

鳞翅目昆虫人工饲养技术研究进展

戴长庚¹, 欧阳芳², 陈湘燕¹, 胡 阳^{1*}

(¹贵州省植物保护研究所, 贵阳 550006; ²中国科学院 动物研究所/农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100101)

摘要 鳞翅目昆虫的研究越来越受到人们关注, 而人工饲养是昆虫研究的基础, 尤其是昆虫人工饲料配方的研发。文章以现有相关文献为依据, 从人工饲养技术研究、人工饲料配方的研制方法、饲养环境和饲养操作优化等方面总结鳞翅目昆虫人工饲养技术研究进展, 发现鳞翅目昆虫人工饲养技术及饲料配方已取得较大进展, 但现行研究主要以提高饲养昆虫的存活率为目的, 而忽略昆虫的生理性状。因此, 建议在优化人工饲养技术的同时, 需连续和定期评估人工饲养的种群与野生种群的性能差异, 为科学研究提供大量高质量的实验虫源。

关键词: 鳞翅目; 昆虫; 人工饲养; 饲料配方; 研究进展

中图分类号: S433.4

文献标志码: A

文章编号: 2095-1191(2016)05-0672-05

Development of artificial rearing technology for Lepidoptera insects

DAI Chang-geng¹, OUYANG Fang², CHEN Xiang-yan, HU Yang^{1*}

(¹Guizhou Institute of Plant Protection, Guiyang 550006, China; ²Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences State Key/Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Beijing 100101, China)

Abstract: At present, people pay more and more attentions to researches on Lepidoptera insects, while artificial rearing is a basis of insect research, especially research and development of artificial diet formulation. Based on the available literatures, the present study focused on artificial rearing techniques, preparation of artificial diet formulation, feeding environment and operation, so as to summarize research progress of artificial rearing techniques for Lepidoptera insects. It was found that the artificial rearing techniques and artificial diet formulation had been made great progresses, and the current research was mainly to improve survival rate of insects, but ignored their physiological traits. In future, while optimizing artificial rearing techniques, some differences in performance between wild and mass-reared insects should be assessed continuously and regularly, so as to provide a large number of high-quality experimental insects for further study.

Key words: Lepidoptera; insect; artificial rearing; diet formulation; research progress

0 引言

昆虫人工饲养技术在过去几十年取得了重大突破, 为特定时间和特定龄期下的生物测定、昆虫毒理学、昆虫生物学等科学研究提供了大量高质量的实验虫源(Nava and Parra, 2005)。以往的昆虫饲养是以天然饲料为主, 不但消耗大量的劳动力, 而且天然饲料易腐烂变质, 使昆虫饲养难以持续和规模化生产。人工饲料能克服天然食料的缺陷, 极大地提高饲养效果

(王延年等, 1984; Jha et al., 2012)。此外, 优化饲养环境及饲养技术, 有助于实验室建立长期和大规模昆虫种群。也正是由于昆虫人工饲养的成功, 许多学科如害虫综合治理也得到迅速发展(魏吉利等, 2013)。

据统计, 全世界已知鳞翅目昆虫种类约15万种, 约占昆虫种类的18%, 绝大多数的鳞翅目幼虫可为农作物(雷朝亮和荣秀兰, 2003), 严重威胁农业生产, 如水稻害虫稻螟虫, 2008年在我国的发生面积为2400万

收稿日期: 2016-02-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(31171840); 贵州省农学院人才启动项目(2015002); 贵州省农业攻关计划项目(NY[2015]3026)

作者简介: *为通讯作者, 胡阳(1968-), 博士, 副研究员, 主要从事昆虫生态学及害虫生物防治研究工作, E-mail: huyangzb@foxmail.com。戴长庚(1987-), 主要从事昆虫生态学及害虫生物防治研究工作, E-mail: ggyydai0328@qq.com

ha, 约占全国水稻种植面积的83%(黄世文, 2010)。因此, 鳞翅目昆虫的研究越来越受到人们关注, 而人工饲养是昆虫学研究的基础, 尤其是昆虫人工饲料配方的研发。本文重点阐述目前鳞翅目昆虫人工饲养技术的研究概况、鳞翅目昆虫人工饲料配方的研制方法、饲养环境和饲养操作优化等, 并提出目前鳞翅目昆虫人工饲养存在的问题, 旨在为鳞翅目昆虫及其他昆虫的饲养提供参考及借鉴。

1 鳞翅目昆虫人工饲养技术的研究概况

人工饲养鳞翅目昆虫已有几千年历史, 如利用桑叶饲养家蚕(周匡明和刘挺, 2013)。由于天然食料来源易受气候条件限制, 且寄主植物常伴随有农药残留, 天然食料饲养的昆虫难以满足需求, 因此逐渐被人工饲料取代(Chaudhury and Skoda, 2013), 且使用人工饲料饲养昆虫能更有效地控制其生长发育速率, 同时还能提高其存活率和繁殖力(吕飞等, 2007)。严珍等(2013)用人工饲料饲养斜纹夜蛾的化蛹率和单雌产卵量比用天然寄主饲养分别提高了8.4%和26.2%; Teimouri等(2015)用人工饲料饲养石榴螟的摄食量和蛹的总蛋白量比用天然寄主饲养分别提高了1.7%~2.1%和42.7%~100.0%。目前, 鳞翅目昆虫人工饲料配方已研发出几百种, 但由于不同种类的昆虫对营养需求不一样, 因此配方的成分和比例也不相同(王延年等, 1984; Grenier, 2012)。

近年来, 诸多实验室进行评估、监测或开发新的害虫综合治理技术, 如不育昆虫释放控制虫害等, 对实验昆虫数量要求剧增, 小规模饲养已不能满足试验需求, 大规模饲养技术开始得到发展起来(Masoud et al., 2010; 路子云等, 2014)。鳞翅目昆虫饲养技术不是一成不变, 可通过改良昆虫饲养器具、饲料配方和饲养方法等, 以提高昆虫各虫态或龄期的存活率, 如尽量减少换饲料的次数并适当增加饲养密度, 从而提高试虫存活率和工作效率, 但需注意大规模饲养带来的霉菌污染及幼虫种内竞争等问题(Su et al., 2014; Thiéry et al., 2014)。

2 鳞翅目昆虫人工饲料配方的研制方法

为满足昆虫生长发育的要求, 其人工饲料中一般都需要有蛋白质(构成昆虫虫体及生命活动的物质基础)、糖类(生物体内能量的主要来源)、脂类(组成脂肪及产生能量)、维生素(体内辅酶的组成成分并参与机体代谢过程)和无机盐(昆虫生理活动及组织构成的重要条件)等营养成分(王延年等, 1984; Grenier, 2012)。昆虫人工饲料配方研制开发的主要方法有: 参考借鉴法、正交设计法和均匀设计法。

2.1 参考借鉴法

通过参考其他近似种类昆虫的饲料配方, 略作调整昆虫寄主植物来源及各成分间的比例, 以达到另一种昆虫生长对营养的需求。甘炳春等(2010)利用参考借鉴法改良了陈思亮等(1992)发明的红脉穗螟饲料配方, 通过额外添加麦芽胚、蔗糖和维生素, 使红脉穗螟幼虫存活率提高了19.6%, 达86.9%; 胡阳等(2013)参考欧洲玉米螟饲料配方(Reed et al., 1972), 通过替换寄主材料及蛋白质等, 用调整后的饲料配方连续饲养水稻二化螟3代, 其化蛹率平均达41.7%; Sukirno等(2013)参考大乌桕蚕饲料配方(Situmorang, 1977), 通过替换寄主材料, 新配方的大乌桕蚕平均化蛹率达74.5%。

2.2 正交设计法

采用正交表设计并筛选饲料中的关键成分及用量水平, 然后通过方差分析得出关键因子和水平, 从而得出理想的饲料配方, 最后验证配方的效果(唐启义, 2010)。刘慧敏等(2008)选取5个因子(饲料成分)及4个水平, 设计共20个处理对二化螟人工饲料配方进行优化, 采用优选配方连续饲养二化螟3代, 其化蛹率达93.4%~99.0%, 单雌产卵量为61.9~63.8粒; Assemi等(2012)选取16个因子(饲料成分)及2个水平, 设计共32个处理对棉铃虫饲料配方进行优化, 利用优选配方饲养的棉铃虫成虫寿命和单雌产卵量比初始配方分别增加了44.7%和23.2%。

2.3 均匀设计法

采用均匀设计表生成饲料中的关键成分及其用量水平的试验方案, 通过试验及回归分析, 从而得出理想的饲料配方, 最后验证配方的效果(唐启义, 2010)。李俊等(2010)选取6个因子(饲料成分)及12个水平, 通过2轮共22个处理对棉铃虫人工饲料配方进行优化, 其蛹重提高了25.0%; 戴长庚等(2013)选取9个因子(饲料成分)及4个水平, 设计共20个处理对大螟人工饲料配方进行优化, 并连续饲养10代, 其化蛹率达42.5%~87.5%。

3 饲养环境和饲养操作优化

3.1 饲养环境优化

鳞翅目昆虫属完全变态发育, 需经历卵期、幼虫期、蛹期和成虫期, 且每个阶段发育所需的环境条件不同, 因此, 在不同时期辅以最佳温湿度等条件, 使其各阶段的发育或繁殖最优化, 也是饲养技术的重点(Kleynhansa et al., 2014; 樊江斌等, 2015)。以二化螟为例, 二化螟卵粒对湿度要求较严格, 一般要保持80%~90%, 若太干燥, 则易失水影响其孵化; 温度不宜过低或过高, 一般在20~25℃(李波等, 2015)。幼虫一

般保持在25~28℃下饲养,湿度不宜过高,防止饲料发霉,也不宜过低,防止饲料失水变干硬,一般在40%~60%。蛹饲养于20~28℃均可,湿度60%~90%,需保持蛹内有足够的水分,利于羽化(胡阳等,2013)。成虫一般白天置于25~27℃,湿度60%~70%,晚上温度应低于白天,一般为20~22℃,湿度80%~90%,有昼夜温度差和湿度差,利于成虫交配及产卵(Kanno and Sato, 1979),通常设定光周期为16 L/8 D或14 L/10 D。

3.2 饲养操作优化

3.2.1 控制密度 许多鳞翅目幼虫具有聚集性,如二化螟、大螟等,有些幼虫具有自相残杀的习性,如棉铃虫等,有些幼虫在低密度下可以聚集,但超过一定密度会自相残杀,如粘虫等。此外,聚集性幼虫在一定密度下发育较好,但超过一定密度会导致发育不良,甚至影响成虫繁殖(孔海龙等,2013;Yang et al., 2015)。因此,有必要根据昆虫的习性设计饲养密度,以达到最佳存活率及发育。

3.2.2 调控发育进度 幼虫发育不整齐是鳞翅目昆虫中普遍存在的现象(雷朝亮和荣秀兰,2003),从而导致其虫态重叠且成虫交配期延长。此外,一般雄性比雌性的发育历期更短,即雄性先熟现象,甚至导致成功交配高峰期错开(Thorhill and Alcock, 1983)。因此,可适当通过温差来调整昆虫的发育进度,保持昆虫较高的繁殖效率。如早期产下的卵可置于低温下,待后期产下的卵一起接入到人工饲料中;早期化的蛹先置于低温下一段时间,待后期产下的蛹一起羽化并交配产卵;或将雄蛹置于低温几天,与雌蛹一起羽化并交配产卵;亦可根据蛹色来区分,将羽化的蛹颜色为深褐色,先将其冷藏,待刚羽化的蛹(淡黄色)也转化为深褐色时(舒畅和汪笃栋,2009)一起羽化交配。

4 展望

虽然目前已对人工饲料配方进行大量的研究,但某些配方仍不完善,需要进一步优化提高昆虫存活率和繁殖力。李传明等(2011)以人工饲料饲养的稻纵卷叶螟化蛹率仅20.9%,未达到生物测定等试验的要求。此外,长期以人工饲料饲养的昆虫可能导致种群衰退现象。蒋金炜等(2010)以人工饲料饲养棉铃虫10代后,其化蛹率从66.0%降至49.5%,蛹重从307.3 mg降至205.4 mg,产卵量由1174.4粒降至122.8粒,但也有报道棉铃虫经饲养90代后,其蛹重和单雌产卵量仍保持高水平,分别为301 mg和423粒(王晓容等,1998)。这可能是不同营养的饲料对鳞翅目昆虫存活和繁殖的影响不一致,具体原因有待进一步研究。

目前,昆虫饲养主要以实验室小规模饲养为主,真正应用工业化或规模化饲养的并不多,究其原因,

可能是饲料原料价格和人工费用相对昂贵,且市场需求量不大。因此,降低饲养成本是关键(Elvira et al., 2010),如选择价格便宜的原料及优化饲养技术以减少饲养操作等,或适当添加防腐剂提高饲料持续不变质的时间,以减少更换饲料的次数(张树坤等,2014)。此外,开发一种能饲养多种昆虫的人工饲料,尤其是有共同寄主的昆虫,能简化实验室饲养工作,并节省人力和物力(Pritam, 1983;曹利军等,2014),而选择合适的饲料组分及配比是其中的关键。

大规模饲养的昆虫可能会影响其生活史等性状,因人工饲养倾向于控制或选择有利于其发育的性状,如加快发育速度、更大的繁殖力、减少滞育率、减少遗传变异等性状。在人为的选择下,可能导致室内种群的一些性状发生改变,如将室内饲养3代的舞毒蛾幼虫放到室外,其与野生种群的发育速率和蛹重没有显著差异,但是将野生种群转入到室内饲养,结果发现比室内种群发育更快、蛹重更重(Grayson et al., 2015)。因此,在昆虫学研究时,需考虑野生种群与实验室饲养种群的差异,在科学研究前可适当的对昆虫性能参数进行检测并量化,以减少研究误差。

参考文献:

- 曹利军,杨帆,唐思莹,陈敏. 2014. 适合三种鳞翅目昆虫的一种人工饲料配方[J]. 应用昆虫学报, 51(5): 1376-1386.
- Cao L J, Yang F, Tang S Y, Chen M. 2014. Development of an artificial diet for three lepidopteran insects[J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 51(5): 1376-1386.
- 陈思亮,樊瑛,甘炳春. 1992. 应用人工饲料饲养红脉穗螟的研究[J]. 昆虫知识, 29(2): 118-119.
- Chen S L, Fan Y, Gan B C. 1992. Application of artificial diet in aquaculture of *Tirathaba rufivena*[J]. Chinese Bulletin of Entomology, 29(2): 118-119.
- 戴长庚,李凯龙,王立峰,谭显胜,胡阳,袁哲明,傅强. 2013. 基于均匀设计优化的大螟实用饲料配方及继代饲养[J]. 中国水稻科学, 27(4): 434-439.
- Dai C G, Li K L, Wang L F, Tan X S, Hu Y, Yuan Z M, Fu Q. 2013. An oligidic diet for *Sesamia inferens* optimized by uniform design and successive rearing[J]. Chinese of Journal of Rice Science, 27(4): 434-439.
- 樊江斌,吴正伟,尚素琴,艾克然木·米吉提,张雅林,王敦. 2015. 苹果蠹蛾半人工饲料与饲养温度的优化[J]. 植物保护学报, 42(1): 45-50.
- Fan J B, Wu Z W, Shang S Q, Mijiti A, Zhang Y L, Wang D. 2015. Optimization of semi-artificial diet and temperature for rearing the codling moth *Cydia pomonella*(L.)[J]. Journal of Plant Protection, 42(1): 45-50.
- 甘炳春,黄良明,刘丽风,杨新全,林一鸣. 2010. 二种改进人工饲料对红脉穗螟生长发育和繁殖的影响[J]. 昆虫知识, 47(3): 503-506.
- Gan B C, Huang L M, Liu L F, Yang X Q, Lin Y M. 2010.

- Effects of two improved artificial diets on the development and reproduction of *Tirathaba rufivena*[J]. Chinese Bulletin of Entomology, 47(3) : 503–506.
- 胡阳, 郑永利, 曹国连, 傅强. 2013. 利用半人工饲料大规模简化饲养二化螟[J]. 中国水稻科学, 27(5) : 535–538.
- Hu Y, Zheng Y L, Cao G L, Fu Q. 2013. A technique for rearing *Chilo suppressalis* in the large scale with an oligidic diet in laboratory[J]. Chinese of Journal of Rice Science, 27(5) : 535–538.
- 黄世文. 2010. 水稻主要病虫害防控关键技术解析[M]. 北京：金盾出版社.
- Huang S W. 2010. Key Control Technologies of Diseases and Insect Pests of Rice[M]. Beijing : Jindun Publishing House.
- 蒋金炜, 丁识伯, 张艳民, 王永. 2010. 人工饲料对棉铃虫生长发育和繁殖力的影响[J]. 河南农业大学学报, 44(1) : 78–82.
- Jiang J W, Ding S B, Zhang Y M, Wang Y. 2010. Effects of artificial diet on the growth & development and fecundity in *H. armigera*[J]. Journal of Henan Agricultural University, 44(1) : 78–82.
- 孔海龙, 张云霞, 祝树德, 孔勇, 吴琳, 胡荣利. 2013. 幼虫密度对小菜蛾生长发育和繁殖的影响[J]. 中国生态农业学报, 21(4) : 474–479.
- Kong H L, Zhang Y X, Zhu S D, Kong Y, Wu L, Hu R L. 2013. Effects of larval density on growth, development and reproduction of diamondback moth (DBM), *Plutella xylostella* (L.)[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 21(4) : 474–479.
- 雷朝亮, 荣秀兰. 2003. 普通昆虫学[M]. 北京：中国农业出版社：6–7.
- Lei C L, Rong X L. 2003. General Entomology[M]. Beijing : China Agriculture Press 6–7.
- 李波, 韩兰芝, 彭于发. 2015. 二化螟人工饲养技术[J]. 应用昆虫学报, 52(2) : 498–503.
- Li B, Han L Z, Peng Y F. 2015. Development of a standardized artificial diet and rearing technique for the striped stem borer, *Chilo suppressalis* Walker (Lepidoptera : Crambidae) [J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 52(2) : 498–503.
- 李传明, 徐健, 杨亚军, 祁建杭, 郑许松, 王艳, 刘琴, 吕仲贤. 2011. 人工饲料饲养纵卷叶螟的生长发育与繁殖[J]. 中国水稻科学, 25(3) : 321–325.
- Li C M, Xu J, Yang Y J, Qi J H, Zheng X S, Wang Y, Liu Q, Lü Z S. 2011. Growth and reproduction of *Cnaphalocrocis medialis* fed on improved artificial diet[J]. Chinese of Journal of Rice Science, 25(3) : 321–325.
- 李俊, 谭显胜, 谭泗桥, 袁哲明, 熊兴耀. 2010. 改进支持向量机在棉铃虫人工饲料配方优化中的应用[J]. 昆虫学报, 53(4) : 420–426.
- Li J, Tan X S, Tan S Q, Yuan Z M, Xiong X Y. 2010. Application of improved support vector machine in the optimization of artificial diet for the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera : Noctuidae)[J]. Acta Entomologica Sinica, 53(4) : 420–426.
- 刘慧敏, 李闪红, 王满囤, 张国安. 2008. 二化螟人工饲料关键因子的优化及其优化配方的饲养效果[J]. 昆虫知识, 45(2) : 310–314.
- Liu H M, Li S H, Wang M Q, Zhang G A. 2008. The optimized artificial diet of the rice stem borer, *Chilo suppressalis*[J]. Chinese Bulletin of Entomology, 45(2) : 310–314.
- 吕飞, 刘玉升, 张秀波, 朱永红. 2007. 鳞翅目昆虫人工饲料的研究现状[J]. 华东昆虫学报, 16(2) : 149–155.
- Lü F, Liu Y S, Zhang X B, Zhu Y H. 2007. Present research condition of artificial feed to Lepidoptera[J]. Entomological Journal of East China, 16(2) : 149–155.
- 路子云, 冉红凡, 刘文旭, 屈振刚, 李建成. 2014. 粘虫室内饲养方法的改进[J]. 河北农业科学, 18(6) : 57–61.
- Lu Z Y, Ran H F, Liu W X, Qu Z G, Li J C. 2014. Improvement of rearing technique of *Mythimna separata* in laboratory[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 18(6) : 57–61.
- 舒畅, 汪笃栋. 2009. 二化螟成灾规律与控制[M]. 北京：中国农业科学技术出版社 26–28.
- Shu C, Wang D D. 2009. Infestation Regularity and Control of *Chilo suppressalis* (Walker)[M]. Beijing : China Agricultural Science and Technology Press 26–28.
- 唐启义. 2010. DPS 数据处理系统实验设计、统计分析及数据挖掘[M]. 北京：科学出版社 238–257.
- Tang Q Y. 2010. DPS Experimental Design, Statistical Analysis and Data Mining of Data Processing System[M]. Beijing : The Science Publishing Company 238–257.
- 王晓容, 刘润忠, 黄素青, 林美, 赖仕霞, 江国涛. 1998. 棉铃虫经 90 代饲养的蛹重与生殖能力[J]. 仲恺农业技术学院学报, 11(1) : 15–18.
- Wang X R, Liu R Z, Huang S Q, Lin M, Lai S X, Jiang G T. 1998. The weight and reproductive capacity of the 90 generations of *Helicoverpa armigera*[J]. Journal of Zhongkai Agrotechnical College, 11(1) : 15–18.
- 王延年, 郑忠庆, 周永生. 1984. 昆虫人工饲料手册[K]. 上海：上海科学技术出版社 3–9.
- Wang Y N, Zheng Z Q, Zhou Y S. 1984. Manual of Insect Artificial Diets[K]. Shanghai : Shanghai Scientific & Technical Publishers : 3–9.
- 魏吉利, 黄诚华, 王伯辉. 2013. 鳞翅目昆虫人工饲养技术研究进展[J]. 甘蔗糖业 (5) : 44–47.
- Wei J L, Huang C H, Wang B H. 2013. Research progress of artificial rearing technology for Lepidoptera insects[J]. Sugarcane and Canesugar (5) : 44–47.
- 严珍, 吕宝乾, 彭正强, 章程辉, 金启安, 温海波. 2013. 取食番茄、辣椒和人工饲料对斜纹夜蛾生长发育和繁殖力的影响[J]. 热带作物学报, 34(7) : 1335–1339.
- Yan Z, Lü B Q, Peng Z Q, Zhang C H, Jin Q A, Wen H B. 2013. Effect of tomato, pepper and artificial diet on the growth, development and fecundity of *Spodoptera litura* Fabricius [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 34(7) : 1335–1339.

- 张树坤, 王业成, 苏建亚, 任秀贝. 2014. 稻纵卷叶螟人工饲料中防霉剂对曲霉的抑制效果[J]. 南京农业大学学报, 37(2): 59-66.
- Zhang S K, Wang Y C, Su J Y, Ren X B. 2014. Inhibitory effects of antifungal agents against *Aspergillus* on the artificial diets of rice leaffolder *Cnaphalocrocis medinalis*[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 37(2): 59-66.
- 周匡明, 刘挺. 2013. 我国古代家蚕选种、留种的历史演变[J]. 中国蚕业, 34(2): 71-76.
- Zhou K M, Liu T. 2013. Historical evolution of seed selection and breeding of silkworm in ancient China[J]. China Sericulture, 34(2): 71-76.
- Assemi H, Rezapannah M, Shoushtari R V, Mehrvar A. 2012. Modified artificial diet for rearing of tobacco budworm, *Helicoverpa armigera*, using the Taguchi method and Der-ringer's desirability function[J]. Journal of Insect Science, 12: 100.
- Chaudhury M F, Skoda S R. 2013. An artificial diet for rearing *Cochliomyia macellaria* (Diptera: Calliphoridae)[J]. Journal of Economic Entomology, 106(4): 1927-1931.
- Elvira S, Gorría N, Muñoz D, Williams T, Caballero P. 2010. A simplified low-cost diet for rearing *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) and its effect on *S. exigua* nucleopolyhedrovirus production [J]. Journal of Economic Entomology, 103(1): 17-24.
- Grayson K L, Parry D, Faske T M, Hamilton A. 2015. Performance of wild and laboratory-reared gypsy moth (Lepidoptera: Erebidae): A comparison between foliage and artificial diet[J]. Environmental Entomology, 44(3): 864-873.
- Grenier S. 2012. Artificial rearing of entomophagous insects, with emphasis on nutrition and parasitoids-general outlines from personal experience[J]. Karaemas Science and Engineering Journal, 2(2): 1-12.
- Jha R K, Chi H, Tang L C. 2012. A comparison of artificial diet and hybrid sweet corn for the rearing of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) based on life table characteristics[J]. Environmental Entomology, 41(1): 30-39.
- Kanno H, Sato A. 1979. Mating behaviour of the rice stem borer moth, *Chilo suppressalis* Walker (Lepidoptera: Pyralidae) II. effects of temperature and relative humidity on mating activity[J]. Applied Entomology and Zoology, 14(4): 419-427.
- Kleynhansa E, Conlong D E, Terblanche J S. 2014. Direct and indirect effects of development temperature on adult water balance traits of *Eldana saccharina* (Lepidoptera: Pyralidae) [J]. Journal of Insect Physiology, 68: 69-75.
- Masoud M A, Saad A S A, Mourad A K K, Ghorab M A S. 2010. Mass rearing of the pink corn borer, *Sesamia cretica* Led larvae, on semi-artificial diets[J]. Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences, 75(3): 295-304.
- Nava D E, Parra J R P. 2005. Biología de *Stenoma catenifer* Walsingham (Lepidoptera: Elachistidae) em dieta natural e artificial e Estabelecimento de um sistema de Criação[J]. Neotropical Entomology, 34(5): 751-759.
- Pritam S. 1983. A general purpose laboratory diet mixture for rearing insects[J]. International Journal of Tropical Insect Science, 4(4): 357-362.
- Reed G L, Showers W B, Huggans J L, Carter S W. 1972. Improved procedure for mass rearing the European corn borer [J]. Journal of Economic Entomology, 65(5): 1472-1476.
- Situmorang J. 1997. Optimasi susunan pakan buatan untuk pertumbuhan dan kualitas kokon ulat sutera atakas, *Attacus atlas* (Linn.) (Lepidoptera: Saturniidae) [M]. Indonesia: Research Report Faculty of Biology, Gadjah Mada University.
- Su J Y, Wang Y C, Zhang S K, Ren X B. 2014. Antifungal agents against *Aspergillus niger* for rearing rice leaffolder larvae (Lepidoptera: Pyralidae) on artificial diet[J]. Journal of Economic Entomology, 107(3): 1092-1100.
- Sukirno S, Situmorang J, Sumarmi S, Soesilohadi R C H, Pratiwi R. 2013. Evaluation of artificial diets for *Attacus atlas* (Lepidoptera: Saturniidae) in Yogyakarta special region, Indonesia[J]. Journal of Economic Entomology, 106(6): 2364-2370.
- Teimouri N, Sendi J J, Zibae A, Khosravi R. 2015. Feeding indices and enzymatic activities of carob moth *Ectomyelois ceratoniae* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) on two commercial pistachio cultivars and an artificial diet[J]. Journal of Saudi Society of Agricultural Sciences, 14(1): 76-82.
- Thiéry D, Monceau K, Moreau J. 2014. Larval intraspecific competition for food in the European grapevine moth *Lobesia botrana* [J]. Bulletin of Entomological Research, 104(4): 1-8.
- Thorhill R, Alcock J. 1983. The evolution of insect mating systems[M]. Cambridge: Harvard University Press: 97.
- Yang F, Hu G, Shi J J, Zhai B P. 2015. Effects of larval density and food stress on life-history traits of *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae)[J]. Journal of Applied Entomology, 139(5): 370-380.

(责任编辑 麻小燕)