

赵彤,王宣,吴黎明,等. 发酵蜂产品研究进展 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(14): 461–466. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021070251

ZHAO Tong, WANG Xuan, WU Liming, et al. Research Progress of Fermented Bee-products[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(14): 461–466. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021070251

· 专题综述 ·

发酵蜂产品研究进展

赵彤¹, 王宣¹, 吴黎明¹, 延莎^{1,2}, 卢焕仙³, 赵洪木^{3,*}, 薛晓锋^{1,*}

(1. 中国农业科学院蜜蜂研究所, 北京 100093;

2. 山西农业大学食品科学与工程学院, 山西太谷 030801;

3. 云南省农业科学院蚕桑蜜蜂研究所, 云南蒙自 661100)

摘要: 蜂产品, 即与蜜蜂相关的产品, 包括蜂蜜、蜂花粉、蜂王浆等。发酵蜂产品指以蜂产品为原料, 通过发酵作用所得产品, 如蜂花粉面包、蜂蜜酒等, 其营养丰富、口味独特。发酵蜂产品较蜂产品有更多优势, 如含糖量低、致敏性蛋白少、易吸收、口感佳等。但由于诸多因素限制, 相对于其他发酵产品, 发酵蜂产品发展缓慢。因此, 总结分析发酵蜂产品的发展现状及技术应用前景, 对我国蜂产业发展及综合利用意义重大。文章综述了发酵蜂产品的种类和特征, 针对发酵蜂产业现存的问题提出了改进方法, 以期发酵蜂产品的开发利用提供参考。

关键词: 蜂产品, 发酵, 营养功能, 研究进展

中图分类号: TS205.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)14-0461-06

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021070251



本文网刊:

Research Progress of Fermented Bee-products

ZHAO Tong¹, WANG Xuan¹, WU Liming¹, YAN Sha^{1,2}, LU Huanxian³, ZHAO Hongmu^{3,*}, XUE Xiaofeng^{1,*}

(1. Institute of Apicultural Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100093, China;

2. College of Food Science and Engineering, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China;

3. Sericultural and Apicultural Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Science, Mengzi 661100, China)

Abstract: Bee-products are the kinds of products which relate to bees, include honey, bee pollen, royal jelly, etc. Fermented bee-product is a kind of added-value product by microbial fermentation. There are many types of fermented bee-products such as honey wine, royal jelly yoghurt and royal jelly beer, etc. Fermented bee-products are rich in nutrition and unique in taste. Fermented bee-products have more advantages than raw bee-product materials, such as lower sugar content, less allergenic protein, easier absorption, better taste, etc. Compared with other fermented products, the development of fermented bee-products is slow. Therefore, it is significant to summarize and analyze the development status and application prospect of fermented bee-product for the development and comprehensive utilization of the bee industry in China. In this paper, the types and characteristics of fermented bee-products are reviewed, and the improvement methods for the existing problems of fermentation bee industry are put forward. The purpose is to provide reference for the development and utilization of fermented bee-products.

Key words: bee-products; fermentation; nutritional function; research progress

发酵食品是以农副产品为原料, 利用微生物发酵生产的产品, 即通过微生物的生长代谢赋予食品营养、香味, 并延长食品保质期的加工食品^[1]。发酵食品是日常饮食的重要组成部分, 约占人们饮食的三分

之一^[2]。传统发酵食品大多凭借经验操作, 缺乏规范的指导, 过程难以控制。现代发酵技术结合了传统发酵技术和现代生物技术, 使发酵工艺更趋向于多元化的复合菌株发酵, 温湿度等相关指标更易控制, 菌种

收稿日期: 2021-07-22

基金项目: 所企合作创新项目 (MFSHTK-CS-2020088); 所企合作创新项目 (202005AF150027)。

作者简介: 赵彤 (1994-), 女, 博士研究生, 研究方向: 农产品质量与食物安全, E-mail: m13583224087_1@163.com。

* 通信作者: 赵洪木 (1969-), 男, 本科, 高级实验师, 研究方向: 蜜蜂养殖及蜂产品研发, E-mail: 774050097@qq.com。

薛晓锋 (1979-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 蜂产品质量与安全, E-mail: xue_xiaofeng@126.com。

生长情况更易监测,显著提高了发酵食品的稳定性和安全性^[3-5]。由于发酵食品营养丰富,更易吸收,颇受消费者青睐,市场空间广阔。

蜂产品,是蜜蜂为了生存与繁衍后代,向大自然索取原料后,进行加工的产品,如蜂蜜、蜂花粉、蜂王浆等。蜂产品营养丰富,是食品行业的重要原料,其基础研究和产品开发也是研究热点^[6]。随着我国经济的高速发展和健康生活方式的流行,蜂产品中天然活性物质和保健功能恰好迎合消费者喜爱,进一步促进了蜂产品的发展^[7-8]。我国是蜂业大国,蜂群数量占世界的 1/8,蜂蜜产量占世界的 1/4,蜂王浆总量占世界 90%^[9]。但我国蜂产品的消费水平仅为日本、美国等国家的十几分之一,这与我国蜂产品消费习惯有关,也与我国蜂产品的利用和深加工水平相对落后相关^[10]。

发酵蜂产品指以蜂产品为原料,加以其它原料、辅料和添加剂,在适当的温度、湿度、酸碱度和水分等条件下,利用微生物发酵所获得的产品。发酵蜂产品主要依赖微生物的转化作用,改善蜂产品的风味,提高蜂产品的有效成分种类和含量,强化蜂产品的营养功能。发酵蜂产品被认为是新型的健康、营养导向型产品^[11]。蜂粮是植物花粉、蜂蜜和蜜蜂唾液的发酵混合物,是天然的发酵蜂产品,也是营养最丰富的蜂产品^[12]。已有研究表明,蜂粮不仅含有蜜蜂幼虫生长所需的全部营养物,而且含有大量益生菌,可促进蜜蜂肠道菌群保持稳定和平衡^[13]。受天然发酵蜂产品—蜂粮的启发,人们通过微生物发酵了蜂花粉、蜂蜜和蜂王浆,生产了多种发酵蜂产品。但我国发酵蜂产品的规模化、标准化尚未完善,工艺简单,产品质量不稳定,发酵蜂产品的受众窄,市场规模小。因此,改善发酵蜂产品的生产工艺,实现标准化生产,完善发酵蜂产品的评价标准,对提高发酵蜂产品竞争力和相关高附加值产品的开发具有重要意义。

本文对蜂产品和发酵蜂产品的种类,发酵蜂产品的常用菌种,发酵蜂产品的特征、现存问题及改进方法进行综述,以期对发酵蜂产品的发展提供参考。

1 蜂产品的分类及化学成分

按照来源和生产过程,蜂产品可分为 3 类:一是蜜蜂采集天然植物类原料,经复杂的生理生化过程加工而成,如蜂蜜、蜂花粉和蜂胶等;二是由蜜蜂体内某些腺体分泌而来,如蜂王浆、蜂蜡、蜂毒;三是蜜蜂本身,如蜜蜂幼虫、蜂蛹、成虫。蜂产品营养丰富,含多种糖类、蛋白质、酚酸和功能脂类物质,具有提高人体免疫能力、增强记忆力、缓解疲劳等功效,是大自然赋予人们的珍贵礼物,这为进一步通过发酵改善蜂产品的风味和营养功能奠定了坚实的原料基础^[12,14-15]。常见蜂产品及其组分见表 1。

2 发酵蜂产品类型及常用菌种

随着发酵业和蜂产业的蓬勃发展,发酵蜂产品的研究也逐渐增多,现已报道的发酵蜂产品包括发酵蜂花粉产品、发酵蜂蜜产品和发酵蜂王浆产品,产品类型有酒类、面包类、乳品类等。大多发酵蜂产品停留在实验室水平,应用到实际生产的种类较少,现市面在售的发酵蜂产品有蜂蜜面包、蜂蜜酒、蜂王浆酒等。下文对发酵蜂产品进行简单介绍。

2.1 发酵蜂花粉产品

目前,关于发酵蜂花粉产品的研究主要集中在工艺参数的优化方面,投入市售的产品较少,引起的关注度较低。刘玳瑶等^[27]通过单因素实验和响应面设计优化了发酵柚子蜂花粉酱的生产工艺,制得的蜂花粉酱颜色金黄,口感酸甜,具有独特的花粉香,并增加了其厚重感。蜂花粉本身即作为一种良好的益生元,具有促进益生菌增殖、调节宿主免疫力等功效,最早的蜂花粉产品可能为蜂花粉酒^[13]。基于当今社会膳食营养补充剂的发展,我国已成为亚洲第一消费市场,蜂花粉和发酵蜂花粉产品也不例外,具有广阔的

表 1 常见蜂产品及其组分

Table 1 Common bee-products and their components

蜂产品	定义	组分	参考文献
蜂蜜	是蜜蜂采集植物花蜜、分泌物或蜜露,与自身分泌物混合后,经酿造而成的天然甜物质。	其中糖类占75%~80%,另含有酚类物质、无机酸、氨基酸、酶类、芳香物质、矿物质、维生素等。	[6,16]
蜂王浆	是年轻工蜂的下咽和下颌腺分泌的一种微酸性(pH3.5~4.5)物质。	含水分60%~70%,碳水化合物7%~18%,蛋白质9%~18%,脂类3%~8%,矿物质盐1%~3%和一定量未明确物质。	[16~17]
蜂花粉	是蜜蜂采集植物花蕊中的花粉,添加花蜜及其分泌物混合而成的不规则团状物。	含蛋白质10%~52%,碳水化合物20%~80%(主要为葡萄糖和果糖),脂类15%~20%,膳食纤维3%~20%,另含有少量微量元素、必需氨基酸等。	[18~21]
蜂毒	指工蜂尾部螫刺毒腺和副腺分泌出的具有芳香气味的淡黄色透明毒液。	干物质中含有肽类70%~80%,灰分3.67%。	[16]
蜂蜡	是工蜂蜡腺分泌的复杂有机化合物。	含有单脂类和羟基脂类71%,游离脂肪酸10%~14.5%,饱和脂肪酸9.1%~10.9%,游离脂肪醇1%~1.25%,肉豆蔻内酯0.6%,着色剂0.3%。	[16,22]
蜂蛹	是胡蜂、黄蜂、黑蜂、土蜂等野蜂的幼虫和蛹。	含粗蛋白41.5%~63.1%、粗脂肪15.7%~26.1%、碳水化合物3.7%~11.6%,另含有丰富的矿物质、维生素、酶类和激素类等活性物质。	[16,23]
蜂胶	是工蜂采集胶源植物的树脂与其上颚腺、蜡腺等分泌物混合而成的具有黏性的固体胶状物。	含树脂树香复合物39%~53%、多酚类12%~17%、多糖2%~3%、蜂蜡19%~35%、杂质(含花粉等)8%~12%。	[24]
蜂粮	是蜜蜂采集的花粉咬碎夯实加蜂蜜之后,在微生物作用下形成的自然发酵产物。	含水分11.4%~15.9%、碳水化合物24%~34%、灰分1.90%~2.54%、蛋白质14.8%~24.3%、脂肪5.9%~11.5%、纤维素2.7%、另含有维生素等。	[11,25~26]

市场前景。吴昊远^[28]结合了油松松花粉和乳饮料的优点,研制了油松松花粉乳饮料,较普通乳饮料,该产品的维生素 C 和黄酮含量显著升高,具有更高的营养和功能价值。

2.2 发酵蜂蜜产品

蜂蜜是天然的甜味物质,含有大量的碳水化合物,可为微生物发酵提供充足的碳源。发酵蜂蜜产品的常用微生物为酵母菌和乳酸菌,常见产品有蜂蜜酒、蜂蜜面包和蜂蜜乳等。最常见的发酵蜂蜜产品为蜂蜜酒,我国是世界上最先酿制蜂蜜酒的国家之一,但目前国内蜂蜜酒的销量仅占酒品市场的小部分,并且,早在 80 年代,就已出现英国进口蜂蜜酒,可见,蜂蜜酒的研制和创新势在必行。受传统观念的影响,国内消费者更偏好高度白酒,因此,高度蜂蜜酒和蜂蜜保健酒的酿制可作为蜂蜜酒方面的研究方向。李敏杰等^[29]通过优化发酵温度、pH、酵母添加量和通气量,研制了攀枝花土蜂蜜酒,该产品颜色金黄,有蜂蜜的清香和酒的醇厚,该研究可为地方蜂产品的开发提供参考。

2.3 发酵蜂王浆产品

由于蜂王浆口感酸涩,略带辣味^[30],导致其发酵产品较少,仅有蜂王浆酒和蜂王浆发酵乳。因此,发酵蜂王浆产品的研发重点应致力于特殊口感的去除或遮掩,以及耐低 pH 发酵菌种的筛选或改造。Atallah 等^[31]将蜂王浆和蜂花粉加入到牛乳和水牛乳中共同发酵,发现和对照组相比,添加了蜂王浆和蜂花粉的发酵乳储存 21 d 后的脱水收缩现象显著降低,产品质地更加均匀。

表 2 列举了常见发酵蜂产品类型及选用菌种。

3 发酵蜂产品的特点

发酵蜂产品的生产应用了微生物发酵技术,发酵产物营养丰富、风味独特。通过发酵技术,可降低蜂产品中的致敏性蛋白,如蜂王浆主蛋白 1(Major royal jelly protein 1, MRJP1)和 2(Major royal jelly

protein 2, MRJP2)^[51],蜂花粉中一些分子量为 20~40 kD 的酸性蛋白等。乔琳^[52]通过蜂花粉发酵和电泳实验,发现发酵后蜂花粉中 20~40 kD 的致敏性蛋白消失,说明发酵后蜂花粉的致敏性可能被消除。发酵蜂产品的具体特点如下:

提高吸收利用率。通过发酵作用,微生物可将蜂产品中的大分子量蛋白质分解为较小分子量多肽或氨基酸,更易消化吸收^[53-54]。Audisio 等^[55]研究发现发酵后蜂粮较蜂花粉包含更多的多肽。另外,蜂花粉外壁是一种天然的保护屏障,主要成分是孢粉素,该物质有弹性,坚固,影响蜂花粉内部营养素的释放,使得蜂花粉的营养只有 10%~15% 被人们消化利用,而发酵作用可有效破坏蜂花粉外壁,已有研究发现,通过食用菌深层发酵,蜂花粉破壁率可达 60%~80%^[56-57]。

改善口感。通过发酵作用,可提高蜂产品中呈味物质的含量,如酪氨酸、苯丙氨酸和芳香烃等,进而改善口感,提高消费者的可接受度。Mendes-Ferreira 等^[58]通过气相色谱串联质谱(Gas Chromatography-Mass Spectrometry, GC-MS)评估了酿酒酵母 UCD522 发酵蜂蜜酒中的 16 种风味物质,证明了酵母代谢产物对蜂蜜酒香味的巨大作用,另发现,添加磷酸二铵(DAP)可促进蜂蜜酒中风味物质的产生。Conte 等^[38]研究发现,添加蜂花粉的面包较空白组含有更多呋喃,该物质与令人愉快的香味有关,可改善面包的芳香度。

延长保质期。发酵制品中的大量有益菌对致病菌和腐败菌有竞争性抑制作用,因此,通过发酵作用可延长蜂产品的保质期,是蜂产品贮存的重要方法之一。Kaškonienė等^[59]研究发现蜂花粉发酵后,对黄体微球菌、金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的抑制性提高了 1.08~16.9 倍,对娄地青霉菌的抑制性提高了 1.96~5.52 倍。Yerlikaya 等^[35]研究发现,将 10~20 mg/mL 花粉和牛乳共同发酵后,在不影响感官特性的前提下,产品表现出明显抗菌性。

表 2 常见发酵蜂产品类型及选用菌种
Table 2 Types of common fermented bee-products and selected strains

类型	产品类型	菌种	参考文献
发酵蜂花粉产品	蜂花粉饮料	保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌、植物乳杆菌、嗜酸乳杆菌、纳豆芽孢杆菌、红茶菌	[32-33]
	蜂花粉酸奶	嗜酸乳杆菌、动物双歧杆菌、乳酸链球菌、嗜热链球菌、保加利亚乳杆菌	[34-36]
	蜂花粉面包	酵母菌	[37-38]
	蜂花粉酒	葡萄酒酵母	[39]
	蜂花粉酱	嗜热链球菌、保加利亚乳杆菌、干酪乳杆菌、副干酪乳杆菌、乳双歧杆菌、两歧双歧杆菌、嗜酸乳杆菌、植物乳杆菌、瑞士乳杆菌、鼠李糖乳杆菌	[27]
发酵蜂蜜产品	蜂蜜酒	葡萄酒酵母、酿酒酵母、戴尔凯式有孢圆酵母、香槟酵母、德氏乳杆菌	[40-41]
	蜂蜜饮料	酿酒酵母、葡萄糖杆菌、嗜酸乳杆菌、保加利亚乳杆菌、嗜热链球菌	[42-43]
	蜂蜜发酵乳	嗜热链球菌、保加利亚乳杆菌、嗜酸乳杆菌	[44-45]
	蜂蜜面包	酵母菌	[46]
	复合酵素	酿酒酵母、植物乳杆菌	[47-48]
发酵蜂王浆产品	蜂王浆啤酒	上面酵母、下面酵母	[49]
	蜂王浆发酵乳	嗜酸乳杆菌、加氏乳杆菌、鼠李糖乳杆菌和角双歧杆菌	[31,50]

提高功能性。发酵蜂产品较蜂产品具有更好的功能性,如抗氧化性、抗肿瘤和护肝等^[60-61]。Vilma等^[62]研究发现,采用鼠李糖乳杆菌 LGG 对蜂花粉进行发酵后,其黄酮含量增加 1.6~2.4 倍,总酚类含量增加 1.1~1.4 倍,而黄酮和酚类对抗氧化活性有非常积极的影响。

提高营养价值。发酵蜂产品通过微生物的新陈代谢,可提高蜂产品中部分营养成分的含量,还可能产生蜂产品本身不具备的营养物。Human 等^[63]研究发现,发酵后蜂粮较蜂花粉含有更多的必需氨基酸。

4 发酵蜂产品行业的现存问题

虽然我国是蜂产品产量大国,但国内的新品研发及工艺改进等方面还存在诸多尚未解决的问题,如适合蜂产品发酵的微生物选育、安全与质量标准的起草和实施、加工工艺与配方的优化、蜂产品发酵产物对人体的影响等方面都有待进一步研究。另外,由于地方重视程度、饮食习惯差异等因素的影响,使得发酵蜂产品的工业化进程比较缓慢。针对上述问题,发酵蜂产品的研究可从以下几方面改进:

a.通过调查分析我国居民的消费趋势,研发适应消费者的特色发酵蜂产品,选择更受欢迎的销售方式和渠道。通过研究和探讨国外蜂产品发酵业的实践与经验,学习并借鉴国际先进的科学思路,提高我国发酵蜂产品的综合竞争力,早日实现我国发酵蜂产业的现代化。

b.加大科研投入力度,结合发酵剂制作技术,研究适合蜂产品的特种发酵剂,并保证其稳定性和安全性。通过基因重组技术,开发具有特殊功能性的微生物发酵剂,为功能型发酵蜂产品的开发奠定原料基础。

c.解决高新技术问题,加强自主创新,结合新型干燥、杀菌和分离等技术,开发合理而先进的生产工艺,研制可靠的机械设备,提高机械化水平,扩大生产规模。

d.深入研究发酵蜂产品的功能性及作用机制,结合多组学技术,探讨功能组分的代谢路径及安全性,对其功能性进行科学评价。

e.健全发酵蜂产品的生产和产品标准建设,加强质量控制和市场监测,提高质量安全追溯制度,结合先进的质量控制技术,建造发酵蜂产品的质量控制和应急管理系统,保障发酵蜂产业的健康发展。

5 展望

新时代,随着人们生活水平的提高,饮食习惯发生改变,天然、绿色产品更符合消费者理念,蜂产品正满足人们需求,消费人群逐渐扩大,发酵蜂产品也不例外,具有广阔的市场空间。但是,基于部分蜂产品特殊的物理性质,常用的微生物发酵剂并不适用于全部蜂产品,因此,可应用现代微生物技术,改进发酵剂的生产工艺,制备适合蜂产品的特种发酵剂。另外,发酵是一个复杂的过程,关于蜂产品发酵的代谢机理,以及发酵蜂产品的安全性和功能性,可借助基

因重组技术、代谢组学技术和高通量技术进一步深入研究,为发酵蜂产品的健康发展,提供可靠的理论依据。发酵蜂产品的发展不仅可以带动蜂产业的发展,减少蜂产品的浪费,还可以推动乡村振兴的进程,进一步带动我国农业经济和国民经济的发展。

参考文献

- [1] 夏傲喃,李建华,林祥娜,等.发酵食品微生物多样性分析方法研究进展[J].食品研究与开发,2021,42(4):220-224. [XIA A N, LI J H, LIN X N, et al. Research progress on analysis methods of microbial diversity in fermented foods[J]. Food Research and Development, 2021, 42(4): 220-224.]
- [2] 程池.发酵食品[J].食品与发酵工业,2019,45(15):2. [CHENG C. Fermented foods[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(15): 2.]
- [3] LI L, WANG L, FAN W, et al. The application of fermentation technology in traditional Chinese medicine: A review[J]. The American Journal of Chinese Medicine, 2020, 48(4): 1-23.
- [4] BJM A, HK B, MZ C, et al. Effects of metabolite changes during lacto-fermentation on the biological activity and consumer acceptability for dragon fruit juice[J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 121: 108992.
- [5] ADESULU-DAHUNSI A T, JEYARAM K, SANI A I. Probiotic and technological properties of exopolysaccharide producing lactic acid bacteria isolated from cereal-based nigerian fermented food products[J]. Food Control, 2018, 92: 225-231.
- [6] 乔惠田,黄潇潇,逯永瑞,等.花蜜酒发酵工艺优化及成分分析[J].食品工业科技,2021,42(21):25-32. [QIAO H T, HUANG X X, TI Y R, et al. Fermentation process optimization and component analysis of nectar wine[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(21): 25-32.]
- [7] LI Q Q, WANG K, MARCUCCI M C, et al. Nutrient-rich bee pollen: A treasure trove of active natural metabolites[J]. Journal of Functional Foods, 2018, 49: 472.
- [8] 牛德芳,王波,陈玉勇,等.油菜蜂花粉及其蜂粮的营养成分[J].食品工业科技,2019,40(9):218-223. [NIU D F, WANG B, CHEN Y Y, et al. Analysis of the nutrient of rape bee pollen and rape bee bread[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(9): 218-223.]
- [9] QI D, MA C, WANG W, et al. Gas chromatography-mass spectrometry analysis as a tool to reveal differences between the volatile compound profile of royal jelly produced from tea and pagoda trees[J]. Food Analytical Methods, 2021, 14(3): 1-15.
- [10] 刘黎红,张锦玉,刘越强,等.长白山蜂产品及其综合开发途径[J].农产品加工(学刊),2007(8):58-59. [LIU L H, ZHANG J Y, LIU Y Q, et al. Changbai mountain bee product and synthetical exploitation approach[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2007(8): 58-59.]
- [11] KIELISZEK M, PIWOWAREK K, KOT A M, et al. Pollen and bee bread as new health-oriented products: A review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 71: 170-180.
- [12] SMUGAKOGUT M, PABISZCZAK A, DYMKOWSKA-MALESA M, et al. Preparation of beebread caviar from buckwheat honey through immobilization with sodium alginate[J]. Molecules,

- 2020, 25(19): 4483.
- [13] 延莎, 赵柳微, 吴黎明. 蜂粮及发酵蜂花粉产品的研究进展[J]. *中国食物与营养*, 2019, 25(7): 9–15. [YAN S, ZHAO L W, WU L M. Research advancement on bee bread and fermented bee pollen food[J]. *Food and Nutrition in China*, 2019, 25(7): 9–15.]
- [14] MAUR CIO S, VASSYA B, KUROPATNICKI A K. Medical benefits of honeybee products[J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2017, 2017: 2702106.
- [15] SEÇILMIŞ Y, SILICI S. Bee product efficacy in children with upper respiratory tract infections[J]. *The Turkish Journal of Pediatrics*, 2020, 62(4): 634–640.
- [16] 赵家平. 蜂产品简介[J]. *特种经济动植物*, 1999, 2(4): 17–18. [ZHAO J P. Bee product introduction[J]. *Special Economic Animal and Plant*, 1999, 2(4): 17–18.]
- [17] 王艺, 刘帆, 臧梦璐, 等. 超声波处理对蜂王浆蛋白功能和结构的影响[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(10): 50–56. [WANG Y, LIU F, ZANG M L, et al. Effects of ultrasound treatment on the functional properties and structure of royal jelly proteins[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(10): 50–56.]
- [18] LI S, YANG G, YAN J, et al. Polysaccharide structure and immunological relationships of RG-I pectin from the bee pollen of *Nelumbo nucifera*[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, 111: 660–666.
- [19] CHEN X, WU R, ZHU Y, et al. Study on the inhibition of Mfn1 by plant-derived miR5338 mediating the treatment of BPH with rape bee pollen[J]. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 2018, 18(1): 1–6.
- [20] THAKUR M, NANDA V. Composition and functionality of bee pollen: A review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, 98: 82–106.
- [21] LORINI A, ROSA C, OLIVEIRA L T, et al. Chemical composition and microbiological quality of bee pollen[J]. *Scientia Agraria Paranaensis*, 2020, 19(3): 229–235.
- [22] 张琳, 肖建辉, 涂瑾, 等. 利用蜂蜡制备菜籽油基凝胶油的研究[J]. *中国油脂*, 2019, 44(2): 129–132. [ZHANG L, XIAO J H, TU J, et al. Preparation of rapeseed oil organogel with beeswax[J]. *China Oils and Fats*, 2019, 44(2): 129–132.]
- [23] 平丽娟, 方晟, 毛建卫, 等. 微波真空冷冻干燥蜂蛹工艺的研究[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(1): 194–197. [PING L J, FANG S, MAO J W, et al. Study on microwave vacuum freeze-drying process of honeybee pupae[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2013, 34(1): 194–197.]
- [24] 金平, 张宇, 王会, 等. 蜂胶的化学成分及药理作用[J]. *吉林中医药*, 2018, 38(4): 432–434. [JIN P, ZHANG Y, WANG H, et al. Chemical composition and pharmacological action of propolis[J]. *Jilin Journal of Chinese Medicine*, 2018, 38(4): 432–434.]
- [25] 张娟, 王顺喜, 李丹, 等. 基于响应面法对蜂粮液态发酵条件的优化[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(22): 189–196. [ZHANG J, WANG S X, LI D, et al. Optimization of liquid fermentation conditions of bee bread based on response surface method[J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(22): 189–196.]
- [26] KHALIFA S, ELASHAL M, KIELISZEK M, et al. Recent insights into chemical and pharmacological studies of bee bread[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, 97: 300–316.
- [27] 刘玳瑶, 程冰晓, 刘然, 等. 乳酸菌发酵柚子蜂花粉酱加工工艺的研究[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(3): 76–84. [LIU D Y, CHENG B X, LIU R, et al. Study on the processing technology of pomelo bee pollen sauce fermented by lactic acid bacteria[J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(3): 76–84.]
- [28] 吴昊远. 油松松花粉乳饮料的研制和品质研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2020. [WU H Y. Research on the development and quality study of pine pollen milk beverage[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2020.]
- [29] 李敏杰, 熊亚. 攀枝花土蜂蜜酒发酵条件的优化[J]. *食品工业*, 2021, 42(1): 170–174. [LI M J, XIONG Y. Optimization of conditions for mead fermentation of panzhihua[J]. *The Food Industry*, 2021, 42(1): 170–174.]
- [30] 朱作艺, 张玉, 王君虹, 等. 蜂王浆蛋白肽的制备及其降血糖和抗氧化活性研究[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(17): 45–57. [ZHU Z Y, ZHANG Y, WANG J H, et al. Preparation, hypoglycemic and antioxidative activity of peptide from royal jelly protein[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(17): 45–57.]
- [31] ATALLAH A A, MORSY K M. Effect of incorporating royal jelly and bee pollen grains on texture and microstructure profile of probiotic yoghurt[J]. *Journal of Food Processing and Technology*, 2017, 8(9): 1–4.
- [32] UȚOIU E, MATEI F, TOMA A, et al. Bee collected pollen with enhanced health benefits, produced by fermentation with a kombucha consortium[J]. *Nutrients*, 2018, 10(10): 1365.
- [33] UȚOIU E, OANCEA A, STANCIUC A M, et al. Prebiotic content and probiotic effect of kombucha fermented pollen[J]. *AgroLife Scientific Journal*, 2018, 7(2): 149–156.
- [34] POP C, VLAIC R, FĂRCAȘ A, et al. Influence of pollen, chia seeds and cranberries addition on the physical and probiotics characteristics of yogurt[J]. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca: Food Science and Technology*, 2015, 72(1): 141–142.
- [35] YERLIKAYA, OKTAY. Effect of bee pollen supplement on antimicrobial, chemical, rheological, sensorial properties and probiotic viability of fermented milk beverages[J]. *Mljekarstvo*, 2014, 64(4): 268–279.
- [36] ZLATEV Z, TANEVA I, BAYCHEVA S, et al. A comparative analysis of physico-chemical indicators and sensory characteristics of yogurt with added honey and bee pollen[J]. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2018, 24(1): 132–144.
- [37] CONTE P, DEL C A, BALESTRA F, et al. Bee pollen as a functional ingredient in gluten-free bread: A physical-chemical, technological and sensory approach[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2018, 90: 1–7.
- [38] CONTE P, CARO A D, URGEGHE P P, et al. Nutritional and aroma improvement of gluten-free bread: Is bee pollen effective?[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 118: 108711.
- [39] AMORES-ARROCHA A, SANCHO-GALÁN P, JIMÉNEZ-CANTIZANO A, et al. Bee pollen as oenological tool to carry out red winemaking in warm climate conditions[J]. *Agronomy*, 2020,

- 10(5): 634.
- [40] BARRY J, METZ M, HUGHEY J, et al. Two novel strains of *Torulaspora delbrueckii* isolated from the honey bee microbiome and their use in honey fermentation[J]. *Fermentation*, 2018, 4(2): 22.
- [41] SAMANIEGO-SÁNCHEZ C, MARÍN-GARCÍA G, QUESADA-GRANADOS J J. A new fermented beverage from sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) molasses: Analysis of physicochemical properties and antioxidant capacity, and comparison with other industrial alcohol products[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 128: 109505.
- [42] 王虹玲, 段笑影, 曹冬冬, 等. 蜂蜜西瓜皮汁乳酸发酵饮料的工艺优化[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(3): 117-122. [WANG H L, DUAN X Y, CAO D D, et al. Process optimization of lactic acid fermentation beverage in honey watermelon rind[J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(3): 117-122.]
- [43] 徐伟, 杜娇, 杜鹃, 等. 多菌株发酵型蜂蜜醋饮料的减肥降脂功能性研究[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(24): 334-337. [XU W, DU J, DU J, et al. Effect of multi strain symbiotic fermentation of honey vinegar beverage on weight reduction and lipid-lowering function[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(24): 334-337.]
- [44] ABDERREZAK K, HAYAT A C, FETTA K, et al. Effect of pomegranate peel and honey fortification on physicochemical, physical, microbiological and antioxidant properties of yoghurt powder[J]. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 2020, 19(1): 99-108.
- [45] MACHADO T A D G, DE OLIVEIRA M E G, CAMPOS M I F, et al. Impact of honey on quality characteristics of goat yogurt containing probiotic *Lactobacillus acidophilus*[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2017, 80: 221-229.
- [46] 解殿伟, 王慧俐, 吴祖芳. 响应面法优化蜂蜜甜面包制作工艺研究[J]. *食品研究与开发*, 2020, 377(4): 115-120. [XIE D W, WANG H L, WU Z F. Optimization of honey sweet bread making process by response surface methodology[J]. *Food Research and Development*, 2020, 377(4): 115-120.]
- [47] 张旭普, 白俊岩, 刘腾云, 等. 糙米酵素混菌发酵工艺优化[J]. *食品与机械*, 2017, 194(12): 186-191. [ZHANG X P, BAI J Y, LIU T Y, et al. Optimization on mixed fermentation process with brown rice ferment[J]. *Food and Machinery*, 2017, 194(12): 186-191.]
- [48] MA D, HE Q, DING J, et al. Bacterial microbiota composition of fermented fruit and vegetable juices (jiaosu) analyzed by single-molecule, real-time (SMRT) sequencing[J]. *CyTA-Journal of Food*, 2018, 16(1): 950-956.
- [49] LI S, JIANG Z, THAMM L, et al. 10-Hydroxy-2-decanoic acid as an antimicrobial agent in draft keg-conditioned wheat beer[J]. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 2010, 68(2): 114-118.
- [50] ALU'DATT M H, RABABAH T, OBAIDAT M M, et al. Probiotics in milk as functional food: Characterization and nutraceutical properties of extracted phenolics and peptides from fermented skimmed milk inoculated with royal jelly[J]. *Journal of Food Safety*, 2015, 35(4): 509-522.
- [51] THIEN F C K, LEUNG R, BALDO B A, et al. Asthma and anaphylaxis induced by royal jelly[J]. *Clinical & Experimental Allergy*, 2010, 26(2): 216-222.
- [52] 乔琳. 蜂花粉固态发酵营养强化剂的研制[D]. 天津: 天津科技大学, 2005. [QIAO L. Study on nutrition reinforcer preparation of the bee pollen by solid-state fermentation[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2005.]
- [53] GILLIAM M. Microbiology of pollen and bee bread: The yeasts[J]. *Apidologie*, 1979, 10(1): 43-53.
- [54] LOPER G M, STANDIFER L N, THOMPSON M J, et al. Biochemistry and microbiology of bee-collected almond (*Prunus dulcis*) pollen and bee bread. I- fatty acids, sterols, vitamins and minerals[J]. *Apidologie*, 1980, 11(1): 63-73.
- [55] AUDISIO M C, TERZOLO H R, APELLA M C. Bacteriocin from honeybee beebread *Enterococcus avium*, active against listeria monocytogenes[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2005, 71(6): 3373-3375.
- [56] BREED M D. Bee products: Properties, applications, and apitherapy[J]. *Bioscience*, 1998, 48(9): 774-776.
- [57] BROOKS J, SHAW G. Sporopollenin: A review of its chemistry, palaeochemistry and geochemistry[J]. *Grana*, 1978, 17(2): 91-97.
- [58] MENDES-FERREIRA A, COSME F, BARBOSA C, et al. Optimization of honey-must preparation and alcoholic fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* for mead production[J]. 2010, 144(1): 193-198.
- [59] KAKONIEN V, ADAKEVIIÛT V, KAKONAS P, et al. Antimicrobial and antioxidant activities of natural and fermented bee pollen[J]. *Food Bioscience*, 2020, 34: 100532.
- [60] FILIPA S, RICARDO C, LILLIAN B, et al. Flavonoid composition and antitumor activity of bee bread collected in northeast portugal[J]. *Molecules*, 2017, 22(2): 1-12.
- [61] URCAN A C, MARGHITAS L A, DEZMIREAN D S, et al. Chemical composition and biological activities of beebread - Review[J]. *Bulletin of University of Agricultural Sciences & Veterinary Medicine Cluj Napoca Animal Science & Biotechnologies*, 2017, 74(1): 1-9.
- [62] VILMA K, AGNÈ K, PAULIUS K, et al. The impact of solid-state fermentation on bee pollen phenolic compounds and radical scavenging capacity[J]. *Chemical Papers*, 2018, 72(8): 2115-2120.
- [63] HUMAN H, NICOLSON S W. Nutritional content of fresh, bee-collected and stored pollen of *Aloe greatheadii* var. *davyana* (Asphodelaceae)[J]. *Phytochemistry*, 2006, 67(14): 1486-1492.