生物资源 2018,40(3):2322~2399
Biotic Resources

综 述

DOI:10.14188/j.ajsh.2018.03.006

食用昆虫的研究与应用进展

张家琛[1],周学永[1*],蔡珉敏[2],郑龙玉[2],喻子牛[2],张吉斌[2]

(1.天津农学院 食品科学与生物工程学院,天津 300384;
2.华中农业大学 农业微生物学国家重点实验室,生命科学技术学院,湖北 武汉 430070)

摘要:对食用昆虫的研究与应用进行综述,介绍了世界各地对食用昆虫的利用概况,分析了食用昆虫的营养价值,以及昆虫在有机废弃物生物转化方面、作为人类食品和作为动物饲料代替鱼粉方面的应用情况、产业化研究现状及存在问题,最后对食用昆虫的研究开发前景进行了展望。

关键词:食用昆虫;营养;生物转化;昆虫食品;饲料
中图分类号:TS 202 文献标识码:A 文章编号:2096-3491(2018)03-0232-08

Research and application of edible insects

ZHANG Jiachen[1], ZHOU Xueyong[1*], CAI Minmin[2], ZHENG Longyu[2], YU Ziniu[2], ZHANG Jibin[2]

(1. College of Food Science and Biotechnology, Tianjin Agriculture University, Tianjin 300384, China;
2. State Key Laboratory of Agriculture Microbiology, Huazhong Agriculture university, Wuhan 430070, Hubei, China)

Abstract: In this paper, the research and application of edible insects are described. The utilization of edible insects in major regions of the world was introduced. The nutritive value of edible insects, bio-transformation of organic waste by main edible insects, the application of edible insects as human food and animal feed as substitute for fish meal as well as industrialization research status and existing problems were analyzed. Finally, the prospects for research and development of edible insects are prospected.

Key words: edible insect; nutrition; bio-transformation; insect food; feed

0 引 言

食用昆虫是指虫体或其产物可以作为食品供人类食用或者作为饲料供家畜、家禽、鱼类食用的昆虫。由于食用昆虫可以利用不同的有机废弃物进行生长繁殖,具有人工饲养简单、繁殖速度快、占地面积小、食物转化率高、释放温室气体少、蛋白质含量高和营养均衡等优点而越来越受到研究人员重视,近几十年来,国内外对食用昆虫进行了大量的基础研究和应用探索[1~6]。

全世界已知食用昆虫有3 650多种,有学名记录的达1 500余种,其中至少有1 400种昆虫为传统菜肴[7~9]。亚洲食用昆虫非常丰富,东南亚有150~200种昆虫被食用,在缅甸、泰国和越南,人们全年采集各种昆虫[10],印度食用昆虫种类约有50种,日本至少有55种以上[11]。我国记载的食用昆虫达324种,分属于12目,其中以鳞翅目(Lepidoptera)、鞘翅目(Coleoptera)及膜翅目(Hymenoptera)种类最多,占全部食用昆虫记录的70%左右[7]。在北美州的墨西哥,食用昆虫高达549种[1];位于南美洲的亚马逊流域,食用昆虫有428种[12];在非洲,文献报道的食用昆虫大约有250种[13]。就地域分布而言,热带

收稿日期:2017-12-08 修回日期:2018-03-24
作者简介:张家琛(1993-),男,硕士研究生,研究方向为动物源性食品安全与营养学。E-mail:zjc100z@163.com
*通讯联系人 E-mail:zhouxueyongts@163.com
基金项目:中央高校基本科研业务费专项基金(2662016PY110);武汉市"黄鹤英才计划"项目

引用格式:Zhang J C,Zhou X Y,Cai M M,*et al*. Research and application of edible insects [J]. Biotic Resources, 2018, 40(3): 232-239.
张家琛,周学永,蔡珉敏,等.食用昆虫的研究与应用进展[J].生物资源,2018,40(3):232-239.

地区食用昆虫在数量、种类上更占优势[14]。

目前，世界各国对食用昆虫的营养价值、农用废弃物的转化利用、食用昆虫产业化研究及应用前景等方面越来越重视，本文将就以上几个方面进行分析介绍。

1 食用昆虫的营养价值

随着世界人口急剧增长，人们对蛋白质的需求量也愈来愈大，蛋白质危机已成为当今世界存在的四大危机之一，寻找新的蛋白源已迫在眉睫。研究表明，食用昆虫含有蛋白质、脂肪类、矿物元素、维生素等人体必须的营养成分，具有较高的营养价值[7~9]。

1.1 蛋白质

昆虫体内蛋白质含量丰富，氨基酸种类和含量比例符合联合国粮农组织提出的氨基酸模式，营养价值极高[15]。大量的营养分析表明，食用昆虫含有丰富的人体必需的营养物质，蛋白质含量和组成优于猪肉、大豆以及风干牛肉，可与鱼粉相媲美。无论食用的虫态是卵、幼虫、蛹还是成虫，其蛋白质含量均十分丰富，粗蛋白含量一般占20%～66%[16]。鞘翅目拟步甲科(Tenebrionidae)的黄粉虫(*Tenebrio molitor*)，干粉蛋白质含量在48%～54%之间[17,18]，双翅目(Diptera)的水虻(*Hermetia illucens* L.)幼虫粗蛋白含量占干重的42%～44%[19]，蝗虫(*Locusta migratoria manilensis*)蛋白含量占干重的63%～79%[20]，蚕蛹(*Bombyx mori* L.)的蛋白质含量为49%左右[21]，家蝇(*Musca domestica* L.)幼虫粗蛋白约占干重的60%[22]。组成蛋白质的常见氨基酸约有20种，在已研究的昆虫中，必需氨基酸含量在10%～30%之间，占到氨基酸总量的30%～50%。如家蝇幼虫中必需氨基酸总量是鱼粉的2.3倍，赖氨酸和蛋氨酸含量分别是鱼粉的2.6倍和2.7倍[23]。另外，昆虫氨基酸的消化利用率非常高，可达70%～98%，接近甚至超过肉、鱼的消化率，显著高于植物蛋白的消化利用率[24]。昆虫中多数种类的氨基酸比例接近或超过世界卫生组织和联合国粮食和农业组织(WHO/FAO)提出的氨基酸模式，有利于人体和动物吸收。因此，将昆虫蛋白粉加入到主食中混合食用，可以作为补充，为人和动物提供合理、丰富、优质的蛋白源[25]。

1.2 脂类物质

研究表明，不同昆虫种类、不同虫态的样品粗脂肪含量有一定差异，一般为10%～50%[26]，蛹和幼虫脂类含量较高，成虫脂类含量较低。卵具有丰富的磷脂，有很好的营养保健价值。通常，必需脂肪酸和不饱和脂肪酸含量高的油脂，营养价值就高。昆虫的必需脂肪酸含量较高，如柞蚕(*Antherea pernyi*)蛹的不饱和脂肪酸比例达80%以上[27]，蚂蚁(*Pheidole megacephala*)含量约80%，白蚁(*Macrotermes subhyalinus*)约74%。昆虫体内所含的脂肪类不同于一般的动物，主要是不饱和脂肪酸和软脂酸，其中亚油酸、亚麻酸、花生四烯酸等人体必需脂肪酸含量高，可与鱼肉相媲美[28]。亚油酸在食用昆虫的幼虫和蛹中含量为10%～40%[29]，有些种类甚至超过亚油酸含量较高的芝麻油和花生油。亚油酸和亚麻酸这两种脂肪酸正是人体生长发育所必需的，其中亚油酸含量较高的昆虫有双翅目的家蝇和膜翅目的大白蚁等，亚麻酸含量较高的昆虫则在鳞翅目。不饱和脂肪酸具有重要的生理功能，如降血脂，降低血液胆固醇水平，抑制机体内过氧化脂质的生成[7]。

1.3 碳水化合物

碳水化合物又称糖类，为人体重要的营养素，是食物中提供能量的主要来源，对肌体内蛋白质的消耗起保护作用，且与机体的解毒作用相关。糖类是构成肌体组织、参与细胞组成和多种生命活动的重要物质；糖类也参与其他营养素代谢，能与蛋白形成核蛋白，与脂类形成糖脂，具有重要的生理功能。食用昆虫体内的糖类含量较低，一般在1%～10%之间，但昆虫体内含有一些水溶性多糖，具有免疫调节、抗氧化等功能[17]。

昆虫含有大量几丁质，也称为壳多糖(chitin)，主要成分为N-乙酰葡糖胺。一般虫体几丁质含量在5%～15%之间，松毛虫(*Dendrolimus* sp.)成虫几丁质可达17.83%[30]。壳多糖是具有膳食纤维功能的重要碳水化合物，能促进消化道蠕动，降低血压和血液中的胆固醇含量。

1.4 微量元素与维生素

昆虫体内含有丰富的微量元素，如蝉(*Cicadidae*)的锌含量达544.3 mg/kg，金龟子(*Catharsius molossus* L.)的铁含量可达2 299.52 mg/kg[5,9,31]。许多昆虫体内的钙含量相当高，如红蜻(*Crocothemis servillia*)的钙含量高达4 180 mg/kg[32]。由此可见，尽管微量元素含量随种类变化，但锌、铁含量高于牛肉、猪肉和鸡肉[33,34]，能为人类提供必需的矿物元素。人体的维生素一般由食物提供，研究显示，食用昆虫体内富含维生素、胡萝卜素、维生素A、

维生素B_1、B_2、B_6,维生素D、E、C、K等含量也比较高,例如蚂蚁所含维生素A和D的含量极为丰富,黄粉虫干粉中含有一定量的维生素B_1、B_2、C、E。因此,食用昆虫作为食品可为人体提供丰富的维生素[9,25]。

2 食用昆虫转化有机废弃物

许多食用昆虫,例如水虻、黄粉虫、蝇蛆、金龟子、蝗虫和白蚁等,均可以利用天然的有机废弃物进行生长繁殖[1]。水虻大多为腐食性,少数为植食性或肉食性。目前,应用最多的是亮斑扁角水虻,可以有效转化餐厨剩余物、畜禽粪便、菇渣等[35~37]。转化有机废弃物的亮斑扁角水虻幼虫可作为蛋鸡、肉鸡、对虾、大比目鱼、虹鳟鱼、青蛙、猪、鸡、鲍鱼和黄颡鱼等动物的饲料,并使动物的肉质或蛋的品质有很大的改善。

黄粉虫食性很杂,除了可以利用麸皮外,还可以利用不同有机废弃物如尾菜叶或瓜果渣皮,以补充水分和维生素C[38]。果渣粉、果籽饼粕和皮渣粉等含有丰富的粗蛋白质、矿物质微量元素、氨基酸和维生素等营养物质,可以用作黄粉虫饲料。饼粕(渣)类如大豆饼粕、花生粕和芝麻粕等资源含油较多,是黄粉虫优良的饲料成分,因此可以充分利用当地有机废弃物资源优势,变废为宝,生产动物饲料甚至人类食品。

腐食性金龟是金龟子的一个重要类群,它能够将哺乳动物的粪便转入地下,供其自身和后代食用,从而清洁了地表,提高了土壤肥力,在自然界物质循环和生物链能量传递中起重要作用[39]。腐食性金龟还可取食腐烂的秸秆、枯枝落叶、杂草等废弃物,将其转化为高蛋白的虫体。利用这一取食特性,可以开拓出一条秸秆、废弃物资源化利用的新途径。目前国内开发利用的金龟子资源主要是白星花金龟(*Protaetia brevitarsis*)、蜣螂(*Geotrupidae*)和独角仙(*Trypoxylus dichotomus*)[40,41]。白星花金龟幼虫为腐食性,可以取食腐烂的秸秆、杂草以及畜禽粪便。针对这一特点,通过对转化玉米秸秆的白星花金龟3龄幼虫营养成分进行分析,发现其蛋白质及脂肪的干重含量分别为49.90%和15.42%,为高蛋白昆虫,可作为人类食品和动物饲料。

蝗虫具有广食性、杂食性特征,可利用的农业有机废弃物种类众多,包括农作物秸秆、草粉、木屑、食用菌栽培基质物、酒糟、各种果渣等,其共同特点是富含纤维素、半纤维素、木质素,且可经过发酵工艺处理后用于饲喂蝗虫[42]。蝗虫将废弃的农业副产品转化为优质的昆虫蛋白,变废为宝,而转化后的蝗虫可作为优质动物饲料原料或作为人类食品。

3 食用昆虫作为食物或饲料的应用

3.1 食用昆虫作为人类食品

据统计,世界人口到2050年将达到90亿[1],粮食需求量与现在相比需求量将翻番,由于耕地减少,粮食增加有限,粮食危机日趋突出。昆虫作为一种食物,虽然在亚洲、非洲和南美洲等地的许多国家具有悠久的食用历史,但还没有被充分利用。近年来,食用昆虫受到联合国粮农组织(FAO)的重视[1],被推荐为未来可以开发利用的新的食物来源之一,以满足人类对蛋白资源的需求。

人类对食用昆虫的利用方式包括原型昆虫食品、改变形态的昆虫食品以及以昆虫为原料的加工蛋白食品和昆虫保健食品。原型食品比较普遍,例如我国东北吃油炸蚕蛹,西双版纳傣族的油炸竹虫、煎蟋蟀、瓤知了;山东人吃豆天蛾幼虫,福建、两广一带视龙虱为珍品,江浙一带爱吃蚕蛹;四川和湖南人习惯吃天牛;台湾人最爱吃“香酥蟋蟀”。对很多亚洲、北美、拉美和非洲的民众来说,吃昆虫也是很普遍的情况。泰国人喜欢油炸蝗虫,墨西哥素有“食虫之乡”的美誉,在那里被认为可吃的虫子有500多种,占世界可食昆虫种类的1/3。当地人习惯把虫子油炸后浇上辣椒粉和柠檬汁,酸辣口味的虫子大餐是最常见的做法。

有些是改变形态的昆虫食品,如把炸好的昆虫与豆类食品和调味料一起搅拌,加在面条上;将昆虫制成蜜饯、面包、罐头等,如法国的昆虫餐厅推出的甲虫馅饼,把蚂蚁、蜂蛹制成巧克力等。墨西哥人用蝇卵烹制成鱼子酱;把蚯蚓肉与牛肉混合制成汉堡,味道可口;德国人把昆虫加工成罐头等等[43]。这些改变形态的食品多为人工规模化饲养的昆虫,多制备成昆虫原料,与其他食材一起加工成食品,这样既改变了昆虫原有的口感,使人们易于接受,又可开发出既营养价值高的食品,更加符合人们的饮食习惯[2]。

3.2 食用昆虫作为蛋白饲料

随着全球经济的不断发展,人们对食品的追求显著提高,对动物源性食品的需求不断增加,畜禽饲料原料供不应求。以鱼粉为例,我国养殖业对鱼粉的需求量巨大,每年进口量约占世界年产量的1/3,

是最大的鱼粉消费国[44]。由于全球渔业资源短缺，海洋资源保护与鱼粉市场的矛盾日益突出，鱼粉的产量停滞不前，甚至有下降趋势，而且价格也在不断上涨，导致了我国畜牧养殖业的成本提高，市场上肉类的价格也在上升。因此，养殖业需要一种新的动物蛋白源来替代饲料中的鱼粉。昆虫种类多，繁殖快，饲养成本低，不受土地及季节限制，而且昆虫虫体富含多种营养成分（表1），完全有替代鱼粉成为饲料动物蛋白源的潜力[17,19]。

国内外已经有很多使用昆虫部分或全部替代鱼粉来饲养家畜家禽和水产动物的先例，并取得了不错的效果。有研究在肉仔鸡基础日粮中添加5%的蝇蛆粉，与添加等量鱼粉的对照组进行比较，发现仔鸡每日增重提高了2.89%；采用蝇蛆粉等量代替10%～12%的鱼粉饲喂蛋鸡，产蛋率可提高10.1%～20.3%[22]。在饲料中添加黄粉虫饲养丝羽乌骨鸡，结果发现乌骨鸡死亡率降低，增重率和料肉比均有提高[18]。我国也有利用昆虫蛋白代替鱼粉喂养猪、牛的报道[45]，用4.65%的蝇蛆粉和6.17%的黄粉虫替代鱼粉加入基础日粮中饲喂仔猪，仔猪的增重、料重比和腹泻率均有改善。用新鲜黄粉虫打浆作为牛的代乳料代替50%的全乳，与对照组比较，增重和腹泻率无明显差异，但降低了饲养成本[46]。使用蝇蛆粉代替饲料中的鱼粉饲养黄颡鱼，蝇蛆粉可以达到鱼粉的效果[47]。用水虻预蛹粉来代替部分鱼粉饲养大菱鲆，在替代量为17%和33%时，各营养物质含量和对照组无显著变化[48]。用转化鸡粪所得亮斑水虻预蛹替代虹鳟鱼饲料中的鱼粉和鱼油，当预蛹替代饲料中15%的蛋白时，对虹鳟鱼的生长无任何负面影响，并且可以减少38%的鱼油用量[49]。而用水虻转化鸡粪所得亮斑水虻幼虫代替25%的鱼粉配制的黄颡鱼饲料饲养的黄颡鱼的生长和免疫性能与对照相比得到明显提高[50]。将食用昆虫加工成宠物食品在国外也已经较为普遍[51]。

表1　部分食用昆虫与鱼粉的蛋白含量对照[17,19]

Tab. 1　Comparison of protein content between some edible insects and fish meal

%

种类	粗蛋白	粗脂肪	赖氨酸	蛋氨酸
水虻（幼虫）	42.1-45.2	31.4-34.8	3.4	0.9
水虻（蛹）	42.1-43.2	28.0-34.8	2.6	0.7
蝇蛆粉	59.4-63.0	10.6-20.0	4.1	1.9
黄粉虫（幼虫）	47.7-54.3	28.9-37.6	3.3	0.7
黄粉虫（蛹）	55.2-58.7	26.8-30.4	3.6	0.8
黄粉虫（成虫）	63.2-64.3	17.1-19.3	3.6	0.8
蚕蛹	68.3	28.8	—	—
中华稻蝗	64.1	3.7	2.7	0.4
鱼粉	53.5-64.5	4.0-10.0	4.7	1.6
豆粕	44.2	1.9	3.0	0.7

4　食用昆虫产业化研究

食用昆虫产业化是指通过人工饲养手段获得大量昆虫产品的生产方法，而这一方法是大规模工厂化生产昆虫深加工食品的前提。从传统意义上来讲，大多数食用昆虫是在野外收获的，只有蚕、蜜蜂等少数具备重要商业价值的昆虫才被人类长期驯化养殖。随着人类对食用昆虫需求量的增多，人工饲养在世界各地均有尝试，但家庭饲养模式最为常见[1]。显然，这种零散的养殖模式已不能满足人类需求，而产业化生产则是降低成本、保护环境、满足市场需要的必然趋势。

目前世界上已有不少产业化成功先例，南非利用剩余营养资源饲养普通家蝇幼虫，在生产初始阶段，成群的苍蝇在无菌笼饲养，每笼有超过75万只苍蝇[1]。一只雌蝇七天时间内可以在1 000只鸡蛋上产卵，然后孵化成幼虫。家蝇幼虫在72 h内，经历三个生命阶段，在变蛹之前被收集。收获的幼虫在流化床干燥器中干燥，研磨，最终加工成薄片产品。

美国的Enviroflight公司是一家联合生产动物性蛋白和植物性蛋白的高科技企业，其产业化过程是利用水虻转化白酒或啤酒厂的废弃产物[1]。水虻吸收养分转化为动物蛋白，而虫粪则转化为高蛋白、低脂肪的饲料，可用于喂养鱼、虾或猪、牛等牲畜。

荷兰食用昆虫产业化是基于循环经济和环境经济学原理，以环境、经济和未来营养健康食品的匮乏为相互作用纽带，力争实现产业链循环[1]。这个产业化的核心也是通过食用昆虫转化有机废弃物，只不过设计理念有所超越，因为它是在动物蛋白需求不断增长、温室气体排放量增多、废弃物处理量增加的背景下进行的新型产业化项目。

在我国，养蚕、养蜂、紫胶业、虫蜡业、倍蚜业、养蚁业、养蝇业已得到一定规模的发展[52]，水虻养殖作为国内的新兴产业，也初步具备了产业化规模[53]。

5 存在问题及改进措施

食用昆虫在食品、医药和环境保护等方面的利用越来越受到人们的关注。人们将其作为一种“微型牲畜”,已经在蜜蜂、家蚕、黄粉虫以及许多药用昆虫上实现了规模化人工饲养,并逐步发展到水虻、蝗虫、蚂蚁等资源化前景广阔的食用昆虫。食用昆虫在以下几个方面表现出巨大的研究开发前景,但仍存在以下不少问题。

5.1 养殖企业专业知识缺乏

我国食用昆虫产业化养殖以农村地区为主,公司成员也以农民为主,专业水准较低。由于对昆虫生物学知识、饲养条件和人工饮食模式缺乏了解,没有能力做到筛选良种、优化饲料配方和诊断疾病,因此,容易出现产量不稳定、质量波动等难题,难以推动食用昆虫产业化朝着纵深方向不断发展。食用昆虫产业化一定要遵循正式的饲养方式,因为高品质的饲养方式,对于昆虫作为人类食物而言是极其重要的[54]。对于用于人类食用的昆虫,如果不采用加工除去内脏的方法,则应严格控制饲料的纯净度[1]。因此建议国内食用昆虫产业化的组织者,一定要具备充足的专业知识,并聘请专业人员进行生产管理,从专业水准的高度开展产业化研究,坚决杜绝土法建厂,以便实现可持续发展。

5.2 人们对昆虫食品接受程度偏低

有报告显示,食用昆虫在欧洲国家接受程度较低,消费者对昆虫的陌生性以及昆虫对消费者的低吸引性,成为其替代肉类的一个重要障碍[55,56]。调查发现,比利时人不愿意用昆虫食品替代肉类。有学者认为,消费者的态度和信仰是决定昆虫食品替代肉类的关键因素[57]。有研究对瑞士接受昆虫食品的前景作出分析,课题组选择了“人们食用昆虫的意愿、以前是否吃过昆虫、普通肉类消费频率、普通肉类对健康的益处、便利导向、食物新奇恐怖症、感官吸引力、伦理、熟悉程度、体重控制”等24项指标进行调研,采用Tobit回归分析,发现便利导向、昆虫在食品中的可辨别性、期盼食品健康、对昆虫食品的熟悉程度、食物新奇恐怖症、食品新技术恐怖症、肉类对健康的益处、性别、先前消费经历等9项指标对昆虫食品的接受意愿有重要影响[58]。

因此,在食用昆虫产业化之前,应首先通过实验研究获取安全性科学数据,进而消除人们对昆虫食品的恐惧心理,这是十分必要的。

5.3 加工技术水平有待提高

昆虫食品加工技术水平高低,对产品成本、商品货架期及消费者接受程度有较大关系。目前国内食用昆虫的开发以饲料为主,加工手段粗糙,产品检验和货架期规定不严格,容易引发昆虫饲料在养殖行业应用效果不佳的问题。目前国内水虻产业化中还存在的一个重要技术瓶颈,就是虫料分离技术有待突破。根据华中农业大学水虻产业化课题组的实践经验,采用人工刮料分离方法得到的虫体经常混有少量鸡粪等杂物,建议设计新型分离器械,提高分离效率。

此外,昆虫食品方法也很重要。有研究比较了德国人和中国人对可食性昆虫的态度,发现中国人对于加工和未加工昆虫食品的接受程度没有差别,而德国人则更易接受加工过的昆虫食品[59]。其实早在二战期间,德国就把家蚕、大螟、玉米螟等进行化学处理,调味制成罐头,后来这些企业发展成为汉堡康福林昆虫联合加工厂[11]。法国把蚱蜢、螳螂、蚂蚁等脱几丁质后生产高蛋白食品,并建立了“波一的松”罐制昆虫加工公司。日本、美国在昆虫食品加工方面也居于世界前列,产品种类极其繁多。因此,建议国内食用昆虫加工企业借鉴国外的先进经验,提高昆虫食品加工的深度和高度,向产业链下游不断延伸。

5.4 规范管理亟待加强

联合国粮农组织建议,对于食用昆虫的产业化生产与销售,应通过立法指导生产者,对饲料来源、废弃物排放标准、昆虫逃逸引发的生物安全、疾病管理、产品保存期限、产品销售运输等作出规定,以免引发产品质量和环境安全问题。通过权衡质量与安全,逐步提高食用昆虫加工质量。在这方面,建议中国昆虫学会牵头制定行业法规,规范食用昆虫产业化生产与发展。

6 结 语

食用昆虫产品有着极大的发展潜力,但发展食用昆虫还有很多问题有待解决。首先,人类食用昆虫的习惯尚未建立,需要逐步改变观念,使食用昆虫成为人类餐桌上常备食品之一。其次,食用昆虫产业化工艺条件还有待完善,根据目前的经验来看,规模化养殖昆虫尚存在效率低、产率不稳定、品质不均匀等技术问题。再次,昆虫食品安全问题亟待解决。食用昆虫的营养价值已经被大众所广泛认同,但昆虫蛋白是否会引起敏感人群的过敏,尚

需要科学系统的评价。因此,昆虫食品安全评价将是未来发展的一个重要领域。

参考文献

[1] Van Huis A, Joost V I, Harmke K, *et al*. Edible insects: future prospects for food and feed security [M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the united nations (FAO), 2013: 45-93.

[2] Van Huis A. Insects as food in sub-Saharan Africa [J]. Insect Sci Appl, 2003, 23(3):163-185.

[3] Chen X M, Feng Y, Chen Z Y. Common edible insects and their utilization in China [J]. Entomol Res, 2009, 39(5): 299-303.

[4] Van Itterbeeck J, Van Huis A. Environmental manipulation for edible insect procurement: a historical perspective [J]. J Ethnobiol Ethnomed, 2012, 8(1): 1-19.

[5] Bukkens S G F. The nutritional value of edible insects [J]. Ecol Food Nutr, 1997, 36(2-4): 287-319.

[6] DeFoliart G R. The human use of insects as food and as animal feed [J]. Bulletin of the Esa, 1989, 35(1), 22-36.

[7] Feng Y, Chen X O, Zhao M. Edible insects in China [M]. Beijing: Chinese Science Press, 2016: 16-116.
冯颖,陈晓鸣,赵敏.中国食用昆虫[M].北京:科学出版社, 2016: 16-116.

[8] DeFoliart G R. Edible insects as minilivestock [J]. Biodivers & Conserv, 1995, 4(3): 306-321.

[9] Rumpold B A, Schlüter O K. Nutritional composition and safety aspects of edible insects [J]. Mol Nutr Food Res, 2013, 57(5): 802-823.

[10] Yhoung-Aree J, Viwatpanich K, Paoletti M G. Edible insects in the Laos PDR, Myanmar, Thailand, and Vietnam [M]. New Hampshire: Science Publishers, 2005: 415-440.

[11] Wei Y P, Yuan F, Zhang Y L. Industrial prospects and application of food insects [J]. The Journal of Northwest Agricultural University, 1998, 26(6): 86-91.
魏永平,袁锋,张雅林.食用昆虫的开发利用与产业化[J].西北农业大学学报, 1998, 26(6): 86-91.

[12] Paoletti M G, Dufour D L, Paoletti M G. Edible invertebrates among Amazonian Indians: a critical review of disappearing knowledge [J]. Environment Development & Sustainability, 2000, 2(3-4):195-225..

[13] Van Huis A. Insects eaten in Africa (Coleoptera, Hymenoptera, Diptera, Heteroptera, Homoptera) [M]. In M. G. Paoletti, editor. Ecological Implications of Minilivestock. Enfield N. H.: Science Publishers. pp. 231-244.2005.

[14] Van Huis A. Potential of insects as food and feed in assuring food security [J]. Annu Rev Entomol, 2013, 58(1): 563-583.

[15] Bednarova M, Borkovcova M, Komprda T. Purine derivate content and amino acid profile in larval stages of three edible insects [J]. J Sci Food Agr, 2014, 94(1): 71-76.

[16] Yang G H. Utilization and industrialization of insect resources in China [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1998: 16-107.
杨冠煌. 中国昆虫资源利用和产业化[M].北京:中国农业出版社, 1998: 16-107.

[17] Guo A W, Xiong C M. The application of insect protein in the animal production [J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2008, 35(11): 166-167.
郭爱伟,熊春梅.昆虫蛋白质饲料在动物生产中的应用[J].中国畜牧兽医, 2008, 35(11): 166-167.

[18] Ma Q, Zhou Y J, Yu X G. Feeding effects of tenebrio motitor linnaeus on silky fowl [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2017, 45(9): 107-109.
马群,周宇爝,愈晓刚.黄粉虫对丝羽乌骨鸡的饲养效果研究[J].安徽农业科学, 2017, 45(9): 107-109.

[19] Yu G H, Chen Y H, Yu Z N, *et al*. Research progression on the larvae and prepupae of black soldier fly (*Hermetia illucens*) used as animal feed stuff [J]. Chinese Bulletin of Entomology, 2009, 46(1): 41-45.
喻国辉,陈燕红,喻子牛,等.黑水虻幼虫和预蛹的饲料价值研究进展[J].昆虫知识, 2009, 46(1): 41-45.

[20] Li W B, Wu M L, Lian Z M, *et al*. Research and exploitation of insect resources in China [J]. Amino Acids & Biotic Resources, 2008, 30(4): 21-25.
李文宾,吴敏丽,廉振民,等.中国昆虫资源研究开发现状[J].氨基酸和生物资源, 2008, 30(4): 21-25.

[21] Lv Y, Ke H T, Chen X P, *et al*. Nutritional components and content determination in female and male pupae of antheraea perny [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2016, 4(27): 61-64.
吕银,柯皓天,陈祥平,等.柞蚕雌蛹与雄蛹的营养组分及含量分析[J].安徽农业科学, 2016, 4(27): 61-64.

[22] Jia S F, Ma Y B. The influence on weight of broilers by maggot [J]. China Poultry, 2007, 39(12): 39-41.
贾生福,马彦彪.蝇蛆粉对肉仔鸡增重效果试验[J].中国家禽, 2007, 39(12): 39-41.

[23] Wang D R, Zhang W X, Lu Y, *et al*. Analysis and utilization of the nutrient components of the larva of the housefly [J]. Entomological Knowledge, 1991, 28(4): 247-249.
王达瑞,张文霞,陆源等.家蝇幼虫营养成分的分析及利用[J].昆虫知识, 1991, 28(4): 247-249.

[24] He H Y, Li H J, Yang J, *et al*. Utilization and research progress of edible resource insects [J]. Food Science and Technology, 2002, (7): 29-31.
何洪英,李华钧,杨坚等.食用资源昆虫的利用及研究进展.食品科技, 2002, (7): 29-31.

[25] Feng Y, Chen X M. Review on nutritive value of edible insects [J]. Forest Research, 1999, 12(6): 662-668.
冯颖,陈晓鸣.食用昆虫营养价值评述[J].林业科学研究, 1999, 12(6): 662-668.

[26] Chen X M, Feng Y, Chen Z Y. Common edible insects and their utilization in China. Entomological Research, 2009, 39 (5): 299 - 303.

[27] Wu S M, Qiu A Y. Studies on the chemical constituents of *Callicarpa bodinieri* Levl. [J]. Natural Product Research and Development, 2000, 13(1): 52-55.
吴时敏,裘爱泳.昆虫功能性脂质与油脂的开发[J].天然产物研究与开发, 2000, 13(1): 52-55.

[28] DeFoliart G R. Insect fatty acids: similar to those of poultry and fish in their degree of unsaturation, but higher in the polyunsaturates [J]. Food Insects News letter, 1991, 4: 1-4.

[29] Yang Q, Liu G Q, Wei M C. Research advances in nutrition and development of insect oil [J]. Food Science and Technology, 2008, (3): 246-249.
杨青,刘高强,魏美才.昆虫油脂的营养和开发研究[J].食品科技, 2008, (3): 246-249.

[30] Liu G Q, Wang X L. Development situation on chitosan of insects and application in food industry [J]. Nutrietional Study, 2004, (3): 92-94.
刘高强,王晓玲.昆虫壳聚糖在食品工业中的开发应用[J].食品科技, 2004, (3): 92-94.

[31] Ye X Q, Hu C, Wang X. Chemical evaluation of the nutritive value of 7 species of Coleoptera larva [J]. Journal of Zhejiang Agricultural University, 1998, 24(1): 101-106.
叶兴乾,胡萃,王向.7种鞘翅目幼虫的食用营养成分分析[J].浙江农业大学学报, 1998, 24(1): 101-106.

[32] Feng Y, Chen X O, Wang S Y, *et al*. Three edible Odonata species and their nutritive value [J]. Forest Research, 2001, 14(4): 421-424.
冯颖,陈晓鸣,王绍云,等.蜻蜓目的3种食用种类与营养价值[J].林业科学研究, 2001, 14(4): 421-424.

[33] Akinnawo O, Ketiku A O. Chemical composition and fatty acid profile of edible larva of Cirina forda (Westwood) [J]. Afr J Biomedical Res, 2000, (2): 93-96.

[34] Christensen D L, Orech F O, Mungai M N, *et al*. Entomophagy among the Luo of Kenya: a potential mineral source [J]. Int J Food Sci Nutr, 2006, 57(3-4): 198-203.

[35] Li W, Zheng L Y, Li Q, *et al*. Conversion process and resource utilization of restaurant waste by black soldier fly [J]. Chemistry & Bioengineering, 2014, 31(11): 12-17.
李武,郑龙玉,李庆,等.亮斑扁角水虻转化餐厨剩余物工艺及资源化利用[J].化学与生物工程, 2014, 31(11): 12-17.

[36] Cai M M, Zhang K, Zhong W D, *et al*. Bioconversion-composting of golden needle mushroom (*Flammulina velutipes*) root waste by black soldier fly (*Hermetia illucens*, Diptera: Stratiomyidae) larvae, to obtain added-value biomass and fertilizer [J]. Waste Biomass Valor, 2017: 1-9.

[37] Zhou F, Tomberlin J K, Zheng L Y, *et al*. Developmental and waste reduction plasticity of black soldier fly strains (Diptera: Stratiomyidae) raised on different livestock manures [J]. J Med Entomol, 2013, 50(6): 1224-1230.

[38] Liu Y S, Wang F B, Cui J X, *et al*. Recent status and advances on study and utilization of *Tenebriomolitor* [J]. Journal of Environmental Entomology, 2010, 32(1): 106-114.
刘玉升,王付彬,崔俊霞等.黄粉虫资源研究利用现状与进展[J].环境昆虫学报, 2010, 32(1): 106-114.

[39] Yang C. Studies on the biology of *Protaetia brevitarsis* and its feeding habits on mazie straw [D]. Taian: Master's degree thesis of Shandong Agricultural University, 2014.
杨诚.白星花金龟生物学及其对玉米秸秆取食习性的研究[D].泰安:山东农业大学硕士学位论文, 2014.

[40] Tian X Y, Song F P, Zhang J, *et al*. Diversity of gut bacteria in larval *Protaetia brevitarsis* (Coleoptera: Scarabaedia) fed on corn stalk [J]. Acta Entomologica Sinica, 2017, 60(6): 632-641.
田小燕,宋福平,张杰,等.饲喂玉米秸秆的白星花金龟幼虫肠道细菌多样性[J].昆虫学报, 2017, 60(6): 632-641.

[41] Chen Z, Guan Y M, Ou S P, *et al*. Progress in medicinal and pharmacological studies on the effective parts of Catharsius [J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2012, 34(9): 1777-1780.
陈振,管咏梅,欧水平,等.药用蜣螂有效部位及药理研究进展[J].中成药, 2012, 34(9): 1777-1780.

[42] Duan Y F. The study on nutritional value and biological function of locust [D]. Xi'an: Master's degree thesis of Shaanxi Normal University, 2005.
段玉峰.蝗虫营养价值与生物学功能研究[D].西安:陕西师范大学硕士学位论文, 2005.

[43] Xu H Q, Xia Q Q. Nutritional value of edible insects

and their development and utilization [J]. Journal of Yangzhou Universiy, 2004, (3): 20-23.
许慧卿,夏启泉.食用昆虫的营养价值及其开发利用[J].扬州大学烹饪学报, 2004, (3): 20-23.

[44] Du Y W, Sun C. Influential factors and countermeasure analysis of fish meal market demand in China [J]. Chinese Fisheries Economics, 2016, 34(3): 10-17.
杜玉雯,孙琛.我国鱼粉市场需求的影响因素及对策分析[J].中国渔业经济, 2016, 34(3): 10-17.

[45] Yang H Y, Yang Z B. Study on the effect of *Tenebrio molitor* and fly maggot powder on performance of piglets [J]. Jiangxi Feed, 2010, (2): 9-11, 14.
杨海英,杨在宾.黄粉虫和蝇蛆粉对仔猪生产性能影响的研究[J].江西饲料, 2010, (2): 9-11, 14.

[46] Ma Y B, Zhang C H, Wang R F, *et al*. Study of calves feeding milk instead of the *Tenebrio molitor* protein [J]. China Herbivores, 2011, 31(4): 46-48.
马彦彪,张成虎,王汝富,等.黄粉虫蛋白用于犊牛代乳料试验[J].中国食草动物, 2011, 31(4): 46-48.

[47] Wen Y H, Huang Y H, Wang G X, *et al*. Effects of fish meal replacement by maggot meal on growth performance, body composition and plasma biochemical indexes of juvenile yellow catfish (*Peltobagrus fulvidraco*) [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2015, 36 (4): 29-35.
文远红,黄燕华,王国霞,等.蝇蛆粉替代鱼粉对黄颡鱼抗氧化指标、消化酶活性及前肠、肝胰脏组织结构的影响[J].饲料工业, 2015, 36(4): 29-35.

[48] Kroeckel S, Harjes A G E, Roth I, *et al*. When a turbot catches a fly: evaluation of a pre-pupae meal of the black soldier fly(*Hermetia illucens*) as fish meal substitute-growth performance and chitin degradation in juvenile turbot (*Psetta maxima*) [J]. Aquaculture, 2012, (364-365): 345-352.

[49] Sophie S H, Katie C, Marka M G, *et al*. Fish offal recycling by the black soldier fly produces a foodstuff high in omega-3 fatty acids [J]. J World Aquacult Soc, 2010, 38(2): 309-313.

[50] Xiao X X, Jin P, Zheng L Y, *et al*. Effects of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal protein as a fish-meal replacement on the growth and immune index of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) [J]. Aquac Res, 2018, 49:1569-1577.

[51] Shao H X, Ma J, Luo S D. Insects and aquatic feed used for ornamental birds [J]. Technical Advisor for Animal Husbandry, 2012, 42(8): 59.
邵洪侠,马君,罗守冬.观赏鸟常用的昆虫和水产饲料[J].养殖技术顾问, 2012, 42(8): 59.

[52] Luo S B. Insect resources need to be developed by industrialization [N]. Farmer's daily , 2002-12-28(006).
罗尚斌.昆虫资源有待产业化开发[N].农民日报, 2002-12-28(006版).

[53] Ji Y, Ren D Z, Ye M Q, *et al*. Studies on optimum temperature for rearing black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidea) [J]. Journal of Environmental Entomology, 2017, 39 (2): 390-395.
姬越,任德珠,叶明强,等.亮斑扁角水虻人工饲养条件下适宜温度的研究[J].环境昆虫学报, 2017, 39 (2): 390-395.

[54] Cohen A C. Formalizing insect rearing and artificial diet technology [J]. Am Entomologist, 2011, 47(4): 199.

[55] Verbeke W. Profiling consumers who are ready to adopt insects as a meat substitute in a Western society [J]. Food Qual Prefer, 2014, 39: 147-155.

[56] Vanhonacker F, Van Loo E J, Galynck X, *et al*. Flemish consumer attitudes towards more sustainable food choices [J]. Appetite, 2012, 62(3): 6-17

[57] Hoek A C, Luning P A, Weijzen P, *et al*. Replacement of meat by meat substitutes: a survey on person- and product-related factors in consumer acceptance [J]. Appetite, 2011, 56(3): 662-673.

[58] Schlupa Y, Brunner T. Prospects for insects as food in Switzerland: a tobit regression [J]. Food Qual Prefer, 2017, 64: 37-46.

[59] Hartmann C, Shi J, Giusto A, *et al*. The psychology of eating insects: a cross-cultural comparison between Germany and China [J]. Food Qual Prefer, 2015, 44, 148-156.

□