

蚕蛹油脂加工技术研究进展

Progress in the processing technology of silkworm pupal oil

石 威¹ 廖森泰² 邹宇晓² 王卫飞² 黎尔纳²

SHI Wei¹ LIAO Sen-tai² ZOU Yu-xiao² WANG Wei-fei² LI Er-na²

(1. 华中农业大学食品科技学院, 湖北 武汉 430070;

2. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 广东 广州 510610)

(1. College of Food Science and Technology of Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430070, China; 2. The Sericulture Farm & Farm Produce Processing Research Institute of Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou, Guangdong 510610, China)

摘要:概述近年来国内外在蚕蛹油脂的提取、精炼、抗氧化等加工技术方面取得的进展,并且针对制约产业发展的脱酸、脱臭等技术难题,提出未来该领域的重点研发方向:在系统分析蚕蛹油脂的脂类组成特征的基础上重点开展蚕蛹油脂专用的酶法脱酸与低温脱臭技术;研发适用于蚕蛹油脂的抗氧化技术,开发氧化稳定性更好的蚕蛹油脂食用产品。

关键词:蚕蛹油脂;加工技术;精炼;脱臭;氧化稳定性

Abstract: Summarizes the research progress in the extraction, refining, and anti-oxidation of silkworm pupal oil in China and abroad in recent years. Regarding with the technical problems that restrict the development of industry, such as deacidification, deodorization and so on, this paper presents the key research directions in the future in this field. Based on the existing research, analyze the lipid composition characteristics of silkworm pupal oil, develop special extraction and refining technology for silkworm pupal oil in the future, especially enzymatic deacidification and low-temperature deodorization technology; study the anti-oxidation technology which is suitable for silkworm pupal oil, develop a silkworm pupal oil products with better oxidation stability.

Keywords: silkworm pupal oil; processing technology; refining; deodorization; oxidative stability

近年来,中国国产油料资源的比例逐年降低,国内油脂

基金项目:广州市科技计划项目(编号:201704020101);广州市科技计划项目(编号:201804010095);“扬帆计划”引进创新创业团队项目(编号:2016YT03H079);公益性行业(农业科研专项)(编号:201403064);广东省现代农业产业技术体系创新团队(编号:2016LM1087);广东省现代农业产业技术体系创新团队(编号:2016LM2151)

作者简介:石威,男,华中农业大学在读研究生。

通信作者:廖森泰(1962-),男,广东省农业科学院研究员,硕士。

E-mail: liaost@126.com

收稿日期:2018-05-23

原料供应严重依赖进口。2017 年仅大豆这一油脂原料的进口量就高达 9.553×10^7 t,较 2016 年增加 16% 以上。为解决国产油料供应不足的问题,需大力拓展油料资源的来源。中国是世界蚕桑生产大国,蚕茧产量占世界总量的 80%,年产干蛹的量已经超过 1.400×10^5 t^[1],而且随着蚕桑产业的复苏和快速发展还在逐年增加,是具有规模化开发和应用潜力的昆虫油料资源。蚕蛹粗脂肪含量高(占干重的 25%~35%),而且富含 α -亚麻酸、 V_E 、 β -谷甾醇等生物活性物质,可作为重要的油料资源加以开发利用^[2-3]。蚕桑产业是中国传统的特色产业,利用现代科技成果充分开发利用蚕蛹资源,也有利于这一产业的技术升级和产业结构调整,实现其可持续发展。本文对蚕蛹油脂加工利用技术及所需设备和机械进行了综述与分析,旨在为蚕蛹脂类资源的充分开发与合理利用提供参考,为传统蚕业的优化升级提供新思路。

1 蚕蛹油脂提取

蚕蛹属于昆虫油料资源,迄今已有压榨、有机溶剂浸出、超临界 CO_2 萃取、水酶法以及酸/碱水解等多种方法应用于蚕蛹油脂的提取。压榨、有机溶剂浸提(浸出)和酸/碱水解法提取蚕蛹中油脂是传统油脂提取工艺在蚕蛹加工中的应用。超临界 CO_2 萃取技术是近几年实现工业化应用的提取工艺。超声波、微波辅助提取以及水酶法是根据物料特征及产品开发需要正在研究中的油脂提取工艺。

1.1 蚕蛹油脂的提取技术

蚕蛹油脂的提取目前还未实现工业化,但对其提取技术的研究已有大量的报导。由于蚕蛹粗纤维含量非常少,压榨处理时油脂的提取率低,蚕蛹粕中还残留大量的油脂,传统的压榨工艺不适合蚕蛹油脂的提取。利用有机溶剂萃取蚕蛹油脂,操作简单且成本低廉,油脂得率较高(均在 95% 以上),是目前研究最多的提取技术^[4]。但是,进行溶剂萃取

时,蚕蛹需要烘干、粉碎,这就使蚕蛹的蛋白质和蛹壳难以分离,降低了油脂得率同时也增加了工艺难度。超临界 CO₂ 萃取技术是近几年实现工业化应用的脂类提取技术之一,用于萃取蚕蛹油脂时提取率一般可以达到 80% 以上^[5],由于生产成本较高,超临界萃取目前仅适用于高品质蚕蛹油脂的提取和高附加值产品的开发。与超临界萃取技术相比,亚临界萃取工艺成本更低,更易于规模化生产。金文闻等^[6]公开了一种以丙烷或丁烷为萃取剂的亚临界提取蚕蛹油脂的技术,提取率最高可达 96.3%。水酶法提取蚕蛹油脂是利用蛋白酶将蚕蛹适度酶解,使油脂释放出来的同时还可以将蛹壳分离,是最有利于实现蚕蛹资源综合利用的提取技术^[7-8],适用于新鲜度较高的蚕蛹原料提取高品质的油脂产品^[9]。

现有的蚕蛹油脂产品价格昂贵、市场规模较小,主要是通过超临界 CO₂ 萃取得到的。随着市场需求的逐渐扩大和产品形式的多样化,蚕蛹脂类物质的提取技术也在根据产品需要向规模化、多样化发展。在目前已有的研究报导的提取工艺中,溶剂萃取和水酶法提取是最适合蚕蛹油脂规模化生产的技术。规模化生产时,最需解决的技术问题是如何将油脂提取工艺与蚕蛹蛋白以及蛹壳的回收利用合理地结合起来,提高蚕蛹资源综合利用价值。

1.2 蚕蛹油脂提取设备

与其他动物油料资源相比,蚕蛹的物质组成较为特殊,规模化生产需相应的生产设备和工艺。由于原材料物质组成的差异,蚕蛹油脂的提取难以使用普通动物油脂的熬炼锅和鱼油分离时常用的螺杆压榨等设备^[10]。有机溶剂浸提是植物油脂最常用的工艺,机械设备原理简单、适用范围广泛^[11]。但是,在使用传统的浸出设备提取蚕蛹油脂时,为了达到更高的油脂得率,耗时一般在 4 h 以上,为缩短提取时间,提高萃取效率,有研究^[12-13]将超声波或微波等设备用于辅助有机溶剂萃取,将萃取时间缩短至 20~40 min。水酶法提取蚕蛹油脂,常用的酶解设备即为中低温时控温较为准确的搅拌反应釜^[14]。水酶法提取油脂工艺中,油脂与反应混合物的分离一般采用沉降釜或碟片离心机^[15]。

1.3 提取工艺对蚕蛹油脂的影响

研究发现,不同提取方法对蚕蛹油脂理化指标和物质组成有显著差异。与其他提取方法相比,超临界 CO₂ 萃取得到的蚕蛹油脂过氧化值和游离脂肪含量(酸价)均较低^[16]。水酶法萃取得到的蚕蛹油脂中不饱和脂肪酸含量略高^[9],其他提取工艺对蚕蛹油脂脂肪酸组成影响不显著,可能是水酶法提取油脂的操作温度一般较低,饱和度较高的高熔点油脂提取率低。蚕蛹油脂中富含脂溶性维生素,其脂类成分已被证实的有游离脂肪酸、甘油酯、甘油磷脂、糖脂、固醇脂类等^[17]。但是,提取工艺对产物中脂类物质组成特别是活性成分的影响研究还较少。

2 蚕蛹油脂精炼

蚕蛹粗油中含有一定量的游离脂肪酸,具有特殊的腥臭味,达不到普通食用或保健品用油脂的标准,需进行适度的精炼处理。普通动植物油脂的精炼过程一般包括脱胶、脱

酸、脱色和脱臭,通过这一系列的精炼处理,来改善油脂原料的品质^[18]。而在蚕蛹油脂中,含有大量的多不饱和脂肪酸、磷脂、V_E、甾醇等活性物质,传统的油脂精炼工艺会将其破坏或去除,需针对这一特色的油脂原料开发更适用的精炼技术^[1,19]。

2.1 蚕蛹油脂的脱胶与脱酸

油脂的脱胶即除去油脂中的胶体物质,主要为磷脂。Ravinder 等^[20-21]对蓖麻蚕蛹油脂进行脱胶和碱炼处理之后,可以将 2.1% 的磷脂完全除去。在蚕蛹油脂加工过程中,需要根据油脂的利用目的,确定是否选择脱胶处理。作为保健食品或调味油脂使用时,蚕蛹油脂一般不会进行烹饪等热处理,可以保留其中的富含多不饱和脂肪酸的磷脂成分,而且不需要采取脱胶工艺。

食用油脂的脱酸,目的是除去其中的游离脂肪酸,提高产品的氧化稳定性和食用品质。蚕蛹油脂的游离脂肪酸含量普遍偏高,潘文娟等^[22]发现缙丝家蚕蛹的酸价达到了 31.743 mg KOH/g。现有的研究^[23]报道中,蚕蛹油脂加工中多采用碱炼脱酸的方法,除去其中的游离脂肪酸。鄂旭等^[24]以 NaOH 中和蚕蛹油脂中的游离脂肪酸,发现以 14% 的碱液浓度,74.4% 的超碱量时,蚕蛹油的酸价由 21.3 mg KOH/g 降低至 0.16 mg KOH/g,中性油脂的得率为 68%。传统的动植物油脂加工工艺中,对磷脂含量较少,特别是水化磷脂含量较低的油脂原料,脱胶与脱酸可同时进行,即碱炼脱酸时产生的皂脚会将磷脂吸附带走。蚕蛹油脂中的磷脂是其重要的活性成分,碱炼脱酸不仅会除去绝大部分磷脂,还会造成 V_E 的损失,因此,蚕蛹油脂不适宜用碱炼的工艺进行脱酸。除碱炼脱酸,油脂精炼中还有物理脱酸及酶法脱酸等技术。物理脱酸由于操作温度较高(一般 240 °C 以上)会破坏 α -亚麻酸的分子结构,也难以用于蚕蛹油脂脱酸处理^[25]。酶法脱酸一般在常温下进行,反应条件温和,特别是一些新型的酶法脱酸技术,可以选择性地将油脂中的游离脂肪酸去除,非常适用于富含多不饱和脂肪酸等活性物质油脂的脱酸加工^[26-27]。而且,酶法脱酸反应所需机械设备简单、易于操作,将是蚕蛹油脂脱酸研究和产业化应用重点关注的工艺之一。

2.2 蚕蛹油脂的脱色与脱臭

受原料新鲜度和提取方法的影响,部分粗蚕蛹油脂的颜色较深,呈现棕褐色,需进行适度脱色处理以提高其感官品质。张研宇等^[28]考察了沸石、脱色白土和活性炭对蚕蛹油脂的脱色效果,发现添加 4% 的活性炭,脱色效果最佳。沈芸等^[29]比较了活性白土、活性炭和凹凸棒土对蚕蛹油脂脱色效果的影响,发现凹凸棒土在蚕蛹油中的脱色效果强于活性白土;在凹凸棒土经 300 °C、1 h 高温活化,加入量为 8 g/100 mL 时,脱色效果显著,油脂损失率为 15.5%。脱色过程中极性较大的吸附剂会吸附一定量的活性成分,特别是磷脂经脱色处理后会有部分损失^[30]。在蚕蛹油脂加工过程中,可根据产品需求选择是否使用脱色处理。

蚕蛹油脂具有昆虫油脂特有的腥臭味,严重影响其食用品质,需进行脱臭处理。但是,蚕蛹油脂含有大量的 α -亚麻

酸,脱臭时不宜进行高温处理,传统的油脂脱臭技术及相关参数(240 ℃以上)及设备难以用于蚕蛹油脂脱臭。张光先等^[31]在真空箱中,加入一定量的活性炭,升高温度,使部分臭味被活性炭吸附,部分臭味随气体被排出,该方法未向油脂中加入任何辅助试剂,蚕蛹油脂在脱臭过程中无损耗,而且具有良好的脱臭效果。但是,这一吸附脱臭的方法不适用于大规模油脂的脱臭加工,蚕蛹油脂的脱臭还需要进行系统的研究和专用型设备的研发。Aparicio-Ruiz 等^[32]以初榨橄榄油为原料,开发了一种在低温(100 ℃)、高真空(700 Pa)下,以氮气作为直接气的脱臭方法,可以有效保留原料中的多酚等活性物质。可以参考这一方法进行蚕蛹油脂脱臭技术的开发,通过适当的脱臭处理,去除蚕蛹油脂中的腥臭气味,保留其特征香味,使蚕蛹油脂更广泛地应用于食用及保健食品中。

2.3 蚕蛹油脂中胆固醇的去除

蚕蛹油脂属动物油脂,含有较多的胆固醇,作为食品或保健食品原料使用时应适度脱除^[33]。选择适宜的吸附材料,将油脂中的胆固醇选择性地吸附去除,是油脂加工中常用的技术方法。而且,吸附工艺所需的机械设备简单,操作稳定性高,适用于蚕蛹油脂脱除胆固醇加工。朱林韬等^[34]选用阿拉伯树胶、中性氧化铝、硅镁型吸附剂、 β -环糊精、活性白土、碱性氧化铝作为脱除胆固醇的吸附剂,比较发现中性氧化铝是最适宜的吸附剂。当中性氧化铝的添加量为 18%,在 65 ℃下搅拌吸附 2.5 h 时,蚕蛹油中胆固醇的脱除率可以达到 54.76%。在此基础上,邹莉芳等^[35]考察了吸附胆固醇的中性氧化铝的再生对胆固醇脱除效果的影响,采用解吸剂无水乙醇和正己烷对吸附胆固醇的氧化铝进行洗脱再生,再生的氧化铝对胆固醇的脱除效率可以达到初次使用时的 66.8%。通过吸附剂再生的方法,可以降低去除胆固醇的成本,有利于蚕蛹油加工的工业化应用。

3 蚕蛹油脂氧化稳定性

蚕蛹油脂含有昆虫油脂特有的生物活性物质,是优质的保健食品原料。蚕蛹油脂中含有大量的多不饱和脂肪酸,和昆虫来源的胡萝卜素等热敏性、光敏性的活性物质,这就使得其氧化稳定性成为人们关注的关键指标之一。影响油脂氧化稳定性的因素有很多,对于蚕蛹油脂,蚕蛹的种类、提取工艺、加工方法、抗氧化剂含量、存储及使用方式均是影响油脂氧化稳定性的关键因素^[36-37]。

3.1 原料及提取工艺对氧化稳定性的影响

蚕蛹的种类和新鲜度决定了油脂的组成,对其氧化稳定性具有决定性的影响。新鲜度较高的蚕蛹得到的油脂中游离脂肪酸含量低,过氧化值也较低,具有更好的氧化稳定性^[38]。Kotake-Nara 等^[39]发现家蚕雌性蛹油脂含量约为雄性的 2 倍,贮存过程中氧化稳定性研究发现,蚕蛹性别对蚕蛹油脂的氧化稳定性无显著影响。刘军等^[40]比较了正己烷萃取和超临界 CO₂ 萃取 2 种工艺得到的蚕蛹油脂氧化稳定性,发现超临界 CO₂ 萃取得到的样品具有更好的氧化稳定性。Hu 等^[13]用微波辅助溶剂萃取蚕蛹油,发现经过微波预

处理得到的蚕蛹油,其氧化稳定性更好。这可能是微波处理有利于生育酚等抗氧化物质的释放,使得到的油脂产品具有更强的氧化稳定性^[41]。

3.2 精炼对蚕蛹油脂氧化稳定性影响

原料油脂经过精炼处理,去除其中的游离脂肪酸、过氧化物等易引起油脂氧化的组分后,会提高存储过程中油脂的氧化稳定性^[42]。但是,Ravinder 等^[21]研究蓖麻蚕蛹油脂的氧化稳定性时,发现参照传统精炼工艺将蚕蛹油脂全精炼后油脂的氧化稳定性显著下降,精制和未精炼的蚕蛹油,贮藏 6 个月后,过氧化值分别增加到原来的将近 3.0,1.5 倍之多。这可能是粗蚕蛹油中含有丰富的磷脂、生育酚、甾醇和 DNJ 等天然抗氧化物质,传统的油脂精炼工艺可以大量地除去这些活性物质,使得全精炼后的蚕蛹油脂氧化稳定性降低^[19]。因此,蚕蛹油脂的精炼工艺还需在传统工艺和现有研究的基础上进行优化和改进,以减少活性物质和抗氧化成分的损失,达到提高产品营养功效和存储及使用稳定性的效果。

3.3 抗氧化剂对蚕蛹油脂氧化稳定性影响

在油脂产品特别是油脂的保健食品原料中,通常会添加适宜的抗氧化剂提高油脂的氧化稳定性,从而便于存储和使用^[43]。将抗氧化剂添加入蚕蛹油中,也可以提高蚕蛹油脂的氧化稳定性^[44]。Ravinder 等^[20]将天然抗氧化剂(谷维素)和合成抗氧化剂(TBHQ 和 BHT)加入蓖麻蚕蛹油脂中,考察其贮存过程中的稳定性,发现 TBHQ 的抗氧化效果最好。BHT 和谷维素也具有一定的抗氧化能力,但用于蓖麻蚕蛹油脂时会低于 TBHQ 的抗氧化效果。吴晓霞等^[12]考察了抗氧化剂的添加对于蚕蛹油脂氧化稳定性影响,发现五倍子单宁效果强于 TBHQ。表明使用食用五倍子单宁作为蚕蛹油的抗氧化剂具有很好的效果。而在油脂保健食品中最常用的抗氧化剂是 V_E,但是研究发现 V_E 的添加超过一定量时也会显著降低油脂的氧化稳定性^[45]。蚕蛹油脂中含有一定量的天然 V_E,因此,利用外源添加的方式提高蚕蛹油脂氧化稳定性时,需对添加量和辅助抗氧化剂的选择(谷维素、抗坏血酸等)进行系统研究^[46]。

3.4 使用方式对蚕蛹油脂氧化稳定性影响

蚕蛹油脂对热不稳定,接触空气易氧化,采用胶囊或微胶囊技术,将蚕蛹油脂包裹起来,避免与空气接触,可以提高蚕蛹油脂存储和使用过程中的氧化稳定性^[47]。陈晨等^[48]以壳聚糖和乳糖为壁材包埋蚕蛹油脂,包埋率达到 83.31%,货架期比未包埋产品延长 8 个月。施英等^[49]以大豆蛋白和 β -环状糊精为壁材,通过喷雾干燥制备蚕蛹油微胶囊,包埋率达到 91.2%。微胶囊化使得蚕蛹油的货架期延长,也拓展了蚕蛹油脂的利用途径。

4 总结与展望

蚕蛹油脂是重要的昆虫油料资源,也是中国特有的油脂原料,具有众多生物活性功能,是优质的保健食品原料。对蚕蛹油脂已经完成的研究主要是对其生理功能的论证,对蚕蛹油脂专用加工技术的研究还处于起始阶段,主要集中于传统油脂加工技术在蚕蛹油脂加工中的应用探索。现有的加

工技术研究成果尚不足以支撑蚕蛹油脂的规模化开发和利用,需在现有研究基础上,利用现代脂类科学技术,系统分析蚕蛹油脂的组成特征,根据其物质组成和营养成分开发蚕蛹脂类物质综合利用专用技术。重点内容主要包括:蚕蛹脂质组成分析;不同品质蚕蛹原料的油脂提取技术;适用于蚕蛹油脂的酶法脱酸和脱臭技术以及蚕蛹油脂的抗氧化技术。系统研究和开发蚕蛹油脂的加工技术,是实现蚕蛹资源综合利用的必要条件。蚕蛹油脂资源的合理化利用,有助于提高蚕桑产业的经济效益,实现蚕桑产业的可持续发展,也可以为中国油料资源的拓展提供科学依据和技术支持。

参考文献

- [1] 蔡沙,何建军,施建斌,等. 蚕蛹油的提取及其组分分析[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(8): 239-243.
- [2] 胡腾根,邹宇晓,廖森泰,等. 蚕蛹油脂的提取技术及营养与保健功能研究概况[J]. 蚕业科学, 2017(3): 514-520.
- [3] 王健,丁晓雯,孙玉侠,等. 蚕蛹油保健功能的研究进展[J]. 食品科学, 2012, 33(13): 339-342.
- [4] 廖森泰,肖更生,刘学铭. 蚕桑资源综合利用实用技术及规程[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2010: 101-104.
- [5] WEI Zhao-jun, LIAO Ai-mei, ZHANG Hi-xiang, et al. Optimization of supercritical carbon dioxide extraction of silkworm pupal oil applying the response surface methodology[J]. Biore-source Technology, 2009, 100(18): 4 214-4 219.
- [6] 金文闻,余龙江,余金龙,等. 一种蚕蛹综合利用的方法: 中国, CN201710306802.9[P]. 2017-07-25.
- [7] 徐冰冰,王瑛瑶,栾霞,等. 水酶法提取紫苏籽油脂和蛋白质的工艺条件[J]. 食品科学, 2012, 33(22): 127-132.
- [8] MOHAMMADI A, JAFARI S M, ESFANJANI A F, et al. Application of nano-encapsulated olive leaf extract in controlling the oxidative stability of soybean oil[J]. Food Chemistry, 2016, 190: 513-519.
- [9] 贾俊强,吴琼英,杜金娟,等. 超声波辅助水酶法提取蚕蛹油工艺优化及脂肪酸组成分析[J]. 食品科学, 2014, 35(16): 52-57.
- [10] 张佰帅,王宝维. 动物油脂提取及加工技术研究进展[J]. 中国油脂, 2010, 35(12): 8-11.
- [11] 欧阳涟,赖晓玲,刘娟娟. 有机溶剂提取蚕蛹油的方法研究[J]. 南昌大学学报: 工科版, 2002, 24(3): 94-96.
- [12] 吴晓霞,李建科,张研宇. 蚕蛹油超声波辅助萃取及其抗氧化稳定性[J]. 中国农业科学, 2010, 43(8): 1 677-1 687.
- [13] HU Bin, LI Cheng, ZHANG Zhi-qing, et al. Microwave-assisted extraction of silkworm pupal oil and evaluation of its fatty acid composition, physicochemical properties and antioxidant activities[J]. Food Chemistry, 2017, 231: 348-355.
- [14] 韩宗元,江连洲,李杨,等. 水酶法提取大豆油的扩大试验研究[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(2): 37-42.
- [15] MAT Y M, GORDON M H, EZEH O, et al. Aqueous enzymatic extraction of Moringa oleifera oil[J]. Food Chemistry, 2016, 211: 400-408.
- [16] 蒋艳忠,杨克迪,全巧凤. 蚕蛹油超临界 CO₂ 萃取研究[J]. 粮油食品科技, 2007, 15(4): 46-48.
- [17] SREEKANTASWAMY H S, SIDDALINGAIAH K S. Composition of glycolipids and phospholipids of desilked silkworm pupae oil (*Bombyx mori* L.) [J]. European Journal of Lipid Science & Technology, 2010, 83(7): 279-281.
- [18] 胡燕,袁晓晴. 食用油脂精炼新技术研究进展[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(14): 214-218.
- [19] KRALJIC K, ŠKEVIN D, BARISIC L, et al. Changes in 4-vinylsyringol and other phenolics during rapeseed oil refining[J]. Food Chemistry, 2015, 187: 236-242.
- [20] RAVINDER Thumu, KAKI Shiva Shanker, PRABHAKAR Inss, et al. Effect of natural and synthetic antioxidants on oxidation of eri silkworm oils[J]. Indo American J Pharmaceutical Research, 2015, 5(11): 3 666-3 675.
- [21] RAVINDER Thumu, KAKI Shiva Shanker, KANJILAL Sanjit, et al. Refining of castor and tapioca leaf fed eri silkworm oils Int[J]. Chemical Sci Technol, 2015, 5(2): 32-37.
- [22] 潘文娟,方婷婷,廖爱美,等. 不同蚕蛹油中脂肪酸的性状及组分分析[J]. 食品科学, 2011, 32(4): 148-151.
- [23] 侯清娥,王录军,赵宪林,等. 蚕蛹油的碱炼工艺研究[J]. 农产品加工, 2016, 5(3): 26-29.
- [24] 鄂旭,路福平,王海宽,等. 蚕蛹油提取和精制工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(4): 32-35.
- [25] 王亚东. 米糠油物理脱酸工艺条件对谷维素含量的影响[D]. 郑州: 河南工业大学, 2013: 63-67.
- [26] ZHENG Ming-ming, ZHU Jiu-xia, HUANG Feng-hong, et al. Enzymatic deacidification of the rice bran oil and simultaneous preparation of phytosterol esters-enriched functional oil catalyzed by immobilized lipase arrays [J]. Rsc Advances, 2015, 5(86): 70 073-70 079.
- [27] LI Dao-ming, WANG Wei-fei, DURRANI Rabia, et al. Simplified enzymatic upgrading of high-acid rice bran oil using ethanol as a novel acyl acceptor[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2016, 64(35): 6 730-6 737.
- [28] 张研宇,李建科. 蚕蛹油提取、精炼及其脂肪酸组成分析[J]. 中国油脂, 2010, 35(6): 76-79.
- [29] 沈芸,翁新楚,宋红生,等. 凹凸棒土对蚕蛹油的脱色[J]. 上海大学学报: 自然科学版, 2011, 17(5): 687-690.
- [30] 冯云生,佟白. 大豆磷脂的脱色及其对磷脂质量的影响[J]. 中国油脂, 2003, 28(6): 47-48.
- [31] 张光先,张凤秀. 蚕蛹油及蚕蛾油非介入式除臭方法: 中国, CN201410503022.X[P]. 2015-01-21.
- [32] APARICIO-RUIZ R, ROMERO I, GARCÍA-GONZÁLEZ D L, et al. Soft-deodorization of virgin olive oil: Study of the changes of quality and chemical composition[J]. Food Chemistry, 2016, 220: 42-50.
- [33] SREEKANTUSWAMY H S, SIDDALINGAIAH K S. Sterols and fatty acids from the neutral lipids of desilked silkworm pupae (*Bombyx mori* L.) [J]. European Journal of Lipid Science & Technology, 1981, 83(3): 97-99.
- [34] 朱林韬,彭展彬,曾艺涛,等. 降低蚕蛹油中胆固醇的方法研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(13): 219-223.
- [35] 邹莉芳,彭展彬,丁晓雯,等. 吸附胆固醇的中性氧化铝再生方法初探[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(8): 3 055-3 060.

(下转第 211 页)

3 结论

(1) 本试验将巴氏醋杆菌(*Acetobacter pasteurianum*) C9-4 作为麸曲发酵菌株,在单因素试验基础上,运用 Box-Behnken 响应面设计,建立了醋酸菌麸曲制备工艺参数的二次多项式数学模型,并得出醋酸菌麸曲制备的最佳工艺条件为乙酸添加量 1.03 mL/100 g、乙醇添加量 2.09 mL/100 g、醋酸菌接种量 4.09 mL/100 g,麸曲醋酸菌菌含量达到 10^8 CFU/g 以上,满足醋酸菌接种要求。

(2) 将优化的醋酸菌麸曲的最佳制备条件应用于实际生产中,通过三角瓶、曲盘、种子罐及曲床逐级扩大培养制备麸曲,扩培过程中醋酸菌总数均能达到 10^8 CFU/g,满足实际应用醋酸菌菌种数量级要求。研究结果对醋酸菌麸曲制备及强化醋酸菌接种发酵、提高四川麸醋的出醋率、增加乙酸含量和改良麸醋主体风味物质具有参考价值。由于大生产试验过程中生产环境不可控因素较多,在后续的研究中,还应该加强试验环境条件等方面的控制。

参考文献

- [1] 杨林娥,李婷,杨宇霞,等.中国食醋的历史、现状与对策[J].中国调味品,2013,38(12):114-117.
- [2] 袁仲,马绮云,杨继远.液液萃取和同时蒸馏萃取与气质联用分析国产食醋香味成分[J].食品科学,2010,31(4):226-229.
- [3] 张锦盛,刘军,朱文优,等.固态发酵酿醋中复合麸曲的应用研究[J].中国酿造,2013,32(1):124-126.
- [4] 张霞,张利.液态高温糖化—固态酒化醋化工艺生产优质香醋[J].中国调味品,2002(10):22-25.
- [5] XU Wei, HUNG Zhi-yong, ZHANG Xiao-juan, et al. Monitoring the microbial community during solid-state acetic acid fermentation of Zhenjiang aromatic vinegar[J]. Food Microbiology, 2011, 28(6): 1 175-1 181.
- [6] PAN Li, FRANCIS W K A, HANG Yu, et al. Characterization of activity and microbial diversity of typical types of Daqu for traditional Chinese vinegar[J]. Annals of Microbiology, 2015, 65(4): 2 019-2 027.
- [7] 余宁华,陆震鸣,许伟,等.基于主成分分析的中国发酵食醋有机酸含量差异性分析[J].食品与发酵工业,2010(10):144-148.
- [8] 郭明烨,刘军,王洋,等.一株醋酸菌液态扩大培养及应用于固态发酵酿醋研究[J].中国调味品,2015(12):1-4.
- [9] 李玉斌,邓静,吴华昌,等.3株功能菌在四川保宁醋强化发酵中的应用[J].食品科学,2017,38(12):75-82.
- [10] 邵向丽,赵爽,刘书亮,等.四川麸醋醋醅中优良醋酸菌的筛选及其产酸特性[J].食品工业科技,2015,36(6):203-207.
- [11] 王丽丽,仪宏,沙惠琴,等.醋酸菌生长的营养需求及产酸的促进作用研究[J].中国调味品,2004(6):3-6.
- [12] GUPTA S, MANOHAR C S. An improved response surface method for the determination of failure probability and importance measures[J]. Structural Safety, 2004, 26(2): 123-139.
- [13] 王建超,王卿,施文昊,等.响应面分析法优化枇杷叶多酚提取工艺[J].热带作物学报,2015,36(2):384-390.
- [14] 徐效圣,潘俨,傅力,等.响应面法优化水酶法提取核桃油的工艺条件[J].食品与机械,2010,26(2):92-96.
- [15] 滕国生,刘勇,武丽达,等.响应面优化L-赖氨酸培养基[J].食品与机械,2015,31(5):256-260.
- (上接第205页)
- [36] ROSA A, MAXIA A, PUTZU D, et al. Chemical composition of *Lycium europaeum*, fruit oil obtained by supercritical CO₂, extraction and evaluation of its antioxidant activity, cytotoxicity and cell absorption[J]. Food Chemistry, 2017, 230: 82-90.
- [37] HAO Shu-xian, WEI Ya, LI Lai-hao, et al. The effects of different extraction methods on composition and storage stability of sturgeon oil[J]. Food Chemistry, 2015, 173: 274-282.
- [38] 陆春霞,廖森泰,祁广军,等.鲜茧缫丝蚕蛹油与新鲜蚕蛹油理化性质及组分分析[J].食品与发酵工业,2015,41(9):188-191.
- [39] KOTAKE-NARA E, YAMAMOTO K, NOZAWA M, et al. Lipid profiles and oxidative stability of silkworm pupal oil[J]. Journal of Oil Chemists Society Japan, 2002, 51(11): 681-690.
- [40] 刘军,郑翠翠,廖森泰,等.精制对蚕蛹油抗氧化活性的影响[J].中国粮油学报,2016,31(4):51-56.
- [41] SAMARAM S, MIRHOSSEINI H, TAN C P, et al. Optimisation of ultrasound-assisted extraction of oil from papaya seed by response surface methodology: Oil recovery, radical scavenging antioxidant activity, and oxidation stability [J]. Food Chemistry, 2015, 172: 7-17.
- [42] OLIVEIRA D A S B D, MINOZZO M G, LICODIEDOFF S, et al. Physicochemical and sensory characterization of refined and deodorized tuna (*Thunnus albacares*) by-product oil obtained by enzymatic hydrolysis [J]. Food Chemistry, 2016, 207: 187-194.
- [43] ZHAO Xue, GONG Guang-yi, WU Shi-min. Effect of storage time and temperature on parent and oxygenated polycyclic aromatic hydrocarbons in crude and refined vegetable oils[J]. Food Chemistry, 2017, 239: 781-788.
- [44] LI Jun, BI Yan-lan, YANG Hui-fang, et al. Antioxidative properties and interconversion of tert-butylhydroquinone and tert-butylquinone in soybean oils[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2017, 65(48): 10 598-10 603.
- [45] BOWRY V W, STOCKER R. Tocopherol-mediated peroxidation: The prooxidant effect of vitamin E on the radical-initiated oxidation of human low-density lipoprotein[J]. Journal of the American Chemical Society, 1993, 115(14): 6 029-6 044.
- [46] MCCLEMENTS D J, DECKER E. Interfacial antioxidants: a review of natural and synthetic emulsifiers and coemulsifiers that can inhibit lipid oxidation[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2017, 66(1): 20-35.
- [47] PRISCO A D, MAURIELLO G. Probiotication of foods: A focus on microencapsulation tool[J]. Trends in Food Science & Technology, 2016, 48(1): 27-39.
- [48] 陈晨,李建科,张雅丽.蚕蛹油不饱和脂肪酸微胶囊的制备及其性质研究[J].食品工业科技,2012,33(19):247-251.
- [49] 施英,吴娉明,廖森泰,等.蚕蛹油微胶囊的制备[J].蚕业科学,2010,36(5):875-878.