

黄粉虫取食塑料的研究进展*

王 哲 信 昕 刘吉元 张雅林^{1**}

(植保资源与病虫害治理教育部重点实验室, 西北农林科技大学昆虫博物馆, 杨凌 712100)

摘 要 随着人类日常生活水平的提高, 塑料产量的增加, 废弃塑料逐渐增多难以降解, 对生态系统的稳定性产生了一定的影响。近年来有研究表明, 黄粉虫可以取食并降解塑料。本文从黄粉虫肠道内可降解塑料的微生物的筛选, 取食塑料后的黄粉虫肠道微生物多样性研究, 黄粉虫取食塑料能力及取食塑料后自身生长情况三个方面对黄粉虫取食塑料的相关研究进行了综述, 以供科学治理塑料污染问题提供参考。

关键词 黄粉虫; 塑料; 生物降解

Research progress on plastic-feeding yellow mealworms

WANG Zhe XIN Xin LIU Ji-Yuan ZHANG Ya-Lin^{**}

(Key Laboratory of Plant Protection of Resources and Pest Management, Ministry of Education, Entomological Museum of Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract With developments in humans' daily lives, and the increase in the plastic production, the waste plastic which is difficult to be degraded is ever increasing and has an influence on the stability of ecosystem. Recent studies have shown that yellow mealworms (the larvae of *Tenebrio molitor*) can feed on and degrade plastic. In this paper, the related researches on plastic-feeding mealworms were reviewed from the following three aspects: (1) screening of plastic-degrading microorganisms in the gut of yellow mealworms; (2) the gut microbial diversity of plastic-feeding yellow mealworms; (3) digestive capacity and growth performance of yellow mealworms, which might provide some references for reasonable and economical management of plastic pollution.

Key words yellow mealworm; plastic; biodegradation

塑料(合成树脂), 是指人工合成的长链高分子聚合物(Scott, 1999)。一个多世纪前就合成了人工树脂, 在过去的150年中, 塑料极大地促进了科技进步, 方便了人类的日常生活, 为社会发展做出了不可估量的巨大贡献(PlasticEurop, 2018)。由于塑料成本低、易加工, 使得塑料被广泛使用。塑料的稳定性也不断提高, 使用寿命逐渐增加。由于传统塑料的稳定性较好, 导致其在环境中不断积累, 造成了环境污染并对生态系统有潜在威胁(Kara *et al.*, 2010; Andrés *et al.*, 2014; Sul and Costa, 2014;

Jenna *et al.*, 2015)。

与其它塑料一样, 聚苯乙烯和聚乙烯因具有良好的机械性能和较低的成本而得到广泛的应用。聚苯乙烯广泛应用于建筑材料(保温)、包装泡沫、食品容器、一次性杯子、盘子、餐具等; 聚乙烯则应用于塑料薄膜、塑料袋、容器盖子等(Shah *et al.*, 2008)。近年来, 有研究表明, 一些昆虫可以取食并消化聚乙烯或聚苯乙烯, 并将其同化为自身的生物量(苗少娟, 2010; 苗少娟和张雅林, 2010; Yang *et al.*, 2014; Bombelli *et al.*, 2017)。相对于其他昆虫, 有关黄粉虫及

*资助项目 Supported projects: 科技部国家科技基础条件平台建设专项“经济昆虫种质资源标准化整理、整合及共享试点”(2005DKA21105)

**通讯作者 Corresponding author, E-mail: yalinzh@nwsuaf.edu.cn

收稿日期 Received: 2019-01-08; 接受日期 Accepted: 2019-01-20

其肠道微生物对聚苯乙烯和聚乙烯的研究较多。

黄粉虫 *Tenebrio molitor* 属于鞘翅目, 拟步甲科。俗名黄粉甲, 面包虫, 是一种仓储害虫 (Roberson, 2005)。随着我国仓储条件不断改进, 自然发生的黄粉虫为害现象已十分少见。黄粉虫幼虫富含脂类和蛋白质等营养成分且容易饲养, 因此常被用来饲喂鱼类, 鸟类和爬行动物类宠物。与牛奶、猪肉或牛肉相比, 黄粉虫是一种成本较低的可食用蛋白质来源 (Oonincx and de Boer, 2012)。最近的试验表明, 黄粉虫是肉鸡蛋白的一个合适的替代来源 (Bovera *et al.*, 2015)。

1 国内外研究进展

高中生陈重光首次观察到黄粉虫幼虫可以取食泡沫塑料, 为塑料的生物降解开拓了新思路 (Sina, 2003)。近年来黄粉虫取食塑料的研究主要集中于以下三个方面。

1.1 黄粉虫肠道内可降解塑料的微生物的筛选

研究人员通过以聚苯乙烯为唯一碳源, 采用不用培养条件, 从黄粉虫肠道内筛选并分离微生物, 但只有部分研究对所筛选微生物的塑料降解能量进行了验证。沈叶红 (2011) 对取食聚乙烯和聚苯乙烯的黄粉虫肠道菌进行分离培养, 且检测了取食塑料的黄粉虫对小鼠的生理毒性, 形态学观察的结果表明小鼠的生长状态良好; 200 倍下的组织学切片结果显示, 取食塑料的黄粉虫对小鼠的心、肝、脾、肺和肾无影响。Yang 等 (2015) 从取食聚苯乙烯的黄粉虫肠道分离出菌株 YT2 (*Exiguonacterium* sp.), YT2 在 60 d 内对聚苯乙烯薄膜矿化并降解, 重量损失约为 7.4%, 并使用同位素标记的聚苯乙烯饲喂黄粉虫, 发现在虫体脂肪酸中含有被同位素标记的碳原子, 这说明被细菌降解的聚苯乙烯可被黄粉虫同化成为自身的生物量。孔芳等 (2018) 从取食聚苯乙烯的黄粉虫的肠道和粪便中分离出 2 株细菌 PSI-1 (*Bacillus anthracis* Ames) 和 PSI-2 (*Enterobacter cloacae*) 及 1 株真菌 KHJ-1 (*Aspergillus niger*),

发现真菌 KHJ-1, 60 d 内对 5 g 聚苯乙烯颗粒的降解量为 214.8 mg。

1.2 取食塑料的黄粉虫肠道微生物多样性研究

陈冠舟等 (2017) 使用高通量测序的方法探究了啮食泡沫聚苯乙烯塑料的黄粉虫虫粪中的菌群结构及多样性, 比较了取食聚苯乙烯的黄粉虫虫粪微生物群落与取食纸片的黄粉虫虫粪微生物群落组成, 在基于 16S rDNA 基因序列测序的功能预测中, 发现试验组具有烷烃和芳香类化合物降解基因的菌被大量富集。Brandon 等 (2018) 对取食聚苯乙烯和聚乙烯的黄粉虫肠道微生物进行了高通量测序分析, 发现黄粉虫肠道中 *Citrobacter* sp. 和 *Kosakonia* sp. 与聚苯乙烯和聚乙烯的降解密切相关。以上研究表明, 取食塑料的昆虫幼虫肠道菌群组成与正常饮食状态下的黄粉虫菌群组成有较大差别, 具有降解塑料的能力, 是由于昆虫肠道内的微生物可以降解塑料。

1.3 黄粉虫取食塑料能力及取食塑料后自身生长情况

沈叶红 (2010) 发现, 随着取食聚苯乙烯泡沫塑料质量的增加, 黄粉虫的死亡率也随之增加, 并且会出现自相残杀的现象。Yang 等 (2015) 发现当使用高浓度抗生素去除黄粉虫肠道微生物后, 黄粉虫丧失聚苯乙烯降解能力。张可等 (2017) 分别使用纯度为 70% 和 95% 的聚乙烯塑料薄膜喂食黄粉虫, 结果表明黄粉虫可取食这 2 种塑料薄膜, 25 d 可将 30.25 cm² 淀粉含量较高 (聚乙烯含量为 70%) 的塑料薄膜完全啃食, 对聚乙烯含量为 90% 的薄膜被啃食的速度较慢, 需要 60 d, 收集虫粪燃烧后无刺激性气味。Yang 等 (2018a) 发现在 30 d 之内完全饥饿的黄粉虫存活率 (54%) 低于只取食聚苯乙烯的黄粉虫的存活率 (85%), 以聚苯乙烯: 麦麸为 1: 9 的比例饲喂黄粉虫时被消耗的聚苯乙烯的量约是只取食聚苯乙烯黄粉虫所消耗的聚苯乙烯量的 2 倍, 并且取食聚苯乙烯黄粉虫的子一代对聚苯乙烯的降解效率高于其亲本。Yang 等 (2018b) 从中国、美国及北爱尔兰 3 个国家, 共选取了 12

个地区的黄粉虫,并对其聚苯乙烯降解能力进行了测定,发现 12 个地区的黄粉虫均可以使聚苯乙烯降解。由于黄粉虫的进食和咀嚼行为以及肠道微生物对聚苯乙烯的氧化机制,使得黄粉虫具有降解聚苯乙烯的能力,且黄粉虫可以利用聚苯乙烯,将其作为能量来源,不同地区的黄粉虫均具有这些特征。可以通过同时喂养麦麸等营养来增强其降解塑料的能力。降解塑料的黄粉虫肠道微生物群落是多样的,并与饲喂条件有关。殷涛等(2018)发现相对于发泡聚丙烯和发泡聚乙烯,黄粉虫更趋向于取食发泡聚苯乙烯,如果黄粉虫只取食泡沫塑料将无法生长,还会自相蚕食。许诗杰和张雅林(2018)发现如果只取食低密度线性聚乙烯或者聚苯乙烯,只有龄期为 14 龄及以上的黄粉虫幼虫才可以化蛹,然而化蛹率仍然较低;将麦麸与塑料混合后饲喂黄粉虫幼虫可使黄粉虫种群保持较高存活率。

2 展望

塑料的需求仍在增长,塑料的产量逐年增加,导致废弃塑料的数量不断增加。废弃塑料主要的处理方式有三种:回收利用,焚烧和填埋。其中回收利用为废弃塑料的首选处理方式。当废弃塑料不可回收利用时则选择焚烧或填埋的方法进行处理。由于垃圾填埋场空间有限、部分垃圾焚化后产生的气体以及固体废物处理成本高,研究人员寻求传统塑料替代品的同时也要探索环境友好型的不可回收废弃塑料的处理方法。使用生物代谢的方式使废弃塑料以二氧化碳、水和生物质等形式进入到地球化学物质循环中,相比于焚烧和掩埋处理方式,更符合可持续发展理念,且对环境友好。黄粉虫对泡沫聚苯乙烯和聚乙烯有较强的取食能力,但目前相关研究刚刚起步,多数研究集中在描述性的现象观察试验,且规模较小。今后的研究应适当扩大试验规模并尝试饲喂各种塑料,探究黄粉虫对塑料的降解能力及降解机制;用取食塑料的黄粉虫饲喂其他动物后,这些动物的生理、代谢等相关指标是否受到影响;取食塑料的黄粉虫的粪便是否仍有未降解

的微塑料、对环境是否有危害等问题。以期合理利用并提高黄粉虫对塑料的降解能力,将其实际应用于解决白色污染问题。

参考文献 (References)

- Andrés C, Fidel EJ, Ignacio GG, Xabier I, Bárbara U, Santiago HL, Alvaro TP, Sandra N, Juan GDL, Andrea R, 2014. Plastic debris in the open ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(28): 10239–10244.
- Bombelli P, Howe CJ, Bertocchini F, 2017. Polyethylene bio-degradation by caterpillars of the wax moth *Galleria mellonella*. *Current Biology*, 27(8): R292–R293.
- Bovera F, Piccolo G, Gasco L, Marono S, Loponte R, Vassalotti G, Mastellone V, Lombardi P, Attia YA, Nizza A, 2015. Yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*, L.) as a possible alternative to soybean meal in broiler diets. *British Poultry Science*, 56(4): 569–575.
- Brandon AM, Gao SH, Tian R, Ning D, Yang S, Zhou J, Wu WM, Criddle CS, 2018. Biodegradation of polyethylene and plastic mixtures in mealworms (larvae of *Tenebrio molitor*) and effects on the gut microbiome. *Environmental Science & Technology*, 52(11): 6526–6533.
- Chen GZ, Zhang BL, Ji MM, Wu XG, Zhou JY, Chen JN, Wang Y, Tian H, Zhang XJ, 2017. Gut microbiota of polystyrene-eating mealworms analyzed by high-throughput sequencing. *Microbiology China*, 44(9): 2011–2018. [陈冠舟, 张白鹭, 纪梦梦, 吴晓刚, 周君仪, 陈家楠, 王芸, 田浩, 张晓君, 2017. 高通量测序探究啮食聚苯乙烯泡沫塑料黄粉虫的肠道菌群结构. 微生物学通报, 44(9): 2011–2018.]
- Jenna RJ, Roland G, Chris W, Theodore RS, Miriam P, Anthony A, Ramani N, Kara L, 2015. Marine pollution. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223): 768–771.
- Kara LL, Skye MF, Nikolai AM, Giora P, Emily EP, Jan H, Christopher MR, 2010. Plastic accumulation in the North Atlantic subtropical gyre. *Science*, 329(5996): 1185–1188.
- Kong F, Hong KJ, Xu H, Zhao SG, Wang Y, 2018. Evidence of polystyrene biodegradation by gut microbiota of Styrofoam-feeding yellow mealworms (larvae of *Tenebrio molitor* Linnaeus). *Microbiology China*, 45(7): 1438–1449. [孔芳, 洪康进, 徐航, 赵世光, 王幼, 2018. 基于啮食泡沫塑料黄粉虫肠道菌群中聚苯乙烯生物降解的探究. 微生物学通报, 45(7): 1438–1449.]
- Miao SJ, 2010. Study on biological characteristics of *Zophobas morio* and its function on plastic degradation, Master dissertation. Shaanxi: Northwest A&F University. [苗少娟, 2010. 大麦虫 *Zophobas morio* 的生物学特性及其对塑料降解作用的研究.

- 硕士学位论文. 陕西: 西北农林科技大学.]
- Miao SJ, Zhang YL, 2010. Feeding and degradation effect on plastic of *Zophobas morio*. *Journal of Environmental Entomology*, 32(4): 435–444. [苗少娟, 张雅林, 2010. 大麦虫 *Zophobas morio* 对塑料的取食和降解作用研究. *环境昆虫学报*, 32(4): 435–444.]
- Oonincx DG, de Boer IJ, 2012. Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans - a life cycle assessment. *PLoS ONE*, 7(12): e51145.
- PlasticEurop, 2018. Plastics-the facts 2018 an analysis of European plasticsproduction, demand and waste data. Brussels: PlasticsEurope. https://www.plasticseurope.org/download_file/force/2367/181.
- Roberson WH, 2005. Urban Insects and Arachnids, a Handbook of Urban Entomology. Cambridge: Cambridge University Press. 126–127.
- Scott G, 1999. Polymers in modern life//Polymers and the Environment. Cambridge: The Royal Society of Chemistry.
- Shah AA, Hasan F, Hameed A, Ahmed S, 2008. Biological degradation of plastics: A comprehensive review. *Biotechnology Advances*, 26(3): 246–265.
- Shen HY, 2011. Isolation of intestinal bacteria from *Tenebrio molitor* and study on the phenomenon of plastic degradation. Master dissertation. Shanghai: East China Normal University. [沈叶红, 2011. 黄粉虫肠道菌的分离和取食塑料现象的研究. 硕士学位论文. 上海: 华东师范大学.]
- Sina, 2003. Mealworms can digest plastics (in Chinese). Shantou: Sina, 2003-12-30, <http://news.sina.com.cn/c/2003-12-30/16251466914s.shtml>.
- Sul J, Costa MF, 2014. The present and future of microplastic pollution in the marine environment. *Environmental Pollution*, 185: 352–364.
- Xu SJ, Zhang YL, 2018. Life Characteristics of plastic eating *Tenebrio molitor* (coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Northwest A&F University (Nat. Sci. Ed.)*, 46(7): 102–108. [许诗杰, 张雅林, 2018. 取食塑料的黄粉虫生命特征研究. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 46(7): 102–108.]
- Yang J, Yang Y, Wu WM, Zhao J, Jiang L, 2014. Evidence of polyethylene biodegradation by bacterial strains from the guts of plastic-eating waxworms. *Environmental Science & Technology*, 48(23): 13776–13784.
- Yang SS, Brandon AM, Andrew Flanagan JC, Yang J, Ning D, Cai SY, Fan HQ, Wang ZY, Ren J, Benbow E, 2018a. Biodegradation of polystyrene wastes in yellow mealworms (larvae of *Tenebrio molitor* Linnaeus): Factors affecting biodegradation rates and the ability of polystyrene-fed larvae to complete their life cycle. *Chemosphere*, 191: 979–989.
- Yang SS, Wu WM, Brandon AM, Fan HQ, Receveur JP, Li YR, Wang ZY, Fan R, McClellan RL, Gao SH, Ning DL, Phillips DH, Peng BY, Wang HT, Cai SY, Li P, Cai WW, Ding LY, Yang J, Zheng M, Ren J, Zhang YL, Gao J, Xing DF, Ren NQ, Waymouth RM, Zhou ZH, Tao HC, Picard CJ, Benbow ME, Criddle CS, 2018b. Ubiquity of polystyrene digestion and biodegradation within yellow mealworms, larvae of *Tenebrio molitor* Linnaeus (Coleoptera: Tenebrionidae). *Chemosphere*, 212: 262–271.
- Yin T, Zhou X, Wang YB, Huang FQ, 2018. Effects of plastic foam feeding on the growth of *Tenebrio molitor* L. and *Zophobas morio* Fabricius. *Journal of Gansu Agricultural University*, 53(2): 74–79. [殷涛, 周祥, 王艳斌, 黄方巧, 2018. 泡沫塑料的取食对黄粉虫和大麦虫生长的影响. *甘肃农业大学学报*, 53(2): 74–79.]
- Yang Y, Yang J, Wu WM, Zhao J, Song YL, Gao LC, Yang RF, Jiang L, 2015. Biodegradation and mineralization of polystyrene by plastic-eating mealworms: part 2. role of gut microorganisms. *Environmental Science & Technology*, 49(20): 12087–12093.
- Zhang K, Hu RQ, Cai MM, Zheng YL, Yu ZN, Zhang JB, 2017. Degradation of plastic film containing Polyethylen (PE) by yellow meal worms. *Chemistry & Bioengineering*, 34(4): 47–49. [张可, 胡芮琦, 蔡珉敏, 郑龙玉, 喻子牛, 张吉斌, 2017. 黄粉虫取食和消化降解 PE 塑料薄膜的研究. *化学与生物工程*, 34(4): 47–49.]