影响[J]. 华北农学报, 2009, 24 (4): 201 204]
- Zhang AM, Liu XD, Zhai BP, et al. Influences of temperature on biological characteristics of the small brown planthopper, Laodelphax striatellus (Fallén) (Hemiptera: Delphacidae) [J]. Acta Entomologica Sinica, 2008, 51 (6): 640-645. [张爱民, 刘向东,翟保平,等. 温度对灰飞虱生物学特性的影响 [J].

- 昆虫学报, 2008, 51 (6): 640-645]
- Zhang GJ. Studies on the Transformation Techniques of Organic Waste Using *Potosia brevitarsis* (Coleoptera: Cetoniidea) [D]. Taian: Shandong Agricultural University Master Thesis, 2019. [张广杰. 白星花金龟对有机废弃物的转化技术研究[D]. 山东: 山东农业大学硕士论文, 2019]
- Zhang QR, Zhao GG. Observation and control of *Agrotis ypsilon* (Rottemberg) in Weishan Lake area [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 1956, 2:71-73. [张庆荣, 赵国光. 微山湖地区小地老虎的观察及其防治[J]. 昆虫知识, 1956, 2:71-73]
- Zhou M, Chen YY, Su XL, et al. Mechanical performance of a beam with corrugated steel webs inspired by the forewing of *Allomyrina dichotoma* [J]. *Structures*, 2021, 29 (33): 741-750.