

酱油精细化利用研究进展

龚圣, 刘彩玲, 舒绪刚*, 周新华* (仲恺农业工程学院化学化工学院, 广东广州 510225)

摘要 酱油中含有大量粗蛋白质、粗脂肪、膳食纤维、灰分以及大豆异黄酮等成分, 将这些组分分离提取出来, 可广泛应用于食品工业、医疗保健领域、饲料添加剂以及作物肥料等领域。对酱油中的粗脂肪、蛋白质、膳食纤维和大豆异黄酮等的分离提取及其应用的研究进展进行简要综述与展望, 以期对酱油深加工研究与应用提供理论依据。

关键词 酱油; 精细加工; 蛋白质; 粗脂肪; 膳食纤维; 异黄酮

中图分类号 S816.73 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)15-0028-03

Research Progress on Refine Utilization of Soy Sauce Residue

GONG Sheng, LIU Cai-ling, SHU Xu-gang et al (College of Chemistry and Chemical Engineering, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou, Guangdong 510225)

Abstract The sauce residue contained a large amount of crude protein, crude fat, dietary fiber, ash and soy isoflavones. These components could be separated and extracted, and could be widely used in the food industry, health care fields, feed additives and crop fertilizers, etc. In this paper, the research progress on the separation, extraction and application of the main components in sauce residue was briefly reviewed and prospected, in order to provide theoretical basis for fine processing and application of sauce residue.

Key words Soy sauce residue; Fine processing; Protein; Crude fat; Dietary fiber; Isoflavones

据统计, 2014 年我国生产 825 万 t 酱油, 约产生 550 万 t 酱油渣^[1], 可见我国每年由酱油酿造带来的酱油渣等下脚料数量是非常惊人的^[2-5]。这些酱油渣下脚料仍然含有大量的有用成分或营养物质, 随着原料品种、生产工艺不同, 酱油渣的组成成分也不同, 且差异较大。以大豆为原料酿造酱油, 其酱油渣中粗蛋白质含量约为 25% (干基, 下同)^[1,6-8], 粗脂肪约 9.7%^[4,8-9], 粗纤维 13.5%^[10-11], 还含有灰分以及丰富的异黄酮^[12-13], 此外酱油渣含盐量约 7%, 鲜渣含水 70% 左右。而以豆粕为原料进行酿造产生的酱油渣中粗脂肪含量较低, 为 7.4%~8.6%; 粗蛋白含量较高, 达 19.5%~25.8%; 还原糖含量也较高, 达 10.7%~12.3%^[2]。

由于酱油渣中含有丰富的营养成分或者有机质, 最初利用方式是将酱油渣直接用于饲料、肥料等方面; 但是由于酱油渣中盐分含量很高, 未经处理直接用于动物饲料, 不仅动物适口性差, 而且容易引起食盐中毒; 如果直接用于农作物肥料, 易导致土壤盐碱化; 酱油渣粗脂肪含有大量的不饱和脂肪酸, 在存放过程中极易氧化成为过氧化脂质, 这些过氧化物易断键生成大小不同的醛类分子, 对细胞产生很强的毒性等^[2,14-15]。可见, 除去酱油渣中的盐分等不利组分, 将其中的粗脂肪^[4,9]、蛋白质^[1,16-17]、大豆膳食纤维^[11,18]和异黄酮^[12,19-20]等成分分别分离出来, 加以科学化、高值化的利用, 不仅不会造成污染环境、资源浪费, 而且能产生可观的经济效益, 具有重要的研究价值和巨大的应用潜力。这些分离成分可广泛应用于食品工业、医疗保健领域、饲料添加剂和作物肥料等^[5,13,21-22]。随着全社会对环保以及发展循环经济的

不断重视, 酱油渣的精细化利用不仅能提高酱油渣资源的附加值, 而且能够避免资源浪费和污染环境, 市场前景广阔, 具有重要的社会效益和巨大的经济价值。

1 酱油渣成分的分离与提取

1.1 粗脂肪的分离与提取

酱油渣中粗脂肪含量高达 25%~50%, 部分接近花生仁的含油量。但是它的水分、盐分含量高, 贮存困难, 并且会散发出大量的异味, 污染空气、扰民。而且, 酱油渣脂肪被氧化酸化变质后将不能直接食用做饲料。因此, 将酱油渣粗脂肪分离出来是解决该问题的有效措施。有关从酱油渣中提取粗脂肪的方法主要包括压榨法、单一溶剂萃取、混合溶剂萃取和超声强化萃取等方法^[4,5,9,23]。张荣耀^[23]在其发明专利中公开了一种利用压榨法从湿酱油渣中提取粗脂肪的方法, 先对湿酱油渣杂物除掉之后, 用 120~150℃ 的热风干燥至含水量为 3%~8%; 然后加入动物肉骨、鱼或粉谷糠、小麦壳等粉状辅料, 经搅拌、挤压、膨化, 再用螺旋压榨出毛油, 并获得饲料渣饼。该提取脂肪工艺存在能耗高且油脂经长时间高温, 过氧化物含量很高, 所得的油脂不能再精炼为食用油, 甚至不宜作为饲料原料。

杨莹莹等^[9]采用混合溶剂萃取法对酿造酱油渣以石油醚和 80% 乙醇为溶剂, 对酱油渣中的脂肪酸进行分离提取, 粗脂肪提取率可达 6.3%; 该粗脂肪含有 4 种脂肪酸, 其中软脂酸含量较高, 约 46.90%, 不饱和脂肪酸亚油酸含量为 33.26%; 该方法直接以湿酱油渣为原料, 提取时间短, 操作方便, 但提油率不高。阎杰等^[4]将经过预压脱水的新鲜酱油渣, 以丙酮为溶剂, 并辅以超声强化萃取酱油渣粗脂肪, 发现在超声功率为 360 W、料液比 1:3 (mg/g)、每次萃取 15 min、萃取 8 次的工艺条件下, 能够提取到 33.5% 以上的粗脂肪, 提取酱油渣粗脂肪提取率达到 95% 以上, 获得了非常高效的粗脂肪分离效果。该方法不仅出油率高, 而且制备得到的脂肪产品可以进一步深加工为食用油或做其他原料, 附加值高、剩下残渣可以用做饲料, 并有较长的保质期。

基金项目 广东省科技计划项目 (2017A040405055, 2016A010103036, 2015A020209182); 广州市科技计划项目 (201604020054, 201510010964); 广东省大学生创新创业训练项目 (201511347057)。

作者简介 龚圣 (1978—), 男, 江西临川人, 副教授, 博士, 从事农业精细化学品研究。* 通讯作者: 舒绪刚, 教授, 博士, 硕士生导师, 从事饲料精细化研究; 周新华, 教授, 博士, 硕士生导师, 从事农用精细化学品研究。

收稿日期 2018-03-21

1.2 大豆蛋白的分离与提取 大豆蛋白是一种植物源蛋白质,其氨基酸组成与牛奶蛋白质相近,除蛋氨酸略低外,其余必需氨基酸含量均较丰富,是植物性的完全蛋白质,可与动物蛋白等同,在基因结构上也是最接近人体氨基酸。国内外对蛋白提取方法主要集中在碱提酸沉法、超声辅助碱提法、硫酸铵沉淀法、丙酮提取等方面^[24-27],但是对于普渣蛋白的提取方法研究较少^[28]。

黄诚等^[29]采用碱提酸沉的方法对桐粕蛋白质的提取率为 62.8%。舒冬梅等^[1]采用超声辅助碱法提取普渣蛋白质,普渣蛋白的提取率为 73.69%;但在高碱性条件下,容易引起蛋白质变性和水解,而精氨酸、胱氨酸及部分其他氨基酸会被破坏。因此,研究者探索采用更安全的酶法,常见的蛋白酶有胃蛋白酶、胰蛋白酶、木瓜蛋白酶、Protamex 酶、Flavourzyme 酶等。为提高蛋白质的酶解效率,通常需对原料进行预处理或者采用蛋白酶复合酶解的方法。肖诗英等^[30]利用木瓜蛋白酶,在 50 °C 条件下水解普渣中的蛋白质制备小分子肽,水解度约 28.5%。钱磊等^[31]借助超声波预处理脱脂豆粕,再用 Alcalase 酶进行酶解,得大豆多肽的溶出率为 59.34%。邱宏端等^[16]采用酿造普渣培养光合细菌,普渣光合细菌饲料中粗蛋白含量为 21.3%~22.7%,较原料普渣提高 35% 以上,氨基酸总量提高 20% 左右。边名鸿等^[6]采用白地霉、酵母与黑曲霉多菌种协同发酵普渣生产蛋白质饲料,发酵后粗蛋白含量增加 23.09%。酶法分离蛋白虽然安全性很高,但是其受环境因素如温度、pH 等条件的影响很大,同时对原料的预处理要求也非常高。

1.3 大豆膳食纤维的分离与提取 大豆膳食纤维主要包括纤维素、甘露醇、果胶和木聚糖等,这些成分通常不为人体提供任何营养成分、不产生能量,但具有重要的生理作用,是预防高血压、糖尿病、冠心病、心脏病、肥胖症等富贵病的重要食物成分,可降低血液中胆固醇、促进胃肠蠕动、预防便秘与肠癌、排毒养颜及减肥瘦身等^[11,32-33]。普渣中含有大量的膳食纤维,这些膳食纤维加以利用,能够大幅增加食品的保健功能、提高普渣的经济价值。目前,有关膳食纤维提取的方法主要有酶解法、化学法、酶-化学法酶解法、生物解离法和低温连续相变法等^[10-11,21]。

李杨等^[10]研究发现,生物解离大豆膳食纤维的葡萄糖吸收能力、 α -淀粉酶抑制能力和胆汁酸阻滞指数分别为 3.06~35.78 mmol/g、18.42% 和 33.12%~35.52%,均显著高于其他提取方式的膳食纤维。张泳等^[21]报道了一种低温连续相变制备普渣膳食纤维的技术,在脱脂的基础上制备膳食纤维;该技术特点是利用萃取剂在不同压力和温度下的两相变化,以及一定压力下萃取剂的强穿透性,高效地脱除油脂,然后结合水洗、酶解工艺对产品进行纯化;其特点是:整个工艺过程反应条件温和、无污染、无有毒有害物生成,对普渣中的粗纤维等活性成分起到良好的保护作用,是一种安全、节能的膳食纤维分离工艺,获得的膳食纤维产品具有独特的结构特点和功能特性。

1.4 大豆异黄酮的分离与提取 大豆异黄酮是大豆生长过

程中形成的一类次生代谢产物,是一种生物活性物质。由于是从植物中提取,与雌激素有相似结构,因此大豆异黄酮又称植物雌激素,具有延缓女性衰老、改善更年期症状、预防心脑血管疾病以及癌症的作用。大豆总异黄酮主要包括染料木苷(Genistin)、染料木黄酮(Genistein)、黄豆苷(Daidzin)和黄豆苷元(Daidzein)等成分,其中 97%~99% 以大豆异黄酮糖苷元形式存在^[34-35]。大豆异黄酮的提取方法主要有酸水解、酶水解、溶剂萃取、超声萃取、亚临界萃取等^[36]。由于大豆自身存在 β -葡萄糖苷酶,酱油厂在制备普渣饼和普渣饼储存的发酵过程中,在大豆 β -葡萄糖苷酶和微生物的作用下,大豆异黄酮糖苷可以转化为大豆异黄酮苷元。Takebe 等^[37]公开一项发明专利,利用 β -葡萄糖苷酶从大豆异黄酮的化合物中水解得到配糖物;Obata 等^[38]从普渣饼中直接提取纯化大豆异黄酮。王丽娟等^[19,39]采用乙醇为萃取溶剂从普渣中提取大豆异黄酮,通过采用超声辅助萃取法,粗产品得率和纯度都有所提高,粗产品经过聚醚砜膜超滤后异黄酮纯度可达 32.7%;其工艺特点是避免了强酸水解的复杂工艺、设备腐蚀、副产物多、三废处理困难的问题。刘淑兰等^[13]建立了大豆普渣总异黄酮的亚临界水提取方法,异黄酮的得率为 0.144 6%,产品纯度为 5.16%;与传统的有机溶剂萃取法相比,亚临界萃取法具有提取时间短、效率高、环境友好等优点,但是产品得率偏低、纯度不高等。

2 应用

2.1 蛋白质添加剂 早在 100 年前,学者们就开始针对部分婴儿因为体质、宗教或者健康原因,不能饮用牛奶而发展的大豆蛋白配方婴儿奶粉。在美国,市场上大豆蛋白配方婴儿奶粉占整个市场的 25% 左右^[40]。著名的跨国公司美国 Dupont、日本的 Fuji 以及一些中国企业加工大豆分离蛋白质产品,这些产品可用于婴儿配方奶粉、成人奶粉以及其他食品原料。Li 等^[17]将大豆分离蛋白质作为婴儿配方奶粉营养添加剂,研究其体内消化性能、摇溶性能以及免疫反应性能认为,大豆蛋白具有良好的体内消化性能以及更低的免疫反应性,适合那些对牛奶过敏的婴儿食用。大豆蛋白的另一应用研究热点是解决部分人对大豆蛋白过敏的难题,特别是那些需要饮用含有大豆蛋白产品的婴儿、儿童以及一些动物^[41],目前学者们在该领域已经取得显著成效。Bu 等^[42]将大豆蛋白通过米拉德反应,使大豆蛋白链上的 $-NH_2$ 与糖类物质发生米拉德反应,大豆蛋白-多糖复合物改变大豆蛋白的自身特性,大豆 β -大豆伴球蛋白过敏原抗原性大幅降低到 29.8% 以下。

2.2 膳食纤维添加剂 膳食纤维在饮食中扮演着越来越重要的角色,已被列为继碳水化合物、脂肪、蛋白质、维生素、水和矿物质人类所需 6 大营养素之后最重要的饮食营养素^[11],是预防高血压、心脏病、冠心病、肥胖症、糖尿病等富贵病的重要食物成分。已有大量的研究证实,膳食纤维具有改善肠道菌群的作用^[32]。此外,大豆膳食纤维能够明显地缩短酸奶发酵时间,提高酸奶持水率;与变性淀粉复配可替代食品明胶,复配后的酸奶细腻度较高、口感清爽、凝块结实

等^[43-44],这主要是因为大豆膳食纤维对蛋白质的胶凝特性有显著的调节作用^[44]。将大豆膳食纤维粉添加到香肠中并辅于大蒜等原材料,由于加入了大豆膳食纤维,增加了该产品的保健功能,并且赋予蒜肠良好的口感和弹性等^[18]。

2.3 异黄酮保健品或添加剂 自 Akiyama 等^[45]1987 年发现大豆异黄酮能够降低激素敏感型肿瘤的发生率后,大豆异黄酮在医药保健领域迅速成为研究热点。1999 年,美国农业部和爱荷华州立大学共同创立了富含大豆异黄酮食品的在线数据库;美国饮食改善办公室、女性健康研究办公室以及国家老龄化研究所召开联合研讨并高度评估植物雌激素在预防老年人疾病方面的作用^[46]。在畜牧生产中,大豆异黄酮具有抗氧化、抗应激、提高机体免疫力和抗菌等生理作用,目前已开始应用于畜禽生产中。在母猪日粮中添加适量的活化大豆异黄酮能够促进母猪泌乳、提高泌乳量、提高哺乳仔猪断奶质量等^[47]。此外,大豆异黄酮具有抗氧化的功能,研究发现其能帮助清除子鸡体内的氧氮自由基,具有缓解试验子鸡氧化应激的作用,从而对于鸡禽有明显的促生长效果^[48]。

2.4 其他领域 酱渣粗脂肪作为从酱渣中回收的脂肪酸,可广泛用于饲料添用油、农业肥料甚至合成材料的原料。因为酱渣粗脂肪中含有较高的不饱和脂肪酸,景旭东等^[22,49]将酱渣粗脂肪中的不饱和脂肪酸分子中的双键经过一定程度环氧化改性之后,双键氧化或聚合形成大分子,改变粗脂肪分子结构,这样就更有利于后续的成膜固化,缩短成膜的时间。应用该改性油脂制备的包膜肥料进行盆栽试验,结果表明,改性粗脂肪包膜氮肥能够显著促进玉米生长期茎秆的增粗,特别是到后期起到了很好的养分缓释作用,这主要是因为缓释包膜氮肥的膜层,一方面形成致密的网状结构,另一方面在网络结构内形成许多的微孔结构,这是膜层中尿素溶出的通道,在包膜溶胀时氮肥的良好溶出通道,具有良好的缓释性能。更重要的是,生产该缓释氮肥成本相对低廉,仅为市售普通化肥的 1.5 倍,为酱渣粗脂肪的精细化利用提供一个崭新途径与思路。

此外,酱渣中的脂肪酸、蛋白质和粗纤维等成分可在一定程度上替代部分来自石化产品的化工原料。比如酱渣脂肪由于具有一定的不饱和双键可用于聚酯等的合成原料^[50],大豆蛋白作为一种廉价、天然、可生物降解化合物可用于制备环保型的涂料或者胶黏剂^[51]。

3 小结与展望

随着不可再生资源的不断枯竭,开发替代原料是今后的发展趋势。除去酱渣中不利成分,将其中的粗脂肪、蛋白质、膳食纤维和异黄酮等成分提取出来,这些分离成分可广泛应用于食品工业、医疗保健领域、饲料添加剂和作物肥料等,不仅能够解决酿造企业的环境污染问题,而且可产生可观的经济效益。

目前对大豆酱渣的深加工更多地局限于单一成分的分离与加工方面。这类加工方法,分离得到其中一种有效成分,而往往破坏了酱渣中的其他组成,如为了分离膳食纤维,

而破坏了蛋白质等其他组成。这类酱渣加工方法的价值依然有限,未能充分利用好酱渣各有效组分。因此,如何实现充分利用酱渣资源并有效分离提取各成分,是酱渣深加工工作必须解决的另一个问题。对酱渣的各个组成的分离提取进行综合研究,是酱渣综合利用的必然趋势,今后不但要进一步加强酱渣各组分高效分离纯化技术工艺研究、简化工艺流程等,更重要的是,强化酱渣中各组分的系统性分离提取的技术集成研究,从而更加有效地变废为宝、提高综合经济效益,尽量减少或避免资源浪费与二次污染,这将是今后酱渣综合利用的更加经济、更加环保、更具发展潜力的开发途径。

参考文献

- [1] 舒冬梅,王德良,宋绪磊,等. 酱渣蛋白提取方法与工艺优化的研究[J]. 中国酿造,2015,34(6):67-71.
- [2] 阎杰. 酿造酱渣开发利用的研究进展[J]. 中国酿造,2007,26(2):5-8.
- [3] 周雄川. 高膳食纤维风味酱油的研究[D]. 武汉:湖北工业大学,2014:45-50.
- [4] 阎杰,何海芬,林海琳,等. 超声强化从酱渣中萃取粗脂肪[J]. 粮食与油脂,2017,30(7):79-82.
- [5] 何海芬,阎杰,林海琳,等. 从酱渣中制取粗脂肪的研究进展[J]. 食品与发酵工业,2014,40(10):180-183.
- [6] 边名鸿,宗绪岩,左勇,等. 多菌种协同发酵酱渣生产蛋白质饲料的工艺优化[J]. 饲料研究,2012(8):83-85.
- [7] 马良,王昌禄,范震,等. 酱油渣资源化利用现状及其饲料化发展前景[J]. 农业环境与发展,2010,27(2):25-28.
- [8] QUIROGA A, A NÓN M C, PUPPO M C. Characterization of soybean proteins-fatty acid systems[J]. J Am Oil Chem Soc,2010,87(5):507-514.
- [9] 杨莹莹,姚舜,万海清,等. 酱油渣中油脂提取工艺的研究及其脂肪酸成分分析[J]. 中国酿造,2011,30(11):174-177.
- [10] 李杨,董洁莹,孙红波,等. 不同提取方式对大豆膳食纤维理化及功能特性影响的研究[J]. 食品科学,2017(10):1-11.
- [11] 权美平,侯云云. 膳食纤维的生理保健功能及其提取工艺的研究进展[J]. 保鲜与加工,2013,13(1):49-51.
- [12] 陈恩赞,苏海佳,谭天伟. 微波提取酱渣中总异黄酮的实验研究[J]. 环境工程学报,2010,4(2):427-430.
- [13] 刘淑兰,张永忠,姚琪,等. 亚临界水法提取大豆酱渣饼中总异黄酮的研究[J]. 中国油脂,2010,35(11):64-67.
- [14] 马建林,马立宁,刘时武,等. 脂肪乳剂灌胃诱导家兔红细胞膜脂质过氧化损伤及其流动性改变的实验研究[J]. 心脏杂志,2014(1):21-23.
- [15] PENG Y J, WANG J K, LIN J, et al. Effect of dietary soybean oil and antioxidants on fatty acids and volatile compounds of tail subcutaneous and perirenal fat tissues in fattening lambs[J]. Journal of animal science and biotechnology,2016,7(3):382-390.
- [16] 邱宏端,李明伟,陈聪辉,等. 耐盐红螺菌科细菌发酵酱渣生产蛋白饲料的工艺研究[J]. 农业工程学报,2002,18(6):118-122.
- [17] LI H J, ZHU K X, ZHOU H M, et al. Comparative study about some physical properties, *in vitro* digestibility and immunoreactivity of soybean protein isolate for infant formula[J]. Plant Foods Hum Nutr,2013,68(2):124-130.
- [18] 王菲菲,赵晨. 大豆膳食纤维蒜肠的研制[J]. 保鲜与加工,2017,17(2):52-57.
- [19] 王丽娟,张永忠,张丽丽. 超声波辅助法提取大豆酱渣饼中大豆异黄酮[J]. 中国油脂,2009,34(5):52-55.
- [20] WATANABE S, YAMAGUCHI M, SOBUE T, et al. Pharmacokinetics of soybean isoflavones in plasma, urine and feces of men after ingestion of 60 g baked soybean powder[J]. The journal of nutrition,1998,128(10):1710-1715.
- [21] 张泳,赵力超,贺丽萍,等. 低温连续相变制备酱油渣膳食纤维及其特性研究[J]. 现代食品科技,2014,30(5):185-190.
- [22] 景旭东,毛小云,阎杰,等. 改性酱渣废油制备包膜氮肥及对玉米生长的影响[J]. 华南农业大学学报,2016,37(4):25-31.
- [23] 张荣耀. 酱油渣的榨油方法:CN1539937A[P]. 2004-10-27.

5020 × 390 的 GR 活性变化趋势和 GSH 含量并不一致,这可能由于 GSH 并不是全由 GR 这一途径合成,GSH 也可由 γ -ECS 和 GSHS 催化合成。

4 结论

小黑麦 5020 × 389 和 5020 × 390 表现为具有耐铝性,且 5020 × 390 耐铝性强于 5020 × 389。不同耐铝品种间叶的 APX、GPX 和 GR 活性差异是小黑麦及其异源亲本耐铝性差异显著的原因之一。APX 与 GPX 可能是 5020 × 390 耐铝的主要作用酶,而 GR 可能是 5020 × 389 耐铝的主要作用酶。

参考文献

- [1] 曾道孝. 硬粒小麦简介[J]. 农业科技通讯,1979(12): 36.
- [2] WILSON A S. III. - On the fertilisation of the cereals[J]. Trans Proc Bot Soc Edinburgh,1873,12(1/2/3/4):84-95.
- [3] 杨漫宇. 小麦-黑麦 1RS/1BL 易位系及 4RS/4DL 新型易位系的鉴定及分子细胞遗传学研究[D]. 雅安:四川农业大学,2014:2-3.
- [4] MITTLER R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance[J]. Trends Plant Sci,2002,7(9):405-410.
- [5] CHEN L S, QI Y P, JIANG H X, et al. Photosynthesis and photoprotective systems of plants in response to aluminum toxicity[J]. Afr J Biotechnol, 2010,9:9237-9247.
- [6] INZÉ D, MONTAGU M V. Oxidative stress in plants[J]. Curr Opin Plant Biotech,1995,6(2):153-158.
- [7] DEL RIO L A. ROS and RNS in plant physiology: An overview[J]. J Exp

- Bot,2015,66(10):2827-2837.
- [8] GIANNOPOLITIS C N, RIES S K. Superoxide dismutases; I. Occurrence in higher plants[J]. Plant Physiol,1997,59(2):309-314.
- [9] RAO M V, PALIYATH G, ORMROD D P, et al. Influence of salicylic acid on H_2O_2 production, oxidative stress, and H_2O_2 -metabolizing enzymes[J]. Plant Physiol,1997,115(1):137-149.
- [10] DHINDSA R S, PLUMB-DHINDSA P, THORPE T A. Leaf senescence: Correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase[J]. J Exp Bot,1981,32:93-101.
- [11] 李忠光, 龚明. 植物生理学综合性和设计性实验教程[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2014:59-60.
- [12] YANG Y J, CHENG L M, LIU Z H. Rapid effect of cadmium on lignin biosynthesis in soybean roots[J]. Plant Sci,2007,172:632-639.
- [13] 黄爱纓, 吴珍骞. 水稻谷胱甘肽过氧化物酶的测定法[J]. 西南农业大学学报,1999,21(4):324-327.
- [14] ARAVIND P, PRASAD M N V. Modulation of cadmium-induced oxidative stress in *Ceratophyllum demersum* by zinc involves ascorbate-glutathione cycle and glutathione metabolism[J]. Plant physiology and biochemistry,2005,43(2):107-116.
- [15] 何虎翼, 何龙飞, 黎晓峰, 等. 铝胁迫对黑麦幼苗活性氧系统的影响[J]. 麦类作物学报,2005,25(6):91-95.
- [16] 韦冬萍, 刘鹏, 徐根娣, 等. Al 胁迫下油菜生物量 Al 积累及保护酶系统的响应[J]. 农业环境科学学报,2008,27(6):2351-2356.
- [17] 蒋明义, 荆家海. 植物体内羟自由基的产生及其与脂质过氧化作用启动的关系[J]. 植物生理学通讯,1993(4):300-305.
- [18] 冯晴, 徐朗莱, 叶茂炳, 等. 小麦叶片衰老过程中 CAT 和 APX 活力及其同工酶谱的变化[J]. 南京农业大学学报,1997,20(2):95-99.

(上接第 30 页)

- [24] CHEN X, LUO Y J, QI B K, et al. Improving the hydrolysis efficiency of soy sauce residue using ultrasonic probe-assisted enzymolysis technology[J]. Ultrasonics sonochemistry,2017,35(Part A):351-358.
- [25] AGUIRRE F J S, MILESI V, AÑÓN M C. Effect of extraction and precipitation conditions during soybean protein isolate production on the genistein series content[J]. J Am Oil Chem Soc,2007,84(3):305-314.
- [26] 沈晗, 金志刚, 孙宝国, 等. 超声辅助双酶分步酶解酱油蛋白的响应面条件优化[J]. 中国酿造,2010,29(3):16-22.
- [27] 吴国权, 朱新贵, 李学伟. 单纯形法优化碱溶酱油中粗蛋白的工艺研究[J]. 中国调味品,2017,42(8):106-110.
- [28] ZHAO X H, LI Y M, HE X W, et al. Study of the factors affecting the extraction of soybean protein by reverse micelles[J]. Mol Biol Rep,2010,37(2):669-675.
- [29] 黄诚, 尹红. 桐粕蛋白质提取工艺研究[J]. 现代农业科技,2008(7):11-12.
- [30] 肖诗英, 万端极, 吴正奇, 等. 酶法水解酱油蛋白的工艺研究[J]. 中国调味品,2013,38(2):56-58.
- [31] 钱磊, 包乐媛, 鄂旭, 等. 脱脂豆粕酶法制备大豆肽[J]. 化学与生物工程,2007,24(3):39-43.
- [32] 胡杨, 周梦舟. 膳食纤维在食品中的研究进展[J]. 粮油食品科技,2017,25(4):48-51.
- [33] 姚茂昌. 实用大豆制品加工技术[M]. 北京:化学工业出版社,2009:202-206.
- [34] MASILAMANI M, WEI J, SAMPSON H A. Regulation of the immune response by soybean isoflavones[J]. Immunol Res,2012,54(1/2/3):95-110.
- [35] 梅忠, 孙健, 孙恺, 等. 大豆异黄酮的保健功效、生物合成及种质发掘与遗传育种[J]. 核农学报,2014,28(7):1208-1213.
- [36] 王帅, 朱新贵, 李学伟. 酱油渣中色素及大豆异黄酮的提取研究[J]. 中国酿造,2017,36(5):46-52.
- [37] TAKEBE M, SHIRAIISHI J. Product containing healthful component and process for preparing the same:6303161[P]. 2001-10-16.
- [38] OBATA A, MANAKA T, TOBE K, et al. Process for producing isoflavone

- aglycone containing composition:6444239[P]. 2002-09-03.
- [39] 王丽娟, 张永忠, 杨薇薇. 从酱油渣中提取大豆异黄酮的研究[J]. 食品工业科技,2008,29(10):167-170.
- [40] BHATIA J, GREER F. Use of soy protein-based formulas in infant feeding[J]. Pediatrics,2008,121(5):1062-1068.
- [41] GOMAA A, BOYE J I. Impact of thermal processing time and cookie size on the detection of casein, egg, gluten and soy allergens in food[J]. Food Res Int,2013,52(2):483-489.
- [42] BU G H, ZHU T W, CHEN F S, et al. Effects of saccharide on the structure and antigenicity of β -conglycinin in soybean protein isolate by glycation[J]. Eur Food Res Technol,2015,240(2):285-293.
- [43] 蒲金平. 可溶性大豆多糖和大豆膳食纤维在乳制品中的应用研究[D]. 上海:华东师范大学,2014:31-36.
- [44] 王研, 杜先锋. 大豆蛋白-大豆膳食纤维凝胶的流变特性[J]. 安徽农业大学学报,2016,43(1):11-16.
- [45] AKIYAMA T, ISHIDA J, NAKAGAWA S, et al. Genistein, a specific inhibitor of tyrosine-specific protein kinase[J]. Journal of biology chemistry,1987,262(12):5592-5595.
- [46] ZHANG Q T, TU Z C, WANG H, et al. Functional properties and structure changes of soybean protein isolate after subcritical water treatment[J]. J Food Sci Technol,2015,52(6):3412-3421.
- [47] 张晓霞, 刘春雪. 大豆异黄酮及其在猪生产中的应用研究进展[J]. 粮食与饲料工业,2017(10):53-56.
- [48] 林夏菁, 蒋守群, 林哲敏, 等. 大豆异黄酮和抗生素对文昌鸡生长性能、肉质和血浆抗氧化指标的影响[J]. 华南农业大学学报,2018,39(1):1-6.
- [49] 景旭东, 刘源, 林海琳, 等. 共轭酱油废油包膜肥对玉米生长的影响及膜层结构分析[J]. 江苏农业学报,2016,32(3):563-569.
- [50] CHEN N R, LIN Q J, RAO J P, et al. Water resistances and bonding strengths of soy-based adhesives containing different carbohydrates[J]. Ind Crops & Prod,2013,50(10):44-49.
- [51] WANG F P, WANG J F, WANG C P, et al. Fabrication of soybean protein-acrylate composite mini-emulsion toward wood adhesive[J]. European J Wood & Wood Prod,2017,76(1):305-313.