

## 食用昆虫蛋白的资源特性及开发前景

朱 芬<sup>1,2</sup>, 石志辉<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>华中农业大学植物科学技术学院 武汉 430070

<sup>2</sup>中国农业科学院深圳农业基因组研究所 岭南现代农业科学与技术广东省实验室深圳分中心 广东深圳 518120)

**摘要** 昆虫蛋白是一种新型蛋白资源,具有种类丰富、发展可持续的特点,能够满足大食物观的需求。本文综述食用昆虫蛋白的历史、特点、营养价值、加工方法及产业化开发前景等,分析其发展进程的受限因素,为未来开发与利用食用昆虫蛋白资源提供科学依据。

**关键词** 食用昆虫; 食用昆虫蛋白; 营养价值; 安全性; 产业发展

**文章编号** 1009-7848(2022)06-0044-09 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2022.06.005

随着人口的增长,人类对食物的需求量增加。预计到 2050 年,全球人口将达到 90 亿,全球粮食产量要比现在扩增 70% 才能够养活世界人口,而对高蛋白食品的需求预计将增加 1 倍<sup>[1-2]</sup>。传统畜牧业在为人类提供蛋白的同时,占农业生产用地的 78%,占人类用水量的 8%,占人为温室气体排放量的 18%<sup>[3]</sup>。昆虫种类丰富,可食用昆虫种类达 1 900 多种。相对畜牧业来说,昆虫饲养繁殖排放的温室气体,以及生存和繁衍所需土地、水和饲料资源均更少,显著降低了对环境的影响<sup>[4]</sup>。昆虫将摄入的有机物转化为优质蛋白和其它营养物质的效率更高<sup>[5]</sup>。有学者估计若将非洲野生蝗虫全部用于食品生产,每年可增加 1 万 t 的蛋白产量,满足 60 万人对蛋白的需求。另外,昆虫还含有脂肪酸、碳水化合物、矿物质和维生素等多种营养物质,能够满足人们的营养需求<sup>[6]</sup>。本文从人类食用昆虫的历史,食用昆虫蛋白的特点、营养价值和加工等方面综述其资源特性、开发现状和限制因素等,展望未来发展方向,为开发与利用食用昆虫蛋白资源提供理论参考。

### 1 食用昆虫概述

#### 1.1 食用昆虫的历史与文化

食用昆虫是昆虫本体或者产物可以作为食品供人类食用的昆虫<sup>[6]</sup>。昆虫与人类关系的密切性和

自身物种的丰富性,使其在古代就是人们的食物来源之一。我国早在西周时代就有以蚁卵、蝉和蜂等昆虫作为贵族阶级专属佳肴的记载。食虫文化广泛存在于世界各地,食用昆虫也越来越普遍。直翅目蝗虫(俗称“蚂蚱”)、蟋蟀、南美棕榈象鼻虫(俗称“棕榈虫”)、西方蜜蜂(俗称“西蜂”)等作为食物的历史非常悠久<sup>[7-8]</sup>。公元前 1 世纪,埃塞俄比亚人民就尝试将蝗虫保存在盐里面,用于长时间储存,以备食用<sup>[9]</sup>。

由于不同地区的自然条件、经济发展和文化传承等因素不同,因此发展出不同的食虫文化。我国云南傣族和白族喜食蚂蚁和蛻螂,也用蚂蚁卵、九香虫(俗称“屁巴虫”)和爬沙虫(俗称“虫参”)作为招待客人的佳肴<sup>[10]</sup>。江浙一带是我国桑蚕养殖最发达的地区,大量蚕蛹经蒸、煮、炒和腌制等加工后食用。海南岛上的人们喜欢吃沙虫,湖南地区喜爱食用蜂巢,山东地区偏爱米象,天津和北京地区则喜爱食用蝗虫。江西一些地区有吃烤蝉、油炸山茶象幼虫以及生食马蜂(俗称“油笋蜂”)的风俗习惯。广东、广西等地淡水水域较多,水生昆虫数量丰富并易于捕捉,如龙虱(俗称“田鳖”)和大田负蝽(俗称“桂花蝉”)成为广东著名小吃<sup>[11]</sup>。广西壮族人习惯将蚂蚁做成食品<sup>[12]</sup>。世界上其他国家也存在这种现象。在非洲,毛虫和白蚁是广泛食用的昆虫。帝王蛾幼虫和土星毛虫是南非主要的食用昆虫物种之一。印度东北部地区主要食用蓖麻蚕<sup>[13]</sup>。日本最受欢迎的食用昆虫为稻田蚱蜢<sup>[14]</sup>。泰国拥有世界上最先进的蟋蟀养殖体系,用于制作蟋蟀食品<sup>[15]</sup>。墨西哥人喜欢食用蝇卵、蚁卵制作的

收稿日期: 2022-06-01

作者简介: 朱芬(1977—),女,博士,教授

E-mail: zhufen@mail.hzau.edu.cn

美食<sup>[6]</sup>。哥伦比亚首都的昆虫食品市场中油炸蚂蚁的小摊点数不胜数。

## 1.2 食用昆虫的种类与分布

据估计,全世界食用昆虫种类有 3 000 多种。荷兰瓦赫宁根大学统计分析全世界已经发表的与食用昆虫相关的文献表明:全世界可供人类食用的昆虫超过 1 900 种,分布区域可以划分为热带非洲地区、大洋洲地区、新热带地区、东方地区和近北地区五大地理区域。中国、墨西哥和印度 3 个国家可食用昆虫分布种类数量均超过 300 种。可食用昆虫中对甲虫类记录最多,达 659 种。联合国粮农组织认为昆虫富含优质蛋白质、维生素等营养物质,可作为人类食物的主要来源,从而缓解当前全球粮食和饲料短缺问题<sup>[1]</sup>。

## 2 食用昆虫蛋白的营养

很多食用昆虫的蛋白含量都高于鸡肉、鱼肉、猪肉和牛肉等。文献记载的 236 种食用昆虫蛋白平均含量在 35.34%~61.32%(同翅目含量最低,直翅目含量最高)<sup>[17]</sup>。其氨基酸种类繁多,含量丰富,必需氨基酸含量接近或超过世界卫生组织和世界粮农组织制定的氨基酸模式<sup>[18]</sup>。紫络蛾蜡的粗蛋白含量为 51.59%;人体必需氨基酸 7 种,含量为 14.72%。云管尾角蝉的粗蛋白含量为 57.14%;人体必需氨基酸 8 种,含量为 21.92%<sup>[19]</sup>。负子蝽的粗蛋白含量为 73.52%;人体必需氨基酸 8 种,含量为 20.75%。暗绿巨蝽的粗蛋白含量为 49.62%,人体必需氨基酸 8 种,含量为 16.93%<sup>[20]</sup>。

食用昆虫蛋白中存在限制性氨基酸,其中,黄褐油葫芦的限制性氨基酸为赖氨酸,中华囊蝽、暗褐蝽的限制性氨基酸为蛋氨酸,蝗虫的限制性氨基酸为赖氨酸和苏氨酸。蝶类的限制性氨基酸多为含硫氨基酸,也有少数为苏氨酸<sup>[21]</sup>。例如:菜粉蝶第一、二限制性氨基酸为蛋氨酸和亮氨酸。蚕蛹的限制性氨基酸为苯丙氨酸<sup>[22]</sup>。

食用昆虫蛋白除了能够满足人体所需氨基酸外,还有其它的功能,例如:降血压、降血糖、抗氧化和增强免疫力等<sup>[23]</sup>。从黄粉虫(俗称“面包虫”)的蛋白水解产物中提取到活性肽物质 Tyl-Ala-Asn,可显著降低高血压大鼠的收缩压<sup>[24]</sup>。从食用昆虫蛋白中提取的天然肽物质降血压的副作用更

小<sup>[25]</sup>。有研究表明食用昆虫体内的抗菌肽蛋白,不仅参与体液免疫和细胞免疫,而且控制肠道微生物群稳态等生理、生化过程<sup>[26]</sup>。蟋蟀蛋白的水解物存在较强清除自由基活性和降血糖的能力<sup>[27]</sup>。中华稻蝗体内富含赖氨酸和蛋氨酸,食用后可促进人体内肉碱的合成,抵抗疲劳。

除蛋白外,食用昆虫体内还含有脂肪酸、碳水化合物、矿物质和维生素等多种营养物质。平均脂肪含量从直翅目蚱蜢、蟋蟀和蝗虫的 13.4%到鞘翅目昆虫的 33.4%,饱和脂肪酸平均含量从膜翅目蜜蜂、黄蜂和蚂蚁的 31.8%到等翅目白蚁的 42.0%<sup>[28]</sup>。单不饱和脂肪酸平均含量从等翅目白蚁的 22.0%到膜翅目蜜蜂、黄蜂和蚂蚁的 48.6%,而多不饱和脂肪酸从双翅目苍蝇的 16.0%到鳞翅目的蝶蛾类 39.8%<sup>[29]</sup>。食用昆虫可提供大量矿物质,如铜、铁、镁、锰、磷、硒和锌,其中铁和锌的含量比牛肉、猪肉和鸡肉多<sup>[30]</sup>。食用昆虫还含有多种维生素,如直翅目蚱蜢、蟋蟀、蝗虫和鞘翅目甲虫富含叶酸<sup>[28]</sup>。

## 3 食用昆虫蛋白的加工与提取方法

原型昆虫食品加工方式主要以炸制、炒制、酱制为主。我国有蝉酱、蚂蚁酱、蜂蛹酱、炒竹虫、油炸马蜂幼虫、蟋蟀等昆虫食品。哥伦比亚人将油炸蚂蚁当作休闲食品在戏院出售,柬埔寨的油炸蟋蟀是远近闻名的美味佳肴。随着人们对昆虫食品营养和功能性认知的提高,昆虫食品逐渐被人们所认识,对其的开发走上多元化道路,产生了整形昆虫食品,目前有饼干、面包、昆虫酒和昆虫酱油等各类昆虫食品<sup>[31]</sup>。

昆虫蛋白在提取前需去脂处理以便提高蛋白提取率。脱脂昆虫蛋白的水解率比未脱脂昆虫蛋白的水解率提高 27.43%,原因之一是蛋白不再受到脂肪包裹<sup>[32]</sup>。目前昆虫蛋白传统的提取方法主要包括碱提取法、Tris-HCl 提取法、盐提取法和蛋白酶提取法四大类<sup>[33]</sup>。不同种类的昆虫蛋白提取方法也不同。蚕蛹蛋白的提取多采用碱法和酶法,黄粉虫蛋白的最佳提取方法为 Tris-HCl 缓冲液提取法,蝇蛆蛋白提取则主要通过多种酶混合提取法。比较而言,碱提取法的提取效率和产量最优,然而,蛋白易变性,质量较低,产品的口感风味也

降低;Tris-HCl提取法,能够较好地保持蛋白活性,然而产率较低;盐提取法能够维持蛋白活性;蛋白酶提取法可在低浓度下溶解蛋白<sup>[34-35]</sup>。

为了获得高质量昆虫蛋白,干式分馏和碱法提取与超声、超高压连用等新型提取方法被用于提取不同的高质量昆虫蛋白<sup>[36]</sup>。干式分馏法使从昆虫中提取的蛋白化学成分多样化,增加蛋白的富集能力。通过碱性和超声辅助萃取可将蚱蜢和蜜蜂蛋白的发泡和乳化能力提高10%~40%<sup>[37]</sup>。

#### 4 食用昆虫蛋白的开发与研究

部分昆虫食品加工后口感、风味、质地等品质好,消费者易于接受。如:白蚁经油炸或烘烤后产生坚果味;蜜蜂经干加热后表现出“肉味”和“培根味”<sup>[38]</sup>。在小麦粉中加入白蚁粉制成的面包比普通面包更受消费者欢迎<sup>[39]</sup>。Smetana等<sup>[40]</sup>采用双螺杆挤压技术将黑菌虫蛋白浓缩物与水混合挤压制备肉类类似物。近代我国昆虫食品蛋白的开发利用在不断发展。如:利用蚕蛹和蚕蛾蛋白研制出多肽营养饮料、酱油等,将纯化的食用昆虫蛋白作为营养剂和食品添加剂<sup>[41]</sup>。广东研制出“蚕蛹公补酒”,湖南研制出保健品“三叶虫茶”,山东烟台建有“油炸金蝉罐头”生产线<sup>[42]</sup>。二战结束后法国出现以蚂蚁、蚱蜢为原料生产的高蛋白食品。德国国内建立了昆虫联合加工企业,将昆虫深加工的蛋白提纯技术投入市场<sup>[43]</sup>。美国德克萨斯州内存在数家昆

虫加工公司,产值达数千万美元<sup>[44]</sup>。墨西哥在国内多个区域建立了昆虫养殖基地,制作多种可食昆虫食品,远销其他国家<sup>[45]</sup>。日本的食用昆虫产业也相当发达,用蚕蛹来制取优质蛋白,生产氨基酸,提取有益的微量元素系列产品且获得了多项专利<sup>[46]</sup>。

在食用昆虫蛋白研究方面,从Web of Science(WOS)数据库搜索有关食用昆虫营养的文献并构建关键词共现网络图1,可以看出,食用昆虫体内的蛋白质、氨基酸、抗菌肽、脂肪酸和壳聚糖等营养物质是研究热点。在中国知网(CNKI)数据库搜索食用昆虫蛋白的文献并构建关键词共现网络图2,可以看出,开发利用、产业化发展是研究热点,相比于WOS研究热点更偏向于生产实践、实际应用方面并且与食用昆虫种类、昆虫蛋白和昆虫食品等联系紧密。消费者对新型蛋白食品接受程度和新型食品的开发利用,促进食用昆虫蛋白的产业化发展。

#### 5 食用昆虫蛋白开发的限制因素

##### 5.1 消费者认知与接受度低

食用昆虫蛋白能被消费者接受,是食用昆虫产业发展的重要环节<sup>[47]</sup>。我国自古以来就存在食用昆虫的风俗习惯,然而,部分人群习惯性地对食用昆虫接受程度低,对食用昆虫蛋白存在畏惧心理。部分西方国家的消费者不接受食用昆虫主要

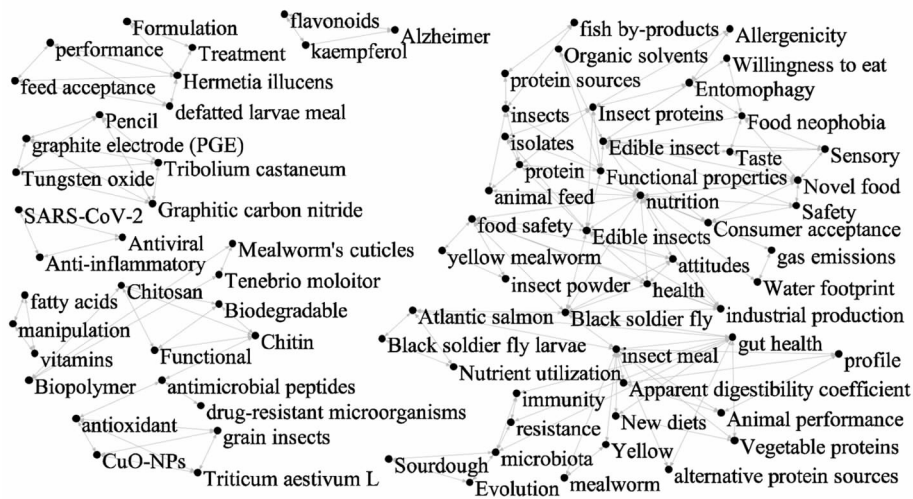


图1 WOS关键词共现网络图

Fig.1 Keyword co-occurrence network map on WOS





图 2 CNKI 关键词共现网络图

Fig.2 Keyword co-occurrence network map on CNKI

是对食用昆虫历史了解不多，加上早期的家庭教育和社会影响所致<sup>[48]</sup>。有调研报告指出：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障碍<sup>[49]</sup>。Wade 等<sup>[50]</sup>研究表明：新事物恐惧症是澳大利亚人民拒绝食用昆虫的主要原因。昆虫蛋白对于消费者的吸引力不高，就会使昆虫蛋白产业整体发展受限，部分消费者提出需要在昆虫蛋白口感、外型和价格方面满足心理需求的基础上才能接受<sup>[51]</sup>。

## 5.2 养殖和加工技术有待提高

食用昆虫产业化必须采用正确的养殖方式，从而得到高品质的食用昆虫<sup>[52]</sup>。目前食用昆虫产业正处于起步阶段，主要采取小型农场养殖方式，养殖规模、疾病防控、食用昆虫质量还有待提高<sup>[53]</sup>。

昆虫蛋白的加工技术影响其成本、货架期以及消费者的接受度。目前国内食用昆虫加工技术尚处于摸索阶段，昆虫食品多以原型出现。日本和美国等发达国家昆虫食品加工技术位居世界前列，产品种类繁多。

## 5.3 食用安全性有待改善

### 5.3.1 过敏原

虾、蟹过敏人群较易对昆虫蛋白过敏，症状常表现为皮肤发红、发痒、恶心呕吐、发烧等。有研究表明食用蚱蜢、蝗虫和蟋蟀可引起急性过敏反应<sup>[54]</sup>。目前已发现数种昆虫的过敏原，如：从家蚕蛹中能够检测到 8 种分子质量的主要

过敏原阳性蛋白条带，从东亚飞蝗体内检出 5 种分子质量的主要过敏原蛋白质<sup>[55-56]</sup>。黄粉虫和蟋蟀的精氨酸激酶蛋白过敏原的交叉反应有限，在欧洲被允许全部或部分商品化<sup>[57]</sup>。极少数人摄食柞蚕、家蚕、黄粉虫等常见食用昆虫后出现过敏症状，可能是其对异源蛋白产生过敏反应。

### 5.3.2 有毒物质

有些昆虫可能带有对人类有毒的物质，需特别关注。例如，松毛虫幼虫体内含有有毒物质，需经特殊的处理松毛虫蛹才能作为蛋白食品食用<sup>[58]</sup>。芫菁虽可作为药物食用，但其含有剧毒，误食容易中毒<sup>[59]</sup>。在南非，可食用的盾形臭虫会产生有毒物质，破坏人体皮肤并影响视力<sup>[60]</sup>。李玲等<sup>[61]</sup>研究发现木薯蚕蛹具有遗传毒性，可致雄性小鼠精子畸变率极显著增加。

### 5.3.3 环境有害物质残留

昆虫可能受到环境中重金属和农药等物质的影响。重金属在食物链中传递，不仅危害昆虫的生存，还威胁人类健康。对黄粉虫喂食含有镉和铅的有机土壤，在其体内就会积累镉和铅<sup>[62]</sup>。蒋筠雅等<sup>[63]</sup>从我国西南地区分布的 6 种蜻蜓中检出含量超标的重金属镉、铅、砷等。化学农药会残留在昆虫体内或表面，在食物链中传递，最终导致人类神经系统和生殖系统受损。食用昆虫的种类不同对农药的敏感性也不同，需对食用昆虫逐一检测<sup>[64]</sup>。食用昆虫可能自身携带环境中的病原体，如病毒、细菌、真菌等，对人体造成危害。此外，加工过程中也可能传染病菌等微

生物。有研究发现从笋蠹螟(俗称“竹蛾”)中检出沙门菌等肠道致病菌,大肠菌群和菌落总数均超过《农产品安全质量无公害畜禽肉安全要求》的规定<sup>[65]</sup>。陈涛等<sup>[66]</sup>曾从蟑螂体内检出引起人类肠道食物中毒、痢疾等疾病有关的微生物。

## 6 展望

昆虫蛋白是一种新兴的蛋白资源,符合当代社会发展需求。结合食用昆虫蛋白的营养、安全性、加工方法和产业发展等因素,提出需要关注的方面:

1) 食用昆虫蛋白发展潜力大 社会的发展和人口的增长导致人们对蛋白的需求增加,研究与开发食用昆虫蛋白具有很大的市场空间。全球食用昆虫市场价值预计2023年将达到11.8亿美元以上。

2) 食用昆虫的资源保护需加强 昆虫对维持生态环境的稳定起着重要作用。在发展食用昆虫产业的同时,应加强对食用昆虫资源的保护,如通过人工饲养,建立保护基地等方式做到可持续发展。

3) 食用昆虫蛋白的消费认知有待提高。

4) 养殖和深加工技术有待突破 目前世界各国食用昆虫产业的规模都较小,无法满足市场需求。

## 参 考 文 献

- [1] VAN HUIS A, VAN ITTERBEECK J, KLUNDER H, et al. Edible insects: future prospects for food and feed security[M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013: 16-191.
- [2] VINCI G, RAPA M, SACCAVINO S. Edible insects: a possible answer to food security[J]. *Industrie Alimentari*, 2019, 58(601): 5-10.
- [3] STULL V J, FINER E, BERGMANS R S, et al. Impact of edible cricket consumption on gut microbiota in healthy adults, a double-blind, randomized crossover trial[J]. *Scientific Reports*, 2018, 8(1): 10762.
- [4] NAKAGAKI B J, DEFOLIART G R. Comparison of diets for mass-rearing acheta-domesticus (Orthoptera, gryllidae) as a novelty food, and comparison of food conversion efficiency with values reported for livestock[J]. *Journal of Economic Entomology*, 1991, 84(3): 891-896.
- [5] OONINCX D G A B, VAN ITTERBEECK J, HEETKAMP M J W, et al. An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption[J]. *PloS One*, 2010, 5(12): e14445.
- [6] 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.  
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.
- [7] VAN ITTERBEECK J, ANDRIANAVALONA I N R, RAJEMISON F I, et al. Diversity and use of edible grasshoppers, locusts, crickets, and katydids (Orthoptera) in madagascar [J]. *Foods*, 2019, 8(12): 19.
- [8] DEFOLIART G R. Insects as food: why the western attitude is important[J]. *Annual Review of Entomology*, 1999, 44: 21-50.
- [9] BROTHWELL D R, BROTHWELL D R, BROTHWELL P. Food in antiquity: a survey of the diet of early peoples[M]. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1998: 209.
- [10] 杨大荣. 云南食用昆虫资源与民族食虫文化[J]. *应用昆虫学报*, 1999, 32(2):122-125.  
YANG D R. Edible insect resources and ethnic insect-eating culture in Yunnan[J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 1999, 32(2): 122-125.
- [11] 杨星荧. 广东人的食虫习俗[J]. *岭南文史*, 1991(3): 46.  
YANG X Y. Guangdong people's insect-eating customs[J]. *Lingnan Culture and History*, 1991(3): 46.
- [12] 李莉,何婧. 昆虫食品产业的潜力分析[J]. *安徽农业科学*, 2015, 43(17): 326-327, 329 .  
LI L, HE J. Potential analysis of insect food industry[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2015, 43(17): 326-327, 329.
- [13] SINGH M O K, BABU S. Cultural entomology and edible insect diversity in a wetland ecosystem: a case study from the loushi pat basin, Manipur[J]. *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 2021, 20(1): 180-190.

- [14] MITSUHASHI J. Insects as traditional foods in Japan [J]. *Ecology of Food and Nutrition*, 1997, 36(2/3/4): 187-199.
- [15] HANBOONSONG Y, JAMJANYA T, DURST P B, et al. Six-legged livestock: edible insect farming, collecting and marketing in Thailand[M]. Bangkok: RAP publication, 2013: 8-21.
- [16] HURD K J, SHERTUKDE S, TOIA T, et al. The cultural importance of edible insects in Oaxaca, Mexico[J]. *Annals of the Entomological Society of America*, 2019, 112(6): 552-559.
- [17] 卓志航, 杨伟, 徐丹萍, 等. 浅析食用昆虫的资源价值[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(17): 390-394.  
ZHUO Z H, YANG W, XU D P, et al. Analysis of resource value of edible insect[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2014, 35(17): 390-394.
- [18] RAMOS-ELORDUY J, MORENO J M P, PRADO E E, et al. Nutritional value of edible insects from the state of Oaxaca, Mexico [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 1997, 10(2): 142-157.
- [19] 胡木林, 黄永莲, 何宁, 等. 家蚕蛹营养成分分析 [J]. *湛江师范学院学报*, 2005, 26(3): 33-36.  
HU M L, HUANG Y L, HE N, et al. An analysis of nutritional components of the pupae of silkworm, *Bombyx mori* (Lepidoptera: Bombycidae)[J]. *Journal of Zhanjiang Teachers College*, 2005, 26(3): 33-36.
- [20] 冯颖, 陈晓鸣, 叶寿德, 等. 同翅目几种食用昆虫记述及营养分析[J]. *林业科学研究*, 1999, 12(5): 515-518.  
FENG Y, CHEN X M, YE S D, et al. Records of four species edible insects in homoptera and their nutritious elements analysis[J]. *Forest Research*, 1999, 12(5): 515-518.
- [21] 刘绍鹏, 贺峰, 凤舞剑, 等. 鳞翅目可食用昆虫研究进展[J]. *现代农业科技*, 2017(22): 239-240, 245.  
LIU S P, HE F, FENG W J, et al. Progress in the study on edible insects of Lepidoptera[J]. *Light Industry Science and Technology*, 2017(22): 239-240, 245.
- [22] 叶兴乾, 胡萃, 王向. 六种鳞翅目昆虫的食用营养成分分析[J]. *营养学报*, 1998, 20(2): 109-113.  
YE X Q, HU C, WANG X. Analysis of nutritional component of six species of insects of Lepidoptera[J]. *Acta Nutrimenta Sinica*, 1998, 20(2): 109-113.
- [23] 苟梦星, 王岚, 翟江洋, 等. 昆虫蛋白的功能特性及其应用研究现状[J]. *肉类工业*, 2022(4): 49-53.  
GOU M X, WANG L, ZHAI J Y, et al. Research status of functional characteristics and application of insect proteins[J]. *Meat Industry*, 2022(4): 49-53.
- [24] CHUNHUA D, HAILE M, LIN L, et al. Angiotensin I-converting enzyme (ACE) inhibitory peptide derived from *Tenebrio molitor* (L.) larva protein hydrolysate[J]. *European Food Research and Technology*, 2013, 236(4): 681-689.
- [25] PRIYANTO A D, DOERKSEN R J, CHANG C I, et al. Screening, discovery, and characterization of angiotensin-I converting enzyme inhibitory peptides derived from proteolytic hydrolysate of bitter melon seed proteins[J]. *Journal of Proteomics*, 2015, 128: 424-435.
- [26] ELEFATHERIANOS I, ZHANG W, HERYANTO C, et al. Diversity of insect antimicrobial peptides and proteins- A functional perspective: a review[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2021, 191: 277-287.
- [27] HALL F, JOHNSON P E, LICEAGA A. Effect of enzymatic hydrolysis on bioactive properties and allergenicity of cricket (*Gryllosides sigillatus*) protein[J]. *Food Chemistry*, 2018, 262: 39-47.
- [28] RUMPOLD B A, SCHLUTER O K. Nutritional composition and safety aspects of edible insects[J]. *Molecular Nutrition & Food Research*, 2013, 57(5): 802-823.
- [29] WOMENI H M, LINDER M, TIENCHEU B, et al. Oils of insects and larvae consumed in Africa: potential sources of polyunsaturated fatty acids [J]. *Oilseeds and Fats, Crops and Lipids*, 2009, 16(4/5/6): 230-235.
- [30] YHOUNGAREE J, PUWASTIEN P, ATTIG G A. Edible insects in Thailand: An unconventional protein source? [J]. *Ecology of Food and Nutrition*, 1997, 36(2/3/4): 133-149.
- [31] 屈小雨, 李敏, 李海澜, 等. 可食用昆虫的研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(23): 204-210.  
QU X Y, LI M, LI H L, et al. Edible insects research progress[J]. *Food Research and Development*, 2021, 42(23): 204-210.
- [32] MINTAH B K, HE R H, AGYEKUM A A, et al. Edible insect protein for food applications: Extraction, composition, and functional properties[J]. *Jour-*

- nal of Food Process Engineering, 2020, 43(4): 12.
- [33] 郑思敏, 黄先智, 沈以红. 可食性昆虫的食用安全性和营养评价及开发利用研究进展[J]. 蚕业科学, 2019, 45(2): 293-299.
- ZHENG S M, HUANG X Z, SHENG Y H. A review on food safety, nutrition evaluation and utilization of edible insects [J]. Science of Sericulture, 2019, 45(2): 293-299.
- [34] 陈惠娟, 廖森泰, 刘吉平. 昆虫蛋白资源的利用研究概况[J]. 广东农业科学, 2011, 38(19): 105-108.
- CHEN H J, LIAO S T, LIU J P. Overview of research on the utilization of insect protein resources [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2011, 38(19): 105-108.
- [35] 张芮娇, 朱静静, 刘绍芳, 等. 竹虫蛋白的碱法提取及功能性质测定[J]. 食品工业, 2020, 41(8): 148-152.
- ZHANG R J, ZHU J J, LIU S F, et al. Alkaline extraction of *Omphisa fuscidentalis* hampson protein and determination of its functional properties[J]. The Food Industry, 2020, 41(8): 148-152.
- [36] MELGAR-LALANNE G, HERNANDEZ-ALVAREZ A J, SALINAS-CASTRO A. Edible insects processing: traditional and innovative technologies[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2019, 18(4): 1166-1191.
- [37] MISHYNA M, MARTINEZ J J I, CHEN J S, et al. Extraction, characterization and functional properties of soluble proteins from edible grasshopper (*Schistocerca gregaria*) and honey bee (*Apis mellifera*) [J]. Food Research International, 2019, 116: 697-706.
- [38] JENSEN A B, EVANS J, JONAS-LEVI A, et al. Standard methods for *Apis mellifera* brood as human food[J]. Journal of Apicultural Research, 2019, 58(2): 1-28.
- [39] KINYURU J N, KENJI G M, NJOROGE M S. Process development, nutrition and sensory qualities of wheat buns enriched with edible termites (*Macrotermes subhyllanus*) from lake victoria region, Kenya[J]. African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development, 2009, 9(8): 1739-1750.
- [40] SMETANA S, LARKI N A, PERNUTZ C, et al. Structure design of insect-based meat analogs with high-moisture extrusion[J]. Journal of Food Engineering, 2018, 229: 83-85.
- [41] 原国辉, 郑祥义. 食用昆虫蛋白资源的开发利用概况[J]. 昆虫知识, 1991, 28(2): 122-124.
- YUAN G H, ZHENG X Y. Overview of the development and utilization of edible insect protein resources[J]. Entomological Knowledge, 1991, 28(2): 122-124.
- [42] FENG Y, ZHAO M, DING W F, et al. Overview of edible insect resources and common species utilization in China[J]. Journal of Insects as Food and Feed, 2020, 6(1): 13-25.
- [43] PIPPINATO L, GASCO L, DI VITA G, et al. Current scenario in the European edible-insect industry: a preliminary study [J]. Journal of Insects as Food and Feed, 2020, 6(4): 371-381.
- [44] BERMUDEZ-SERRANO I M. Challenges and opportunities for the development of an edible insect food industry in Latin America[J]. Journal of Insects as Food and Feed, 2020, 6(5): 537-556.
- [45] CHERRY R H. Use of insects by Australian aborigines[J]. American Entomologist, 1991, 37(1): 8-13.
- [46] 穆利霞, 廖森泰, 肖更生, 等. 蚕蛹蛋白综合利用研究进展[J]. 广东农业科学, 2011, 38(23): 106-109.
- MU L X, LIAO S T, XIAO G S. et al. Research status of development and utilization for silkworm pupa protein [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2011, 38(23): 106-109.
- [47] STULL V J, WAMULUME M, MWALUKANGA M I, et al. 'We like insects here': entomophagy and society in a Zambian village[J]. Agriculture and Human Values, 2018, 35(4): 867-883.
- [48] EUN-SUN P, MI-KYEONG C. Recognition, purchase, and consumption of edible insects in Korean adults[J]. Journal of Nutrition and Health, 2020, 53(2): 190-202.
- [49] OLUM S, WESANA J, MAWADRI J, et al. Insects as food: Illuminating the food neophobia and socio-cultural dynamics of insect consumption in Uganda [J]. International Journal of Tropical Insect Science, 2021, 41(3): 2175-2184.
- [50] WADE M, HOELLE J. A review of edible insect industrialization: scales of production and implications for sustainability [J]. Environmental Research Letters, 2020, 15(12): 17.
- [51] HALONEN V, UUSITALO V, LEVANEN J, et al. Recognizing potential pathways to increasing the



- consumption of edible insects from the perspective of consumer acceptance: case study from Finland[J]. Sustainability, 2022, 14(3): 21.
- [52] VARELAS V. Food wastes as a potential new source for edible insect mass production for food and feed: a review[J]. Fermentation, 2019, 5(3): 19.
- [53] STULL V, PATZ J. Research and policy priorities for edible insects[J]. Sustainability Science, 2020, 15(2): 633–645.
- [54] PENER M P. Allergy to locusts and acridid grasshoppers: A review[J]. Journal of Orthoptera Research, 2014, 23(1): 59–67.
- [55] 陈义昆, 邹玉兰, 刘志刚. 东亚飞蝗主要过敏原的分析、鉴定与纯化[J]. 应用昆虫学报, 2012, 49(1): 244–247.
- CHEN Y K, WU Y L, LIU Z G. Purification and identification of allergens in *Locusta migratoria manilensis*[J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2012, 49(1): 244–247.
- [56] 张杰, 刘志刚, 林格, 等. 家蚕蚕蛹变应原的鉴定、分离与纯化[J]. 热带医学杂志, 2006, 6(5): 496–498.
- ZHANG J, LIU Z G, LIN G, et al. Identification and purification of protein allergens from pupa of *Bombyx mori*[J]. Journal of Tropical Medicine, 2006, 6(5): 496–498.
- [57] FRANCIS F, DOYEN V, DEBAUGNIES F, et al. Limited cross reactivity among arginine kinase allergens from mealworm and cricket edible insects[J]. Food Chemistry, 2019, 276: 714–718.
- [58] 何剑中, 张荣, 童清, 等. 云南民族地区食用松毛虫的调查[J]. 林业科学研究, 1998(4): 57–62.
- HE J Z, ZHANG R, TONG Q, et al. Investigation on using pine caterpillars (*Dendrolimus* spp.) as food in Yunnan minor nationality areas[J]. Forest Research, 1998(4): 57–62.
- [59] 张贵印, 焦平, 张洁, 等. 豆蔻薯中毒治验[J]. 辽宁中医杂志, 1990(3): 22.
- ZHANG G Y, JIAO P, ZHANG J, et al. Treatment of bean parsley poisoning[J]. Liaoning Journal of Traditional Chinese Medicine, 1990(3): 22.
- [60] DZEREFOS C M, WITKOWSKI E T F, TOMS R. Comparative ethnoentomology of edible stinkbugs in Southern Africa and sustainable management considerations[J]. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine, 2013, 9(20): 9–20.
- [61] 李玲, 龙悦, 丁晓雯, 等. 木薯蚕蛹的急性毒性与遗传毒性[J]. 食品与机械, 2017, 33(4): 49–53.
- LI L, LONG Y, DING X W, et al. The acute toxicity and genotoxicity of cassava silkworm pupa[J]. Food & Machinery, 2017, 33(4): 49–53.
- [62] VIJVER M, JAGER T, POSTHUMA L, et al. Metal uptake from soils and soil-sediment mixtures by larvae of *Tenebrio molitor* (L.) (Coleoptera)[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2003, 54(3): 277–289.
- [63] 蒋筠雅, 赵敏, 何钊, 等. 六种食用蜻蜓稚虫营养成分分析和评价[J]. 生物资源, 2017, 39(5): 352–359.
- JIANG Y Y, ZHAO M, HE Z, et al. Nutrition composition and evaluation of six edible dragonfly naiads[J]. Biotic Resources, 2017, 39(5): 352–359.
- [64] 张存海, 陈国华, 李正跃, 等. 3种昆虫对蔬菜农药残留的敏感性对比试验[J]. 云南农业大学学报, 2005, 20(2): 201–203, 208.
- ZHANG C H, CHEN G H, LI Z Y, et al. The comparative tests of sensitiveness on the three insects to pesticides residues in vegetables[J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2005, 20(2): 201–203, 208.
- [65] 张美玲, 徐昆龙, 肖蓉, 等. 笋蠹食用安全性的卫生学研究[J]. 中国食品卫生杂志, 2006, 18(1): 26–28.
- ZHANG M L, XU K L, XIAO R, et al. Research on safety edible of bamboo moth[J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2006, 18(1): 26–28.
- [66] 陈涛, 刘嘉蓉, 刘勇, 等. 我国家居蜚蠊细菌的研究[J]. 微生物学通报, 1997, 24(6): 347–349.
- CHEN T, LIU J R, LIU Y, et al. Studies on the bacteria of domestic cockroaches in China[J]. Microbiology China, 1997, 24(6): 347–349.



## Resource Characteristics and Development Prospects of the Proteins from Edible Insects

Zhu Fen<sup>1,2</sup>, Shi Zhihui<sup>1,2</sup>

*(<sup>1</sup>College of Plant Science & Technology of Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070*

*<sup>2</sup>Shenzhen Branch, Guangdong Laboratory for Lingnan Modern Agriculture, Genome Analysis Laboratory of the Ministry of Agriculture, Agricultural Genomics Institute at Shenzhen, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Shenzhen 518120, Guangdong)*

**Abstract** Insect protein is a novel type of protein resource. Because of rich varieties and sustainable development insect protein may answer the requirements of the 'Greater Food Approach'. In this paper, resource characters, development dynamics and processing methods of edible insect protein were reviewed. The factors limiting the development process were analyzed. This may help to offer a scientific basis for the exploration and utilization of edible insect protein resource.

**Keywords** edible insect; edible insect protein; nutritional value; safety; industrial development