

绿豆发酵制品及其功能活性研究

Research progress fermented food and its functional properties of mung bean

王立¹ 任思¹ 周素梅² 易翠平³

WANG Li¹ REN Si¹ ZHOU Su-mei² YI Cui-ping³

佟立涛² 王丽丽² 周闲容²

TONG Li-tao² WANG Li-li² ZHOU Xian-rong²

(1. 江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 中国农业科学院农产品加工研究所, 北京 100193;

3. 长沙理工大学化学与食品工程学院, 湖南 长沙 410114)

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;

2. Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing

100193, China; 3. School of Chemistry and Food Engineering, Changsha University of Science

and Technology, Changsha, Hunan 410114, China)

摘要:主要介绍了绿豆的品质特点和绿豆发酵过程中微生物菌种类型的变化,以及主要的绿豆发酵食品及发酵绿豆的功能性质,对目前生产加工过程中存在的问题进行分析,并提出了解决建议。

关键词:绿豆;发酵食品;营养及品质特点;发酵菌株;功能性质

Abstract: In this paper, the quality characteristics of mung bean and the types of microbial strains used in fermented mung bean products were summarized. And the types of mung bean fermented food and their functional properties were also introduced. Furthermore, the problems and suggestions were listed in the paper, which was helpful to develop and utilize the mung bean.

Keywords: mung bean; fermented food; nutrition and quality characteristics; fermentation strains; functional properties

绿豆是热带、亚热带和温带地区普遍种植的一种豆科植物,也是中国最常见的豆类之一^[1]。据统计,中国绿豆种植面积和产量均居世界前列,年出口量为29万t左右^[2]。绿豆的营养成分较全面,蛋白质和多糖含量分别占其干重的26%~28%^[3]和18%~22%^[4],同时也含有

膳食纤维^[5]、维生素^[6]、矿物质^[7]等其他常规营养成分。近年来,研究发现绿豆中还含有酚类化合物^[6]、超氧化物歧化酶^[8]等活性成分。传统加工方式(如蒸煮、烘烤等)生产的绿豆制品营养成分会部分流失,降低食用价值。

发酵食品一般指利用微生物的代谢作用,将原料中的蛋白质、淀粉和脂肪等进行降解、转化而制得的食物^[9]。发酵有利于提高食品的营养价值,改善食品的风味、口感等。目前,国内已相继开发出绿豆酸牛乳^[10]、豆汁^[11]、绿豆发酵饮料^[12]和绿豆酒^[13]等发酵食品,但其生产规模与中国绿豆产量相比,差距较大,有待进一步发展。研究发现绿豆发酵产品具有降血糖^[14]、抗炎^[15]、降血脂^[16]、降血压^[17]和清热解毒^[18]等功能。在绿豆发酵过程中使用的菌种主要是乳酸菌^[13]和酵母菌^[10],某些真菌(如蛹虫草 SN-18)也可用于绿豆发酵^[19]。本研究拟对绿豆中主要营养成分、品质特点、发酵过程所利用微生物菌种菌株的变化、以及绿豆发酵食品种类及发酵绿豆功能性质进行综合分析,以期高营养价值的绿豆发酵食品产业化发展提供一定的参考依据。

1 绿豆的营养及品质特点

1.1 营养成分

绿豆是一种高蛋白、中淀粉、低脂肪的豆类^[20],不仅含有丰富的常规营养成分^[3-7],还含有酚类化合物、超氧化物歧化酶、植物甾醇等多种活性物质^[6,8]。近年来有关绿豆多酚的研究报道越来越多,酚类物质在绿豆中一般以黄酮类^[21]和酚酸类^[22]形式存在,含量分别为9.15~

基金项目:现代农业产业技术体系专项资金资助项目(编号: CARS-08-G19)

作者简介:王立(1978—),男,江南大学教授,博士。

E-mail: wl0519@163.com

收稿日期:2018-06-09

10.26 mg/mL 和 15.71~17.29 mg/kg,且绿豆皮中酚类物质的含量远高于绿豆仁。在氨基酸的组成上,绿豆像其他豆类一样,存在高含量的谷氨酸,但并不缺乏谷物类限制性氨基酸—赖氨酸,而是缺乏含硫氨基酸^[23]。因此,在研制绿豆发酵食品时,可采用不同原料互配,或改善工艺,从而提高绿豆营养成分的利用率。

1.2 品质特点

绿豆的品质特点是影响绿豆制品品质的重要指标,绿豆中蛋白质和淀粉含量较高,因此,绿豆制品的性质多与绿豆淀粉和蛋白质的含量或组成相关。绿豆淀粉中由于直链淀粉占比较高,易老化产生沉淀^[24],故传统上常采用绿豆淀粉生产绿豆粉丝、绿豆凉粉等,此外,绿豆粉丝的品质随着绿豆淀粉老化速度的增加而提高^[25]。近年来,随着植物蛋白饮料的兴起,绿豆越来越多地被应用于饮料生产。经过一系列工序,绿豆被加工成绿豆饮料,营养成分更易被人体吸收,但随着储藏时间的延长,未被分解的淀粉容易老化产生沉淀,从而影响绿豆饮料的储藏稳定性,降低消费者的感官评定值和购买欲望。

绿豆中蛋白质的含量仅次于淀粉的含量,采用传统方法进行加工时,绿豆蛋白容易变性,丧失某些重要的功能特性,而目前关于蛋白质的含量与组成对绿豆加工制品的研究主要集中在提取蛋白质方法的改善及对蛋白质功能性质的研究上,或着重于研究利用绿豆、及其与其他植物类原料进行互配生产的植物蛋白饮料^[26]。因此,后续研究可以围绕绿豆蛋白组成及含量对绿豆制品性质的影响展开,通过调节绿豆中蛋白质组成的比例与含量调整绿豆制品品质。

2 绿豆发酵菌种

传统绿豆发酵制品一般通过自然发酵形成,发酵过程中多种菌共同作用,发酵时间较长,因此,产品容易污染杂菌,性能不稳定,较难实现大规模产业化生产^[27]。随着菌种鉴定技术和筛选技术的发展,新型绿豆发酵制品多采用单一菌种和几种已知菌种共同发酵,产品品质得到了保障。绿豆制品发酵过程中采用的微生物主要是乳酸菌和酵母菌及真菌和霉菌^[19, 28]。

2.1 绿豆传统发酵食品中的菌种

传统发酵绿豆制品多采用自然发酵,产品性能不稳定,不适宜大规模生产^[27]。王晓晔^[29]对绿豆、粳米、糯米酸浆中的菌株进行了分离鉴定,发现发酵酸浆的菌种主要是酵母菌和乳酸乳球菌,且发酵过程中,同一菌种不同菌株沉淀淀粉的能力有所不同,其中乳酸乳球菌 MBSL3 沉淀淀粉能力最强。张力莉等^[30]通过对不同商家豆汁中的菌落进行分离鉴定,得出发酵豆汁的优势菌属为乳酸乳球菌、链球菌和乳酸杆菌,其中发酵豆汁产酸能力和絮凝能力最强的菌株分别为乳酸乳球菌 D-23 和醋酸杆菌

M-10。

2.2 绿豆新型发酵食品中的菌种

绿豆新型发酵食品一般通过人工方式生产,发酵菌株为已知的一种或多种菌,产品性能稳定,适宜工业化生产。李海燕等^[31]以鲜牛奶、绿豆粉和白砂糖为主要原料,选择保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌共同发酵,生产了一种酸甜适口、营养丰富的绿豆酸奶。王晓英等^[32]采用保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌(1:1)对绿豆枸杞复合汁进行发酵,并添加柠檬酸和白砂糖调配酸甜比,研发出了一款风味独特的乳酸菌饮料。

由此可得,传统发酵绿豆食品是多菌种菌株共同作用的结果,且每种菌具体作用效果并不可知,产品性能不稳定,易受多种因素的影响。而新型绿豆发酵食品则是选定的单一或多菌种作用的结果(目前多采用乳酸菌进行发酵,其中保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌使用最多),其作用效果可估,可以更好的对生产过程进行调节,生产出满足品质要求的绿豆发酵制品。

3 绿豆发酵制品

绿豆中淀粉和蛋白质大部分以大分子形式存在,部分小分子营养成分(如酚类)也多以结合形式存在,因此,需要对绿豆进行发酵处理,使营养成分释放出来被人体吸收利用。

3.1 绿豆发酵饮品

3.1.1 含乳绿豆发酵饮料 绿豆中蛋白质含量高,是生产发酵乳饮料的优质原料。张志胜等^[10]以 4%绿豆浆和 30%鲜奶为原料,经发酵后制成口感良好的发酵乳饮料。左锋等^[12]确定了生产小米绿豆发酵饮料的最佳工艺。Rao 等^[33]以绿豆为原料制备酸奶类产品,其感官品质和蛋白质的溶解性均不如以动物奶为原料制备的酸奶。目前,国内已有较多利用绿豆为原料生产乳酸饮料的研究,但实际投入工业化生产的并不多,更多的还是采用动物奶为原料。由此可得,以绿豆为原料发酵制酸乳仍将是绿豆产业化发展的一个方向。

3.1.2 不含乳绿豆发酵饮料 目前,国内已开发多种不含乳绿豆发酵饮料,如豆汁^[11]、绿豆乳酸饮料^[12]等。Ding 等^[11]发现在豆汁加工过程中,游离氨基酸含量有所增加。李晓蒙^[13]以糊化速熟的绿豆和大米为原料经固态发酵制得绿豆米酒,并获得最佳工艺参数。邓桂兰^[34]利用甜酒曲对糯米和绿豆进行发酵,生产出了品质优良的绿豆甜酒。随着国内外对绿豆发酵饮料加工方法的不断改进,将来可能会开发出能和酸奶或酵素媲美的具有保健功能、风味独特的绿豆类酸奶饮料,从而拓宽绿豆的销售市场。

3.2 绿豆发酵面制食品

绿豆粉作为面制食品原料时,会对面制食品的质构

产生负面影响,而在面制食品加工过程中加入微生物进行发酵时,微生物的催化作用可将其中的成分进行适当的降解,从而抵消其负面效益^[35]。

3.2.1 发酵焙烤杂豆食品 以绿豆粉代替部分小麦粉制成的杂粮烘焙食品不仅与全麦食品口感接近,且营养更为丰富。苏晓琴等^[35]研究发现绿豆酸面团面包品质较绿豆面包有所提升,整体可接受度更接近小麦面包。Yenrina 等^[36]确定了当小麦粉:改性木薯粉:绿豆粉为12:5:3时,制作的面包风味和口感与全麦面包最为相似,且营养价值较全麦面包有所提高。惠丽娟^[37]研究发现当红小豆与绿豆以3:1(总10 g)加入时,生产的杂粮蛋糕品质最好。目前关于以绿豆为原料制作发酵烘焙食品的研究只能查找到上述几种,工艺也并不成熟(相较于以小麦为原料制作烘焙食品),因此,以绿豆为原料生产焙烤食品的工艺还有待进一步研究与改善。

3.2.2 绿豆馒头 绿豆馒头具有营养价值高、成本低等优势,已逐渐成为生产馒头新产品的主要研究方向。陈颖等^[38]采用南瓜和绿豆为原料制作了具有降血糖作用的杂粮馒头。程晶晶等^[39]研究发现当在小麦粉中添加10%的绿豆超微粉时,加工的馒头口感和质构最佳。由上可知,与传统小麦馒头相比,绿豆馒头不仅价格便宜,且具有降血糖等保健功效。但同时,以绿豆为原料生产的馒头也存在缺陷:①绿豆粉纤维含量高,加工的馒头口感差;②绿豆粉面筋蛋白含量低,生产的馒头嚼劲差。因此,关于改善绿豆馒头品质的研究还有大量的工作有待进行。

3.2.3 其他绿豆发酵面制食品 除上述几种绿豆发酵面制食品外,传统上采用绿豆粉发酵生产的面制食品主要还有粉丝、面条、凉粉等。高新章^[40]对传统粉丝生产工艺进行改良,生产出了品质优良的绿豆粉丝;王洋等^[41]在高新章工艺基础上进一步改进(采用复合磷酸盐代替明矾),制作了无矾绿豆粉丝。

3.3 其他绿豆发酵食品

目前,国内外对于绿豆发酵制品的研究主要集中在制备发酵饮料和面食方面,此外,也有其他小吃类食品。吴晓菊等^[42]采用感官评定优化得到了绿豆干酪加工的最佳配方。张钟等^[43]以绿豆、魔芋粉、卡拉胶、脱脂奶粉为主要原料制作了双歧绿豆乳果冻。张晓黎等^[44]经研究得出了发酵绿豆芽饮料的最优工艺条件。Kao 等^[18]研究发现绿豆发酵制成的绿豆羹具有抗氧化和抑制黑色素生成的能力。由此可知,国内外研究的绿豆发酵产品大多从其营养价值入手,部分产品甚至从保健功能或医学价值出发,但其中的机理研究较少,因此,深度开发绿豆发酵食品,需要先从这些方面进行研究。

虽然目前已有较多关于绿豆发酵食品的研究,但最佳试验效果的获得大多都停留在实验室阶段,如何从实

验室研发过渡到工业化生产还有待进一步研究。但是随着人们生活水平的提高和对高质量食品的追求的增加,以及政府和企业对功能性饮料的重视,绿豆发酵食品的发展势头确实有所增强;另外,一些食品加工高新技术的发展与应用,如超声波提取,为工业化生产品质优良、营养丰富的绿豆发酵食品提供了技术保障,也为实现从实验室过渡到工业化打下了良好基础。

4 绿豆发酵制品的功能性质

绿豆含有多种活性成分,可发挥相应的功能特性,而有些活性成分在生绿豆中常以结合形式存在,不能直接发挥作用,经发酵处理后,这些以结合形式存在的活性成分大部分可被释放出来,从而发挥更好的健康效益。

4.1 降血糖

在所有豆类中,绿豆具有高膳食纤维含量和低血糖指数,故可作为糖尿病患者的替代食物^[45]。Yao 等^[46]研究发现,绿豆醇提物有利于降低Ⅱ型糖尿病老鼠中的血糖含量,但有临床研究^[47]表明,未发酵绿豆对于糖尿病患者餐后血糖水平的降低效果非常有限。而有研究^[48]发现,固态发酵绿豆可以通过增加绿豆抗氧化活性和植物化学物的含量,从而增强绿豆降血糖的功效。也有研究^[14]发现,经发酵后,绿豆 γ -氨基丁酸(GABA)增加了7.6倍,而GABA含量的增加可能与发酵绿豆提取液增强血糖调控能力有关。总而言之,发酵绿豆制品含有更高的植物化学物和GABA,具有更高的降血糖能力,可以进一步开发成糖尿病患者的替代保健食品,拓宽绿豆的消费市场。

4.2 抗炎

Montana 等^[49]研究表明,植物黄酮类和酚酸类具有抗氧化活性、可清除活性氧,发挥抗炎效果。Ali 等^[15]研究发现,绿豆发芽/发酵后提取物对急性炎症均有较好的治疗效果,这可能与绿豆发芽/发酵过程中黄酮类和酚酸类的高表达有关。保健食品常被给予具有严重炎症的病人食用,而发芽/发酵绿豆对试验老鼠都表现出良好的抗炎效果,因此,发芽/发酵绿豆具有被制作成保健食品的潜力,可作为抗炎药物替代品,解决基础医疗问题。

4.3 降血脂

豆类如大豆和绿豆一直被认为是能预防癌症、心血管等疾病等慢性疾病的潜在保健食品^[50]。研究^[51-52]发现,富含GABA的食物,如发酵大豆和糙米糠等是降低高血脂的良好食物来源,而研究^[15]发现,发酵绿豆也是GABA的良好来源,因此,发酵绿豆也具有潜在降血脂功能。Yeap 等^[16]通过喂食小鼠高胆固醇饮食得到高血脂小鼠,并以血脂康、发酵绿豆和未发酵绿豆为辅食变量,测定10周后小鼠血脂变化,结果表明,较高剂量发酵绿豆降血脂能力明显高于未发酵绿豆,而且保肝能力优于血脂康。

由此可得,发酵绿豆具有良好的降血脂能力,并具有比血脂康更好的护肝能力,可以作为一种降血脂和保肝护肝的替代保健食品来源。

4.4 抗氧化和降血压

有研究^[15]认为,发芽绿豆和发酵绿豆中存在较高含量的没食子酸、杜荆苷和异杜荆苷等活性成分,因而具有更高的潜在抗氧化活性。也有研究^[15]表明,发酵绿豆和发芽绿豆具有更高的GABA含量和游离氨基酸含量,从而具有更高的抗氧化活性。然而,无论绿豆抗氧化活性的高低与何种活性成分有关,其都与降血压的能力成正相关。Yeap等^[17]研究结果显示,发芽/发酵绿豆提取物对于急性和慢性血压升高的降低都有效,这可能与GABA的含量增加有关,同时,发芽绿豆的降血压能力要比发酵绿豆低(发芽绿豆GABA含量更高),故发酵绿豆降血压的作用机制并不是和GABA或酚类物质含量成线性相关,因此,绿豆降血压的相关作用机制还有待进一步探究。

综上所述,绿豆及发酵绿豆的功能性质均与绿豆中有益成分(黄酮类、酚酸类和游离氨基酸)含量有关。目前,关于这方面的研究主要集中在两方面:一是通过体内/体外检测,探究绿豆及发酵绿豆可能存在的功能性质;二是测量可能与这些功能性质相关的活性成分的含量,并对它们的关系进行验证。总之,现在关于功能性质方面的研究主要围绕“宏观”展开,而对于“微观”基因调控方面的研究较少,因此,可以通过一些基因检测手段,测定与这些功能相关的基因及其调控机制,并通过基因改造技术改善这些功能,从而进一步提高绿豆的营养价值。

5 绿豆发酵食品存在的问题及建议

随着生活水平的提高,人们越来越重视“如何才能吃得健康,吃得营养”这一问题。绿豆营养成分较全面,但经过传统加工方式处理后,绿豆淀粉由于老化容易产生沉淀,影响部分绿豆产品的品质,同时也可能由于蛋白质发生变性,使绿豆的部分功能特性丧失,而对绿豆进行发酵处理可以较好地解决这一问题。

目前,国内外对绿豆发酵产品的研究主要集中在绿豆发酵饮料和面食方面,有关其他发酵制品的研究还很少。主要是因为绿豆发酵制品及其生产工艺还存在以下一些困难需要解决:①采用的菌种菌株杂而多。目前绿豆发酵制品大多采用混菌发酵,缺乏对其中每一种菌具体作用的研究,因此产品质量不稳定,难以实现工业化生产;②营养成分不均衡。绿豆发酵食品虽然营养较丰富,但是并不均衡,如缺乏含硫氨基酸;③生产耗时耗能。绿豆发酵食品加工过程中浸泡和发酵耗时长,耗能高,并且发酵过程不易控制,最终导致产品风味、口感不稳定。

为了解决上述问题,建议围绕以下方面开展研究:

(1) 发酵菌种方面:利用性能优越、作用稳定的优势菌种对绿豆进行发酵,可以保证最终产品质量的稳定,有利于实现规模化生产。

(2) 营养成分方面:添加一些营养价值较高、价格相对廉价的原料与绿豆进行混合发酵,使营养成分进行互补,提高绿豆发酵食品的营养价值,同时也可加入一些营养强化剂以补偿绿豆缺乏的营养成分。

(3) 生产工艺方面:对于浸泡过程,可以适当提高温度或者加入某些添加剂缩短绿豆浸泡时间;对于发酵过程,则可通过使用优势菌种发酵并营造适合其繁殖和发挥作用的环境,从而缩短绿豆发酵时间,进而减少生产成本和提高生产效率和产品竞争力。

参考文献

- [1] 赵吉平,王彩萍,侯小峰,等.论绿豆的经济价值及产业化开发利用[J].农业科技通讯,2016(5):9-10.
- [2] 李静,徐其江.干旱胁迫对绿豆农艺性状及产量的影响研究[J].新疆农垦科技,2017,40(7):8-11.
- [3] SANGSUKIAM T, DUANGMAL K. A comparative study of physico-chemical properties and antioxidant activity of freeze-dried mung bean (*Vigna radiata*) and adzuki bean (*Vigna angularis*) sprout hydrolysate powders[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2017, 52(9): 1971-1982.
- [4] AMAN P. Carbohydrates in raw and germinated seeds from mung bean and chick pea[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 1979, 30(9): 869-875.
- [5] 罗磊.绿豆皮可溶性膳食纤维提取工艺优化及其物理特性研究[J].食品与机械,2017,33(8):114-149.
- [6] WANG Han-bo, GUI Meng-yuan, TIAN Xue, et al. Effects of UV-B on vitamin C, phenolics, flavonoids and their related enzyme activities in mung bean sprouts (*Vigna radiata*) [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2017, 52(3): 827-833.
- [7] 周艳,邹学敏,王维芬,等.不同产地大豆与绿豆中异黄酮及矿物质含量的分析[J].微量元素与健康研究,2011,28(3):37-39.
- [8] 相微微,王建武.不同品种绿豆SOD提取工艺优化及活性的研究[J].陕西农业科学,2017,63(5):17-21.
- [9] 任聪,杜海,徐岩.中国传统发酵食品微生物组研究进展[J].微生物学报,2017,57(6):885-898.
- [10] 张志胜,潘栋,刘媛.绿豆发酵乳饮料的研制[J].中国乳业,2006(3):40-42.
- [11] DING Yu-zhen, ZHANG Shao-ying, LIU Peng, et al. Microbiological and biochemical changes during processing of the traditional Chinese food douzhi[J]. Food Control, 2009, 20(12): 1086-1091.

- [12] 左锋, 张晓双, 李志江, 等. 小米绿豆乳酸菌发酵饮料的研制[J]. 现代食品科技, 2010, 26(4): 387-388, 399.
- [13] 李晓蒙. 绿豆与大米共煮同熟工艺及其发酵酒的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2016: 27-38.
- [14] YEAP S K, ALI N M. Antihyperglycemic effects of fermented and nonfermented Mung Bean extracts on alloxan-induced-diabetic mice[J]. Biomed Research International, 2012, 2 012(3): 1-7.
- [15] ALI N M, YUSOF H M, YEAP S K, et al. Anti-inflammatory and antinociceptive activities of untreated, germinated, and fermented Mung Bean aqueous extract[J]. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2014, 2 014(12): 1-6.
- [16] YEAP S K, BEH B K, WAN Y H, et al. In Vivo Antioxidant and hypolipidemic effects of fermented Mung Bean on hypercholesterolemic mice[J]. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2015, 2 015(2): 1-6.
- [17] YEAP S K, BEH B K, ALI N M, et al. In vivo antistress and antioxidant effects of fermented and germinated Mung Bean[J]. Biomed Research International, 2014, 2 014(1): 1-6.
- [18] KAO Yu-yu, CHUANG Tien-fu, CHAO Shiou-huei, et al. Evaluation of the antioxidant and melanogenesis inhibitory properties of praparatum mungo (Lu-Do Huang)[J]. Journal of Traditional & Complementary Medicine, 2013, 3 (3): 163-170.
- [19] XIAO Yu, ZHANG Qiu-qin, MIAO Jun-qing, et al. Antioxidant activity and DNA damage protection of mung beans processed by solid state fermentation with Cordyceps militaris SN-18[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2015, 31: 216-225.
- [20] MUBARAK A E. Nutritional composition and antinutritional factors of mung bean seeds (*Phaseolus aureus*) as affected by some home traditional processes[J]. Food Chemistry, 2005, 89(4): 489-495.
- [21] ALI N M, YEAP S K, YUSOF H M, et al. Comparison of free amino acids, antioxidants, soluble phenolic acids, cytotoxicity and immunomodulation of fermented mung bean and soybean[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2016, 96(5): 1 648-1 658.
- [22] HE Li, CAO Dong-dong, YI Jian-yong, et al. Identification of the flavonoids in mungbean (*Phaseolus radiatus* L.) soup and their antioxidant activities[J]. Food Chemistry, 2012, 135(4): 2 942-2 946.
- [23] 曾志红, 王强, 林伟静, 等. 绿豆蛋白营养及功能特性分析[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(6): 51-55.
- [24] 赵凯. 淀粉非化学改性技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 162-167.
- [25] 刘文菊. 酸浆法绿豆淀粉机理初探及淀粉和粉丝性质的比较[D]. 北京: 中国农业大学, 2006: 38-45.
- [26] 吴玉莹, 刘阳, 任华华, 等. 绿豆蛋白乳饮料的制备及其稳定性[J]. 乳业科学与技术, 2017, 40(2): 17-22.
- [27] 陈宇翔. 北京“豆汁”加工机理研究与市场化可行性分析[D]. 沈阳: 大连工业大学, 2013: 1-7.
- [28] LEE D N, HUNG Y S, YANG T S, et al. Aspergillus awamori-fermented mung bean seed coats enhance the antioxidant and immune responses of weaned pigs[J]. Journal of Animal Physiology & Animal Nutrition, 2017, 101(5): 342-351.
- [29] 王晓晕. 酸浆中乳酸菌的分离鉴定及其在大米淀粉提取中的应用[D]. 雅安: 四川农业大学, 2010: 15-23.
- [30] 张莉力, 刘黎莹, 许云贺, 等. 北京豆汁微生物群落分析及淀粉絮凝菌分离鉴定[J]. 食品工业科技, 2017, 38(16): 136-141.
- [31] 李海燕, 乔成亚, 刘振民, 等. 凝固型绿豆酸奶的研制[J]. 中国酿造, 2013, 32(12): 141-144.
- [32] 王晓英, 段连海, 霍岩. 绿豆、枸杞乳酸菌饮料的工艺配方优化[J]. 中国酿造, 2014, 33(7): 153-156.
- [33] RAO D R, PULUSANI S R, CHAWAN C B. Preparation of a yogurt-like product from cowpeas and mung beans[J]. International Journal of Food Science & Technology, 1988, 23(2): 195-198.
- [34] 邓桂兰. 绿豆糯米保健型甜酒的酿制工艺研究[J]. 酿酒科技, 2016(4): 35-38.
- [35] 苏晓琴, 张可欣, 黄卫宁, 等. 高 γ -氨基丁酸绿豆面团包营养与烘焙特性[J]. 食品工业科技, 2016, 37(13): 340-345.
- [36] YENRINA R, MURTIUS W S, PUTRI NN. Mocaf Bread enriched with Mung Bean (*Vigna radiata* L.) as a source of protein[J]. Asia Pacific Journal of Sustainable Agriculture Food & Energy, 2013, 1(1): 10-13.
- [37] 惠丽娟. 荞麦杂豆蛋糕的加工技术及影响其品质的因素的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008: 17-37.
- [38] 陈颖, 王风雷, 陈秋平. 南瓜绿豆馒头的研制及其对血糖值的影响研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(20): 86-88.
- [39] 程晶晶, 王军, 周小青, 等. 绿豆超微全粉对馒头品质的影响[J]. 食品工业, 2017, 38(4): 113-116.
- [40] 高新章. 绿豆粉丝的制作方法[J]. 现代农村科技, 1991(8): 27.
- [41] 王洋, 张兆丽. 无矾绿豆粉丝加工工艺研究[J]. 中国果菜, 2015, 35(6): 26-29, 33.
- [42] 吴晓菊, 赵广林. 绿豆干酪的生产工艺研究[J]. 新疆畜牧业, 2017(2): 29-31.
- [43] 张钟, 区政辉. 双歧绿豆乳果冻的研制[J]. 饮料工业, 2014, 17(5): 19-22, 26.
- [44] 张晓黎, 吴兴壮, 张华. 乳酸菌发酵绿豆芽饮料工艺参数优化[J]. 农业科技与装备, 2015(9): 53-56.

- [45] LERER-METZGER M, RIZKALLA S W, LUO J, et al. Effects of long-term low-glycaemic index starchy food on plasma glucose and lipid concentrations and adipose tissue cellularity in normal and diabetic rats[J]. *British Journal of Nutrition*, 1996, 75(5): 723-732.
- [46] YAO Yang, ZHU Ying-ying, REN Gui-xing. Immunoregulatory activities of polysaccharides from mung bean[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2016, 139: 61-66.
- [47] BRAND-MILLER J, HAYNE S, PETOCZ P, et al. Low-glycemic index diets in the management of diabetes: a meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *Diabetes Care*, 2003, 26(8): 2 261-2 267.
- [48] RANDHIR R, SHETTY K. Mung beans processed by solid-state bioconversion improves phenolic content and functionality relevant for diabetes and ulcer management[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2007, 8(2): 197-204.
- [49] MOTHANAB R AA, AL-REHAILY A J, THABET T M, et al. Anti-inflammatory, antinociceptive, antipyretic and antioxidant activities and phenolic constituents from *Loranthus regularis* Steud. ex Sprague[J]. *Food Chemistry*, 2012, 130(2): 344-349.
- [50] MEJIA E D, LUMEN B O D. Soybean bioactive peptides: A new horizon in preventing chronic diseases[J]. *Sexuality Reproduction & Menopause*, 2006, 4(2): 91-95.
- [51] WATANABE N, ENDO Y, FUJIMOTO K, et al. Tempeh-like fermented soybean (GABA-tempeh) has an effective influence on lipid metabolism in rats[J]. *Journal of Oil Chemists Society Japan*, 2006, 55(8): 391-396.
- [52] ROOHINEJAD S, OMIDZADEH A, MIRHOSSEINI H, et al. Effect of hypocholesterolemic properties of brown rice varieties containing different gamma aminobutyric acid (GABA) levels on Sprague-Dawley male rats[J]. *Journal of Food Agriculture & Environment*, 2009, 7(3): 197-203.

(上接第 139 页)

- [7] 蒲利民, 吴晓萍, 王涛, 等. 蛋白酶水解马氏珠母贝肉对镉解离效果的研究[J]. *食品与机械*, 2013, 29(1): 66-71.
- [8] 贺建华, 鹿麟, 邵纯君, 等. 福林酚法与考马斯亮蓝法测定甘露聚糖肽口服液中蛋白质含量的比较[J]. *中国药师*, 2017(10): 1 861-1 863.
- [9] 胡小玲, 陈剑刚, 张艳, 等. ICP-OES 测定大米中镉的方法研究[J]. *实用预防医学*, 2015, 22(8): 930-932.
- [10] 王素芳. 米渣蛋白复合酶法改性工艺研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2015: 20-21.
- [11] 程云辉, 王璋, 许时婴. 大孔吸附树脂对麦胚肽的吸附特性研究[J]. *食品与机械*, 2005, 21(6): 7-12.
- [12] LI Xiang, XIONG Hua, YANG Kai-wu, et al. Optimization of the biological processing of rice dregs into nutritional peptides with the aid of trypsin[J]. *Journal of Food Science and Technology (Mysore)*, 2012, 49(5): 537-546.
- [13] 孟祥勇, 张慧恩, 宋腾, 等. 响应面法优化微波辅助米渣蛋白糖基化改性工艺[J]. *食品工业科技*, 2018(1): 156-161.
- [14] 李圆圆, 王洪新, 殷飞, 等. 响应面优化酶法提取茶渣蛋白的工艺研究[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(7): 247-251.
- [15] 刘也嘉, 林亲录, 肖冬梅, 等. 大米乳酸菌发酵降镉工艺优化[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(7): 276-282.
- [16] 马晓川, 费浩. 金属配位在多肽与蛋白质研究中的应用[J]. *化学进展*, 2016, 28(2): 184-192.
- [17] FENG Wei, DONG Tian-tian, LI Ke-qiang, et al. Characterization of binding behaviors of Cd^{2+} to rice proteins [J]. *Food Chemistry*, 2019, 275: 186-192.
- [18] LIU Da-gang, LI Ze-hui, LI Wei, et al. Adsorption Behavior of Heavy Metal Ions from Aqueous Solution by Soy Protein Hollow Microspheres[J]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2013, 52(32): 11 036-11 044.

(上接第 189 页)

- [62] 邓洁, 罗文奇, 王玉佳, 等. 槟榔碱对胎鼠外周血细胞 DNA 的影响[J]. *长沙医学院学报*, 2013(2): 14-16.
- [63] 李习雄, 胡冠英, 张三印. 槟榔毒性机制的研究进展[J]. *中国实验方剂学*, 2015(19): 212-216.
- [64] 古桂花, 胡虹, 曾薇, 等. 槟榔的细胞毒理研究进展[J]. *中国药房*, 2013(19): 1 814-1 818.
- [65] 高文平, 杨大坚, 胡四琴, 等. 槟榔碱对人体外精子运动能力的影响[J]. *中国药房*, 2010(11): 967-969.
- [66] MOLINENGO L, FUNDARO AM, CASSONE MC. Action of a chronic arecoline administration on mouse motility and on acetylcholine concentrations in the CNS[J]. *Journal of Pharmacokinetics and Pharmacodynamics*, 1988, 40(11): 821-822.
- [67] SHIH Y T, CHEN PS, WU C H, et al. Arecoline, a major alkaloid of the areca nut, causes neurotoxicity through enhancement of oxidative stress and suppression of the antioxidant protective system[J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 2010, 49(10): 1 471-1 479.
- [68] 张春阳, 卫涛涛, 马辉, 等. 活性氧参与一氧化氮诱导的神经细胞凋亡[J]. *生物化学与生物物理进展*, 2001, 28(1): 81-85.
- [69] 刘云松, 邓旭斌, 苏磊. 活性氧在热打击诱导神经元细胞凋亡中的作用[J]. *中华急诊医学*, 2014(6): 647-651.
- [70] GILANI A H, GHAYUR M N, SAIFY Z S, et al. Presence of cholinomimetic and acetylcholinesterase inhibitory constituents in betel nut[J]. *Life Sciences*, 2004, 75(20): 2 377-2 389.
- [71] 徐远芳, 邓钢桥, 邹朝晖, 等. 食用槟榔纤维对口腔的危害及其软化技术研究进展[J]. *湖南农业科学*, 2012(13): 102-104.
- [72] 萧福元, 赵炜哲, 王非, 等. 食用槟榔对口腔黏膜健康影响的现况研究[J]. *实用预防医学*, 2014, 21(2): 155-159.