蠋蝽猎物—黏虫的室内种群复壮

李鸿波[1]， 张长华[2]， 贾芳嬰[3]， 戴长庚[1]， 胡 阳[1*]

(1. 贵州省农业科学院植物保护研究所，贵阳 550006；2. 贵州省烟草公司遵义市分公司，遵义 563000；
3. 贵州省烟草公司绥阳县分公司，遵义 563399)

摘要 猎物的质量直接决定了天敌的质量和饲养规模。蠋蝽是一种重要的捕食性天敌，其若虫和成虫对鳞翅目害虫幼虫均有较强的捕食能力。目前蠋蝽主要依靠黏虫来饲养。但在长期室内饲养过程中黏虫种群出现衰退现象，进而制约了蠋蝽规模化繁育。本文旨在研究黏虫种群复壮措施，为蠋蝽的规模化繁育提供技术支撑。为此，采用回接自然寄主和室内与室外种群杂交的方式评价了黏虫的种群复壮效果。结果表明，回接自然寄主玉米叶后黏虫的幼虫发育历期(18.03 d)较人工饲料饲养组(21.26 d)显著缩短，蛹重(369.00 mg)和成虫产卵量(770.88 粒/雌)显著高于人工饲料饲养组(323.56 mg，532.73 粒/雌)，但二者的蛹历期和成虫寿命无显著差异。杂交试验结果表明，4 种交配方式产生的 F_1 代产卵前期、雌雄成虫寿命及其子代幼虫和蛹的发育历期无显著差异，但产卵期、产卵量及蛹重存在差异。其中以田间雌性×田间雄性(YF×YM)组合的产卵期最长(8.07 d)和产卵量最高(938.77 粒/雌)，而以田间雌性×室内雄性(YF×EM)组合的蛹最重(354.59 mg)。这些结果显示，通过回接自然寄主和室内与室外种群杂交的方式能促进黏虫的种群复壮。

关键词 黏虫； 蠋蝽； 种群衰退； 种群复壮

中图分类号： S476 **文献标识码：** A **DOI：** 10.16688/j.zwbh.2020598

Population rejuvenation of *Mythimna separata*, a prey of the important natural enemy *Arma chinensis*

LI Hongbo[1], ZHANG Changhua[2], JIA Fangzhao[3], DAI Changgeng[1], HU Yang[1*]

(1. *Institute of Plant Protection, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang* 550006, *China*;
2. *Zunyi Branch of Guizhou Tobacco Company, Zunyi* 563000, *China*;
3. *Suiyang Branch of Guizhou Tobacco Company, Zunyi* 563399, *China*)

Abstract The quality of prey directly determines the quality and rearing scale of natural enemies. *Arma chinensis* is an important predator, and its nymph and adult can predate the larvae of many Lepidoptera species. Until now, rearing of *A. chinensis* mainly depends on *Mythimna separata*, an economically important pest of grain crops in China. However, the population quality of this prey decreases after successive generations, and thus restrict large-scale rearing of *A. chinensis*. This study aimed to resolve the issue of quality degradation of *M. separata* population, and further provide a theoretical support for large-scale rearing of *A. chinensis*. The effects of population rejuvenation of *M. separata was* evaluated by providing the natural host and hybridization between indoor and outdoor populations. The results showed that the developmental duration (18.03 d) of larvae feeding corn leaves was significantly shorter than that of the artificial diet group (21.26 d), the pupal weight (369.00 mg) and the number of eggs laid by female adults (770.88 eggs per female) were significantly higher than that of the artificial diet group (323.56 mg, 532.73 eggs per female); however, no significant difference was found in pupal duration and adult longevity between treatments. Mating experiments showed that the pre-oviposition duration of F_1, the larval and pupal durations, adult longevity were not different among four mating groups, but the oviposition duration, the pupal weight and the fecundity were significantly different among treatments. The YF×

收稿日期： 2020-11-11 **修订日期：** 2020-12-02
基金项目： 贵州省烟草公司遵义市公司科技项目(遵烟计[2018]11 号)；贵州省特色杂粮产业技术体系(2020-01)；贵州省植保植检站高粱害虫绿色防控横向委托项目(2020-1)
* 通信作者 E-mail：huyanggz@126.com

YM group had the longest reproduction duration (8.07 d) and the highest number of eggs (938.77 eggs per female), while the YF × EM group had the highest pupal weight (354.59 mg). These results suggested that feeding corn leaves and mating with different populations could effectively promote population rejuvenation in *M. separata*.

Key words *Mythimna separata*; *Arma chinensis*; population decline; population rejuvenation

利用天敌控制害虫的首要条件是天敌能大规模繁育,而天敌能否大规模繁育主要取决于猎物或寄主的繁育效率和质量[1-2]。已有的研究表明,长期饲养不可避免地影响猎物或寄主的生物学特性,从而影响天敌的生产效率和质量[2-5]。因此,开展寄主昆虫的质量控制或研究改善天敌的规模化繁育具有重要的意义。

蠋蝽 *Arma chinensis* 属半翅目,蝽科,是一种广泛分布于我国农林生态系统中的捕食性天敌。据报道,该天敌可以若虫或成虫捕食鳞翅目、鞘翅目和双翅目等多种农林害虫的成虫和幼虫[6-8]。近年来的研究发现,蠋蝽对鳞翅目害虫表现出较强的捕食能力,主要包括甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua*[9]、黏虫 *Mythimna separata*[10]、斜纹夜蛾 *Spodoptera litura*[11]、棉铃虫 *Helicoverpa armigera*[12]、草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda*[13-14],美国白蛾 *Hyphantria cunea*[15]、米蛾 *Corcyra cephalonica*[10]、柞蚕 *Antheraea pernyi*[10]。已有的研究表明,黏虫是蠋蝽大规模繁育最适宜的猎物[10]。据报道,长期的室内饲养可诱导昆虫的自交衰退和随机遗传漂变,导致较低的遗传变异和较差的个体质量,最终导致出现种群衰退现象[4,16]。本试验在黏虫长期的饲养过程中已发现其种群衰退现象,主要表现为发育历期延长、个体变小、产卵量和活动能力下降等,在一定程度上制约了蠋蝽的规模化繁育。如何保证在不影响生物学特性的情况下大规模繁育黏虫是蠋蝽大规模繁育的前提。因此,急需开展黏虫种群复壮的研究。

据报道,昆虫种群复壮研究主要集中在管氏肿腿蜂 *Scleroderma guani*[17]、花绒寄甲 *Dastarcus helophoroides*[18]、伞裙追寄蝇 *Exorista civilis*[19]、黑腹果蝇 *Drosophila melanogaster*[20] 和烟蚜茧蜂 *Aphidius gifuensis*[21] 等昆虫中,而复壮措施主要包括回接自然寄主[17-18]、不同来源的昆虫种群杂交[17]、模拟自然条件[18]、添加营养成分等[19,21],但以回接自然寄主和不同来源的种群杂交的复壮效果最好[17-18]。因此,本研究拟通过回接自然寄主植物和不同来源的黏虫种群杂交两种方法对黏虫室内种群进行复壮,从而提升黏虫室内种群的活力和生殖力,最终为蠋蝽的规模化繁育提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

黏虫室内种群于 2014 年采自贵州省黔西县素朴镇(27°01′N,106°20′E)的玉米植株上(品种为'盛农 3 号')。采集时虫态为幼虫,带回后饲养在贵州省农业科学院植物保护研究所人工气候室内,饲养条件为:L∥D=16 h∥8 h、温度 24~25℃、湿度 70%~80%。具体饲养方法参照李鸿波等[22]的方法进行。本种群用于开展回接自然寄主对黏虫种群复壮效果的评价试验。

黏虫田间种群于 2019 年采自贵州省农业科学院植物保护研究所玉米试验田(26°50′N,106°66′E),采集时虫态为幼虫,带回室内利用玉米叶饲养至成虫,用于开展室内与室外种群的杂交试验。

1.2 试验方法

1.2.1 回接玉米叶对黏虫种群复壮效果的影响

长期用人工饲料饲养的黏虫羽化后,将 20 对黏虫成虫按 1∶1的雌雄比接于养虫笼(长×宽×高=30 cm×30 cm×30 cm)内,笼内提供白色塑料绳作为产卵介质,提供 5%(*m*/*V*)的蜂蜜水作为补充营养。待黏虫产卵后,将带卵的塑料绳置于塑料盒内,内置湿润的棉球保湿,直至卵孵化。试验设置两个处理:一是回接自然寄主组。由于玉米是黏虫最适宜的寄主,因此本研究选择玉米作为回接自然寄主植物。将刚孵化的黏虫幼虫单头接种于内置有新鲜玉米叶(品种为'黔单 16 号')的透明圆柱形塑料盒内饲养(100 mL),每天观察黏虫的生长发育情况,并定期更换叶片,直至黏虫化蛹。二是人工饲料饲养组(为对照)。将刚孵化的 1 龄幼虫单头置于含有人工饲料的 24 孔细胞培养板中,盖上盖子防止其逃逸。期间定期更换人工饲料,根据虫体的大小更换不同规格的细胞培养板,观察黏虫的生长情况直到化蛹。黏虫化蛹后,将其收集后置于玻璃培养皿中,内放湿润棉球保湿,直到羽化。以上处理的饲养条

件同 1.1,每个处理重复 80 次。

将 24 h 内羽化的 1 对雌雄成虫接于内置产卵绳的产卵笼内产卵,并提供 5%的蜂蜜水为其补充营养,每天更换蜂蜜水并观察成虫的产卵情况。待黏虫开始产卵后,每天将带卵的塑料绳取出,并放入新的产卵绳,直到成虫死亡。期间记录各处理黏虫的产卵前期、产卵期、产卵量和雌雄成虫的寿命。每个处理重复 15～20 次。

1.2.2 *交配组合对黏虫种群复壮效果的影响*

试验设置 4 种交配组合:YF×YM,表示野外种群黏虫雌性和雄性杂交(对照);YF×EM,表示野外种群雌性和室内种群雄性杂交;YM×EF,表示野外种群雄性和室内种群雌性杂交;EF×EM 表示室内种群雄性与室内种群雌性杂交(对照)。将刚羽化的室内和野外种群按上述组合配对后,观察产卵和子代的发育情况,观察指标和饲养方法同 1.2.1。每个交配组合重复 15～20 次。

1.3 数据分析

采用 *t*-test 检验回接自然寄主玉米叶和人工饲料饲养组黏虫的各生长发育、存活和生殖等指标之间的差异显著性;采用单因素方差分析法(One-way ANOVA)检验不同交配组合之间生长发育、存活和生殖等指标之间的差异显著性,并采用 Duncan 氏新复极差法多重比较检验不同处理间的差异显著性。所有处理的显著水平为 $\alpha=0.05$,统计过程在 DPS 17.0 软件中完成[23]。

2 结果与分析

2.1 回接玉米叶对黏虫种群复壮效果的影响

将人工饲料饲养的黏虫回接玉米叶饲养,并以人工饲料饲养的黏虫种群为对照,比较两种饲养食物对黏虫生长发育、蛹重、存活和繁殖的影响,结果如表 1 所示。回接自然寄主玉米叶对黏虫的幼虫历期具有显著影响,其幼虫历期较人工饲料饲养组缩短 3.23 d,但回接玉米叶对黏虫蛹历期无显著影响。回接玉米叶后黏虫蛹重达 369.00 mg,显著高于人工饲料饲养的黏虫蛹重(323.56 mg)。回接玉米叶和人工饲料饲养幼虫的存活率分别为 86.25%和 81.25%,二者无显著差异;蛹存活率分别为 91.30%和 90.77%,二者也无显著差异。

表 1　回接玉米叶对黏虫生长发育、蛹重和存活率的影响[1)]

Table 1　Effects of feeding corn leaves on the development, pupal weight and survival rate of *Mythimna separata*

处理 Treatment	幼虫期/d Larval duration	蛹期/d Pupal duration	蛹重/mg Pupal weight	存活率/% Survival rate	
				幼虫 Larva	蛹 Pupa
玉米叶　Corn leaf	(18.03±0.13)b	(11.71±0.09)a	(369.00±3.74)a	86.25a	91.30a
人工饲料　Artificial diet	(21.26±0.35)a	(11.95±0.19)a	(323.56±5.62)b	81.25a	90.77a

1) 表中数据为平均值±标准误。同列不同小写字母表示处理间差异显著(*t*-test, $P<0.05$)。下同。
Data are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference between treatments (*t*-test, $P<0.05$). The same applies bellow.

回接玉米叶后,所羽化成虫的产卵前期和产卵期与人工饲料饲养组无显著差异,但其产卵量(770.88 粒/雌)显著高于人工饲料组(532.73 粒/雌)。此外,回接玉米叶的黏虫成虫寿命与人工饲料饲养组也无显著差异,但回接玉米叶后雌成虫寿命显著低于雄成虫(表 2)。

表 2　回接玉米叶对黏虫成虫生殖和寿命的影响[1)]

Table 2　Effects of feeding corn leaves on the reproduction and longevity of *Mythimna separata* adults

处理 Treatment	产卵前期/d Pre-oviposition duration	产卵期/d Oviposition duration	产卵量/粒·雌$^{-1}$ Fecundity	寿命/d Longevity	
				雌 Female	雄 Male
玉米叶　Corn leaf	(3.89±0.13)a	(7.70±1.17)a	(770.88±32.71)a	(10.89±0.86)a	(13.83±0.81)a*
人工饲料　Artificial diet	(4.11±1.70)a	(7.55±1.10)a	(532.73±71.30)b	(13.41±0.93)a	(12.47±0.94)a

1) * 表示同一处理下雌、雄成虫寿命差异显著(*t* 测验, $P<0.05$)。
* indicates significant difference between male and female longevity in the same treatment (*t*-test, $P<0.05$).

2.2 不同交配方式对黏虫种群复壮的影响

从野外采集黏虫幼虫带回室内饲养至其羽化,与室内同期羽化的成虫进行杂交,比较不同交配方式处理的产卵前期、产卵期、产卵量和寿命(表 3)。结果表

明，不同处理产卵前期、雌雄虫寿命之间无显著差异，但产卵期和产卵量差异显著。产卵期以 YF×YM 组合最长，为 8.07 d，与 YF×EM 和 YM×EF 差异不显著，但显著高于 EF×EM 组合。产卵量以 YF×YM 组合的最高，达到 938.77 粒/雌，与 YF×EM 和 EF×EM 组合差异不显著，但显著高于 YM×EF 组合(表 3)。

表 3 不同交配方式对当代黏虫生殖和寿命的影响[1)]

Table 3 Effects of different mating patterns on the reproduction and longevity of *Mythimna separata* adults

处理 Treatment	产卵前期/d Pre-oviposition duration	产卵期/d Oviposition duration	产卵量/粒·雌$^{-1}$ Fecundity	寿命/d Longevity	
				雌 Female	雄 Male
YF×YM	(4.00±0.09)a	(8.07±0.33)a	(938.77±61.92)a	(12.29±0.37)a	(13.50±0.33)a
YF×EM	(4.20±0.17)a	(7.25±0.41)ab	(795.50±36.96)ab	(12.92±0.51)a	(13.00±0.50)a
YM×EF	(4.57±0.25)a	(7.50±0.47)ab	(704.50±41.18)b	(12.73±0.56)a	(13.21±0.47)a
EF×EM	(4.33±0.27)a	(6.71±0.27)b	(783.00±35.54)ab	(12.78±0.43)a	(13.29±0.72)a

1) YF×YM 表示野外雌性和雄性杂交，YF×EM 表示野外雌性和室内雄性杂交，YM×EF 表示野外雄性和室内雌性杂交，EF×EM 表示室内雌性与室内雄性杂交。表中不同字母表示各处理间差异显著(One-way ANOVA，$P<0.05$)。下同。
YF×YM represents field female mated with field male; YF×EM represents field female mated with experimental male; YM×EF represents field male mated with experimental female, and EF×EM represents experimental female mated with experimental male. Different lowercase letters indicate significant difference between treatments (One-way ANOVA, $P<0.05$). The same applies bellow.

不同交配处理所发育而来的黏虫子代幼虫历期、蛹历期、蛹重和存活率结果如表 4 所示。从表中可以看出不同交配组合的幼虫历期为 18.00～19.05 d，各处理间差异不显著。各处理间蛹的历期为 11.95～12.52 d，也无显著差异。然而，各交配处理间蛹重存在显著差异，其中以 YF×EM 交配组的蛹最重，达 354.49 mg，与 YM×EF 和 YF×YM 交配组合无显著差异，但显著高于 EF×EM 交配组。各交配组合幼虫存活率在 78.25%～83.75%，各处理间差异不显著；蛹期存活率在 89.06%～92.31%，各处理间也无显著差异(表 4)。

表 4 不同交配组合对黏虫后代(F_1)生长发育、蛹重和存活率的影响

Table 4 Effects of different mating patterns on the development, pupal weight and survival rate of *Mythimna separate* (F_1)

处理 Treatment	幼虫期/d Larval duration	蛹期/d Pupal duration	蛹重/mg Pupal weight	存活率/% Survival rate	
				幼虫 Larva	蛹 Pupa
YF×YM	(18.00±1.35)a	(12.11±1.66)a	(350.18±4.28)ab	80.00 a	89.06 a
YF×EM	(19.05±1.60)a	(11.95±1.47)a	(354.59±5.51)a	81.25 a	92.31 a
YM×EF	(18.52±1.81)a	(12.26±1.67)a	(346.00±5.71)ab	83.75 a	89.55 a
EF×EM	(18.90±1.45)a	(12.52±1.42)a	(337.65±7.27)b	78.25 a	90.48 a

3 讨论

室内饲养的昆虫在连续多代饲养后出现的种群衰退是一种常见现象，且衰退形式多样[1-2, 4-5]。例如，管氏仲腿蜂蜂群的退化主要表现为寄生率大为降低，能够寄生的也表现出雌蜂产卵量低、幼虫死亡率高、发育历期变长[17]；黑腹果蝇种群的衰退主要表现为体重下降，翅畸形率增加[20]；对烟蚜茧蜂的研究发现，种群衰退主要表现为羽化率和寄生率下降，性比改变，雌雄蜂后足胫节缩短[21]。本实验室在利用人工饲料饲养黏虫的过程中也发现了种群衰退现象，主要表现为发育历期延长，繁殖力下降，体重减轻，幼虫和成虫活力下降等。

黏虫是粮食作物的重要害虫，近年来的暴发成灾给我国的粮食生产造成了严重威胁[24]，因而开展其防控基础研究具有重要的实际意义；其次，黏虫是一种典型的迁飞性和密度依赖型昆虫，是研究昆虫迁飞、体色变化和密度依赖抗病性机制的理想模型[25-26]；再次，由于黏虫个体间没有明显的相互残杀现象，且饲养方法十分成熟，是多种天敌昆虫大规模饲养的理想寄主。然而，要开展上述的研究，需要高质量的黏虫室内种群。因此，在饲养过程中当黏虫种群出现衰退时，开展种群复壮具有重要的理论和实际意义。

目前，昆虫种群复壮的常见方法主要包含 2 种，即回接自然寄主和不同种群杂交[17-18]。在回接自然寄主方面，对管氏肿腿蜂的研究发现，回接 1 代后其子代蜂种群的寄生率和寄生成功率分别较衰退种群提高了 26%和 28%～33%[17]；将天敌花绒寄甲回

接自然寄主松褐天牛 *Monochamus alternatus* 后,其成虫体重、产卵量、孵化率、寄生羽化率、越冬存活率较退化种群明显提高[18]。本研究发现,回接自然寄主玉米叶后黏虫的幼虫发育历期较人工饲料饲养组缩短了 3.2 d,同时蛹重和成虫产卵量显著高于人工饲料饲养组,说明通过回接自然寄主能够达到黏虫种群复壮的效果。此外,通过回接自然寄主植物虽然能促进黏虫的复壮,但复壮效果能维持几代还不得而知,需要进一步的研究。

在不同种群的杂交方面,管氏肿腿蜂外源蜂种与实验室扩繁蜂种杂交,其子代蜂的发育历期比对照少4 d,寄生率和寄生成功率分别提高 22% 和 17%[17];将野外采集的烟蚜茧蜂与退化烟蚜茧蜂进行杂交,其寄生率、羽化率、成虫寿命、体型较退化种群显著提高[27]。本研究结果表明,YF×EM 组合黏虫的产卵前期、产卵期、产卵量、寿命、子代发育历期和存活率与对照(YF×YM 和 EF×EM 组合)相比无显著差异,但子代蛹重高于 EF×EM 组合,说明通过不同种群的杂交有一定的复壮效果。有意思的是,本研究发现 YF×YM 组合与 EF×EM 组合的产卵前期、产卵量、寿命、子代发育历期和蛹重差异也不显著。有研究表明,河北地区的烟蚜茧蜂与河北地区退化种群杂交后,烟蚜茧蜂的寄生力、寿命、体型也明显提高[27],而从云南引入烟蚜茧蜂野外亲本,与河北地区退化种群连续杂交两代后烟蚜茧蜂的寄生力、寿命、体型都显著提高。其原因可能是当地的野生种群与室内退化种群的遗传背景相似,基因相对单一,复壮效果有限,而遗传背景多样则有利于种群的复壮[27]。此外,本次复壮试验仅仅是在实验室内按 1:1的比例进行野生与室内种群的复壮,而在黏虫的实际繁育中黏虫退化种群的数量较大,这也可能是导致本研究结果的一个重要原因。因此,在利用黏虫繁育蠋蝽的过程中可考虑定期引入遗传背景较远的野生种群,并按科学的比例与退化种群杂交进行种群复壮或定期更换一次自然种群虫源,但这些措施的复壮效果需要进一步的研究。此外,也有报道通过模拟自然条件[18]、添加营养成分等[19]可以达到种群复壮的效果,但黏虫是否可以通过这些方式达到种群复壮还不得而知,因而也需要进一步的研究。

综上,通过回接自然寄主和室内与室外种群杂交的方式能促进黏虫的种群复壮,这为天敌蠋蝽的规模化繁育提供了理论基础。因此,建议在黏虫饲养过程中定期将黏虫转移至玉米叶上饲养一代或定期将野外种群补充到黏虫室内种群中进行杂交,以保证黏虫种群的活力。

参考文献

[1] CHAMBERS D L. Quality control in mass rearing [J]. Annual Review of Entomology, 1977, 22: 289 - 308.

[2] PRATISSOLI D, OLIVEIRA H, ROBERTO G J, et al. Changes in biological characteristics of *Trichogramma pretiosum* (Hym.: Trichogrammatidae) reared on eggs of *Anagasta kuehniella* (Lep.: Pyralidae) for 23 generations [J]. Biocontrol Science and Technology, 2004, 14(3): 313 - 319.

[3] BELLUTTI N. Effects of mass rearing on life-history traits of an invasive fruit moth species, *Grapholita molesta* (Busck) [D]. Vienna: Institute of Forest Entomology, Forest Pathology and Forest Protection, BOKU, 2011.

[4] SØRENSEN J G, ADDISON M F, TERBLANCHE J S. Mass-rearing of insects for pest management: challenges, synergies and advances from evolutionary physiology [J]. Crop Protection, 2012, 38: 87 - 94.

[5] KHANAMANI M, FATHIPOUR Y, TALEBI, A A, et al. Quantitative analysis of long-term mass rearing of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) on almond pollen [J]. Journal of Economic Entomology, 2017, 110(4): 1442 - 1450.

[6] 陈静, 张建萍, 张建华, 等. 蠋蝽对双斑长跗萤叶甲成虫的捕食功能研究[J]. 昆虫天敌, 2007, 29(4): 149 - 154.

[7] 张晓军, 张健, 孙守慧. 蠋蝽对榆紫叶甲的捕食作用[J]. 中国森林病虫, 2016, 35(1): 13 - 15.

[8] ZOU Deyu, COUDRON T A, LIU Chenxi, et al. Nutrigenomics in *Arma chinensis*: transcriptome analysis of *Arma chinensis* fed on artificial diet and Chinese oak silk moth *Antheraea pernyi* pupae [J/OL]. PLoS ONE, 2013, 8(4): e60881. DOI: 10.1371/journal.pone.0060881.

[9] 高卓. 蠋蝽(*Arma chinensis* Fallou)生物学特性及其控制技术研究[D]. 哈尔滨:黑龙江大学,2010.

[10] 李娇娇, 张长华, 易忠经, 等. 三种猎物对蠋蝽生长发育和繁殖的影响[J]. 中国生物防治学报, 2016, 32(5): 552 - 561.

[11] 高强, 王迪, 张文慧, 等. 蠋蝽对斜纹夜蛾幼虫的捕食作用研究[J]. 中国烟草科学, 2019, 40(6): 55 - 59.

[12] 孙婧婧, 王孟卿, 唐艺婷, 等. 蠋蝽对棉铃虫幼虫的捕食功能反应[J]. 植物保护学报, 2021, 48(5):1081 - 1087.

[13] 唐艺婷, 李玉艳, 刘晨曦, 等. 蠋蝽对草地贪夜蛾的捕食能力评价和捕食行为观察[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 65 - 68.

[14] 王燕, 张红梅, 尹艳琼, 等. 蠋蝽成虫对草地贪夜蛾不同龄期幼虫的捕食能力[J]. 植物保护, 2019, 45(5): 42 - 46.

[15] 王文亮, 刘芹, 闫家河, 等. 美国白蛾新天敌—蠋敌捕食能力的初步观察[J]. 山东林业科技, 2012, 42(1):11 - 14.

[16] GHAEMMAGHAMI E, FATHIPOUR Y, BAGHERI A, et al. Quality control of the parasitoid wasp *Trichogramma brassicae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) over 45 generations of rearing on *Sitotroga cerealella* [J]. Insect Science, 2020, 28(1): 180 - 190.

(下转 149 页)

[43] CAO Yu, LI Shuai, BENELLI G, et al. Olfactory responses of *Stegobium paniceum*, to different Chinese medicinal plant materials and component analysis of volatiles [J]. Journal of Stored Products Research, 2018, 76: 122 - 128.

[44] 李军. 温度与食料对印度谷螟生长、发育和存活的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2006.

[45] 狄贵秋, 李杰, 卢旭弘, 等. 松瘿小卷蛾及其寄生蜂对落叶松挥发物的嗅觉行为反应[J]. 生态学报, 2019, 39(22): 8675 - 8683.

[46] 叶欣, 卢金清, 曹利. 顶空-固相微萃取技术在中药领域的运用[J]. 中国药房, 2017, 28(6): 861 - 864.

[47] 李燕敏, 杨克玉, 孙洁雯, 等. SPME-GC-MS 分析不同产地干黄芪中挥发性风味成分[J]. 中国酿造, 2016, 35(5): 175 - 181.

[48] 蔡玲, 李爱阳. 固相微萃取-GC-MS 联用分析白芷挥发性成分[J]. 中成药, 2010, 32(7): 1179 - 1182.

[49] 黄雪莹, 王圣鑫, 余爱明, 等. HS-SPME-GC-MS 联用分析羌活、防风药对配伍前后挥发性组分变化规律[J]. 中药新药与临床药理, 2019, 30(6): 707 - 714.

[50] 刘源, 周光宏, 徐幸莲. 固相微萃取及其在食品分析中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2003, 29(7): 83 - 87.

[51] 刘鑫宇, 王殿轩, 曾芳芳, 等. 常温下 10 种谷物挥发物气相-质谱测定及对印度谷螟幼虫引诱率比较[J]. 粮油食品科技, 2020, 28(5):79 - 88.

[52] KOHNO M, CHUMAN T, KATO K, et al. The olfactory response of the cigarette beetle, *Lasioderma serricorne* Fabricius, to various host foods and cured tobacco extracts [J]. Applied Entomology and Zoology, 1983, 18(3): 401 - 406.

[53] EDDE P A, PHILLIPS T W. Potential host affinities for the lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica*: Behavioral responses to host odors and pheromones and reproductive ability on non-grain hosts [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2006, 119(3): 255 - 263.

[54] AHMAD F, DAGLISH G J, RIDLEY A W, et al. Responses of *Tribolium castaneum* to olfactory cues from cotton seeds, the fungi associated with cotton seeds, and cereals [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2012, 145(3): 272 - 281.

[55] PHILLIPS T W, STRAND M R. Larval secretions and food odors affect orientation in female *Plodia interpunctella* [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 1994, 71(3): 185 - 192.

[56] CHRISTIAN N, PHILLIPS T W. Ovipositional responses of the Indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) to oils [J]. Annals of the Entomological Society of America, 2003, 96(4): 524 - 531.

[57] OLSSON P O C, ANDERBRANT O, LÖFSTEDT C. Flight and oviposition behavior of *Ephestia cautella* and *Plodia interpunctella* in response to odors of different chocolate products [J]. Journal of Insect Behavior, 2005, 18(3): 363 - 380.

[58] TREMATERRA P, ATHANASSIOU C, STEJSKAl V, et al. Large-scale mating disruption of *Ephestia* spp. and *Plodia interpunctella* in Czech Republic, Greece and Italy [J]. Journal of Applied Entomology, 2011, 135: 749 - 762.

[59] BURKS C S, MCLAUGHLIN J R, MILLER J R, et al. Mating disruption for control of *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) in dried beans [J]. Journal of Stored Products Research, 2011, 47(3): 216 - 221.

[60] LEE H E, HONG S J, HASAN N, et al. Repellent efficacy of essential oils and plant extracts against *Tribolium castaneum* and *Plodia interpunctella* [J]. Entomological Research, 2020, 50(9): 450 - 459.

[61] LI Guoqing, ISHIKAWA Y. Oviposition deterrents in larval frass of four ostrinia species fed on an artificial diet [J]. Journal of Chemical Ecology, 2004, 30(7):1445 - 1456.

（责任编辑：杨明丽）

（上接 131 页）

[17] 代平礼, 徐志强. 人工扩繁管氏肿腿蜂的蜂种复壮研究[J]. 昆虫知识, 2007, 44(3): 402 - 405.

[18] 郭婉琳. 花绒寄甲的退化规律及复壮技术研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2016.

[19] 岳方正. 伞裙追寄蝇的退化及复壮研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2016.

[20] 王秀琴, 屈艾, 高焕. 长期实验室培养条件下果蝇复壮的初步研究[J]. 生物学通报, 2004, 39(7): 54.

[21] 谢应强, 张洪志, 李玉艳, 等. 烟蚜茧蜂的种群退化规律[J]. 中国生物防治学报, 2020, 36(2): 163 - 168.

[22] 李鸿波, 戴长庚, 张昌容, 等. 黏虫过氧化氢酶基因的克隆与表达分析[J]. 昆虫学报, 2018, 68(2): 178 - 187.

[23] TANG Qiyi, ZHANG Chuanxi. Data Processing System (DPS) software with experimental design, statistical analysis and data mining developed for use in entomological research [J]. Insect Science, 2013, 20(2): 254 - 260.

[24] 江幸福, 张蕾, 程云霞, 等. 我国黏虫发生危害新特点及趋势分析[J]. 应用昆虫学报, 2014, 51(6): 1444 - 1449.

[25] JIANG Xingfu, LUO Lizhi, ZHANG Lei, et al. Regulation of migration in *Mythimna separata* (Walker) in China: a review integrating environmental, physiological, hormonal, genetic, and molecular factors [J]. Environmental Entomology, 2011, 40(3): 516 - 533.

[26] LI Hongbo, DAI Changgeng, HE Yongfu, et al. Characterization and expression of genes encoding superoxide dismutase in the oriental armyworm, *Mythimna separata* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. Journal of Economic Entomology, 2019, 112(5): 2381 - 2388.

[27] 谢应强, 张洪志, 向梅, 等. 烟蚜茧蜂的种群复壮技术[J]. 中国生物防治学报, 2020, 37(2): 201 - 208.

（责任编辑：杨明丽）