

发酵豆制品中主要植物化学成分及生理功能的研究进展

刘欣^{1,2}, 赵新淮¹

(1. 东北农业大学 食品学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 哈尔滨学院 食品工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要: 发酵豆制品是亚洲国家人民饮食中重要的组成部分, 并逐渐得到国际上的广泛关注和西方国家的青睐。豆制品本身含有丰富的植物化学成分, 在微生物的发酵过程中这些植物化学成分衍生出许多具有生物活性的物质, 这些物质对人体的生理功能产生一定的影响。为发酵豆制品的发展寻找新的方向, 综述了近年来豆制品在发酵过程中植物化学成分的变化以及对豆制品生理功能的影响。

关键词: 发酵豆制品; 植物化学成分; 生理功能

中图分类号: TS214.2 **文献标识码:** A **DOI:** 10.11861/j.issn.1000-9841.2017.01.0157

Research Progress of Main Phytochemicals and Physiological Functions on Fermented Soybean Products

LIU Xin^{1,2}, ZHAO Xin-huai¹

(1. Department of Food Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. Department of Food Engineering, Harbin University, Harbin 150086, China)

Abstract: Fermented soybean products are an important part of the Asian countries in people's diet, and gradually get international attention and the favor of the West. Soybean products are rich in phytochemicals, they can derive many bioactive compounds in the process of microbial fermentation, and these compounds will produce certain effect to the human body physiological functions. In recent years the variation of phytochemicals from soybean products during the fermentation and influence on the physiological function of soybean products were reviewed in this paper in order to look for the new development direction of fermented soybean food in the future.

Keywords: Fermented soybean products; Phytochemicals; Physiological functions

发酵豆制品是众多发酵食品中广受关注的一种, 因其悠久的发展历史以及丰富的营养成分在世界饮食文化中占有重要的地位。发酵是人类加工食物最古老的方法之一, 人们发现经过发酵的食物不仅具有优于原材料的品质, 还会产生令人愉悦的独特风味^[1]。大豆本身含有丰富的植物化学成分, 其中研究最多的有大豆蛋白、大豆皂苷、大豆异黄酮等。在微生物分泌酶的作用下, 这些植物化学成分发生不同程度的降解和改变, 演变出不同结构的具有更高生理活性的物质。同时, 增多的活性成分丰富了发酵豆制品的生理功能。发酵豆制品中活性成分的种类和多少与其所体现出的生理功能是密不可分的。所以, 对发酵豆制品中具有生理活性的植物化学成分进行研究具有重要的科学意义。本文综述了近年来在发酵过程中豆制品具有生理活性的植物化学成分的变化及其对发酵豆制品生理功能产生的影响。

1 发酵豆制品的分类

作为发酵食品的一种, 豆制品的发酵同样也是利用微生物的酶及其代谢产物或者利用微生物的菌体及其内含物。工业上常用作发酵豆制品的菌种有细菌、霉菌和酵母菌。细菌主要为乳酸菌, 霉菌主要为曲霉和毛霉, 酵母菌主要为鲁氏酵母等。发酵菌种不同, 对发酵豆制品的生物活性影响不同^[2]。根据发酵菌种的不同, 发酵豆制品大致可以分成细菌型发酵和霉菌型发酵。如细菌型豆豉“纳豆”, 大多是利用纳豆枯草芽孢菌等在较高温度下接种于蒸熟的大豆上, 借助其蛋白酶生产出风味独特的食品。我国传统的霉菌型腐乳, 是以豆浆的凝乳状物为基质, 经过毛霉菌(或根霉菌)发酵制成的一种类似于干酪型的产品, 常被西方人称为东方干酪^[3]。根据发酵豆制品含盐量的高低, 大致可分为调味品型和食品型, 人们熟知的豆豉、豆酱、酱油和腐乳多为含盐量较高的调味品型发酵豆制品, 多数作为佐餐食用; 而能够作为食品型含盐量较低的发

收稿日期: 2016-11-08
基金项目: 国家自然科学基金(31371738)。
第一作者简介: 刘欣(1981-), 女, 博士, 讲师, 主要从事食品科学研究。E-mail: liuxin8113@126.com。
通讯作者: 赵新淮(1963-), 男, 博士, 教授, 主要从事食品化学研究。E-mail: zhaoxh63@neau.edu.cn。

酵豆制品并不多见,徽州的毛豆腐便是其中的一种,随着美食纪录片《舌尖上的中国》的播出,毛豆腐渐渐走进大家的视野,受到广泛关注。毛豆腐是白豆腐经过毛霉菌短期发酵而成的一种具有独特风味的无盐发酵豆制品。与调味品型的发酵豆制品相比,毛豆腐具有含盐量低,发酵周期短等诸多优势,适用人群更广泛。

2 发酵豆制品中主要的植物化学成分

发酵豆制品通过发酵过程中微生物及其分泌的酶系作用,发生一系列的生化反应,破坏了大豆中原有的对生理不利的植物化学成分,使大豆中可被利用的营养成分大大提高。同时,发酵过程可以把不溶性高分子物质分解成为可溶性低分子化合物,保留大豆异黄酮和低聚糖等原有功能性植物化学组分,还可以产生大豆中原来没有的营养成分和生物活性物质,使产品具有较高的营养和功能特性^[4]。

2.1 大豆异黄酮

异黄酮是豆科植物中典型的生物活性成分之一,可作为植物的抗毒素,具有调节植物生长发育等功能^[5]。大豆是主要的异黄酮来源之一,整粒大豆中异黄酮的含量约为 0.1 ~ 3.0 mg · g⁻¹ (干重)^[6],主要以活性较低的葡萄糖苷和丙二酰葡萄糖苷形式存在,其中大豆苷和染料木苷占异黄酮总量的 90% 以上^[7]。异黄酮属于类黄酮化合物,具有双酚结构,其一般通式结构如图 1 所示。目前已知的大豆异黄酮的结构有 12 种,分为游离型的苷元和结合型的糖苷两类。苷元占总量的 2% ~ 3%,包括染料木素、大豆苷元和黄豆黄素 3 种,糖苷 9 种,以葡萄糖苷、乙酰基葡萄糖苷、丙二酰基葡萄糖苷 3 种形式存在,其中染料木苷、大豆苷、丙二酰染料木苷、丙二酰大豆苷 4 种成分约占总量的 83% ~ 93%^[8]。天然大豆中的异黄酮多数以糖苷的形式存在,微生物发酵过程中产生的 β - 葡萄糖苷酶将大豆异黄酮糖苷分解为苷元形式,可以提高其吸收率和生理活

性^[9]。Silva 等^[10]采用米曲霉菌对全脂豆粉进行 48 h 发酵,发现大豆异黄酮苷元含量可达 75.51%,而没有发酵的豆粉以及高温高压处理过的豆粉其苷元含量只有 2.67% 和 6.94%。

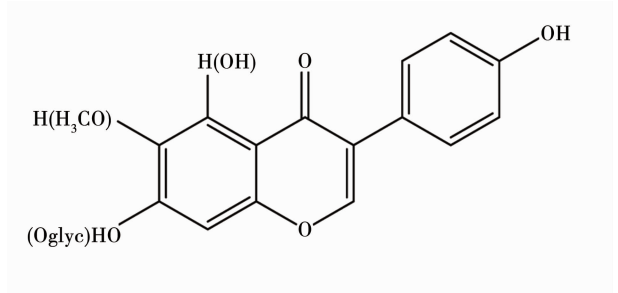


图 1 异黄酮的一般通式结构
Fig. 1 General structure of soy isoflavones

2.2 大豆皂苷

大豆皂苷属于三萜糖苷类化合物,由一个齐墩果烷型皂醇和一个或两个多糖分子构成^[11]。根据其皂醇类型的不同可以分为 A 型和 B 型,如图 2 所示。其中 B 型是皂苷的主要形式,普遍存在于各种豆科植物的种子中,例如鹰嘴豆、黄豆、豌豆和扁豆,其含量为 220 ~ 907 mg · kg⁻¹,其中黄豆是其主要来源^[12-13]。天然植物中的皂苷多以糖苷的形式存在,能够被人体直接吸收利用的很少,多数的皂苷在人体肠道菌群的作用下降解为皂醇才能被肠道吸收利用和排出^[14]。而发酵豆制品在外源发酵菌种的作用下会使皂苷含量降低,转化为利于吸收和代谢的皂醇^[15]。Kamo 等^[11]对大豆皂苷和皂醇以及不同类型皂醇的生物活性进行比较发现,皂醇的生物活性要好于皂苷,B 型皂醇的生物活性要好于 A 型。孙涛等^[16]研究发现大豆皂苷 A 组中的 Ab 亚型在体外和体内均有免疫调节作用,能够促进炎症细胞因子的分泌,降低 TLR4 受体基因的表达,和皂树苷相比作为疫苗佐剂更安全。林静等^[17]研究发现皂苷 Ab 可以抑制脂多糖(LPS)诱导的急性肺损伤以及炎性应答。

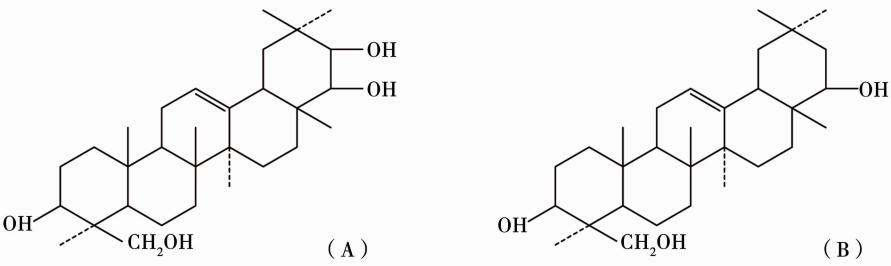


图 2 大豆皂醇的结构 A 型和 B 型
Fig. 2 Structures of soyasapogenol (A) and soyasapogenol (B)

2.3 γ-氨基丁酸

γ-氨基丁酸(GABA)是一种普遍存在于自然界动植物中的天然活性成分,为调节中枢神经系统的神经递质,几乎只存在于神经组织中,具有多种生理功能,其结构如图3所示。GABA除了可以从天然原料中获取外还可以通过生物合成的方式制得。发酵是一种较为适合GABA生物合成的途径,大多数的发酵过程都会将蛋白质降解为氨基酸,而其中的谷氨酸是合成GABA的前体物质,同时发酵菌种能否分泌谷氨酸脱羧酶也是至关重要的^[18]。Lee等^[19]采用HPLC/UV检测器在280 nm的波长下检测了传统发酵的混合植物性产品中GABA的含量可达15.07 mg·g⁻¹,说明发酵植物性产品的方式适合工业化制备GABA。Tsai等^[20]采用6株乳酸菌在42℃条件下发酵豆乳近30 h,其中GABA的含量从9.39 mg·kg⁻¹增加到36.16 mg·kg⁻¹。Liao等^[21]发现先采用冷激的方式预处理红小豆,再用2种乳酸菌对其进行发酵会得到更多的GABA。Park等^[22]采用GC-MS对Cheonggukjang发酵过程中主要的代谢产物进行分析发现,长时间的发酵有助于GABA含量的增加。

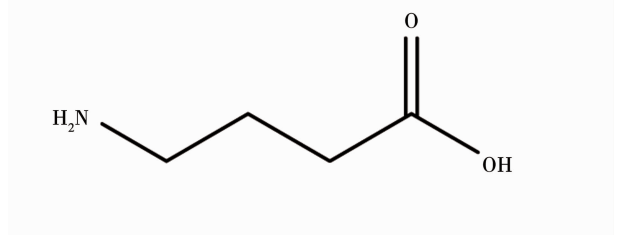


图3 γ-氨基丁酸结构式

Fig.3 Structure of γ-aminobutyric acid

2.4 生物活性肽

生物活性肽是指由食物中蛋白质水解产生的除自身营养和加工特性外,具有对人类健康有益的生理活性和某些生物学功能的肽类物质,可以调节人体的生理代谢^[23-24]。Yimit等^[25]研究发现来源于大豆中的活性肽具有调节细胞的免疫功能,调节人的神经系统,改善人的脑部功能等作用。目前,乳源活性肽是研究最多的活性肽^[26],而其它来源的活性肽作为乳源活性肽的替代品也在逐步开发中^[27]。生物活性肽一般含有3~20个氨基酸,并含有疏水性和亲水性的氨基酸残基,如:脯氨酸、赖氨酸和精氨酸等^[28]。天然蛋白质中的生物活性肽常处于休眠状态,蛋白质水解后会释放出这些具有活性的肽,酶的水解和微生物的发酵是较常用的水解蛋白质的方式^[29]。Durak等^[30]采用酶水解的方式从红小豆中提取出具有抗氧化活性和抗高血压活性的小分子肽。发酵是产生生物活性肽和食品级水解

蛋白质的有效途径,经过发酵过程大豆蛋白可以降解成具有某些生物活性的寡肽,三肽,二肽。相比于酶的水解,微生物的发酵既廉价又安全,常作为制备活性肽的首选^[31]。生物活性肽的促健康作用主要包括降压^[32],抗氧化^[33],降低胆固醇^[34],免疫调节^[35]和抗癌^[36]等。

3 发酵豆制品的生理功能

发酵豆制品的生理功能由其含有的具有生理活性的物质产生,这些活性物质一部分来自于原料中固有的具有活性的成分,一部分是利用发酵菌种所分泌酶系对豆制品中的大分子物质和植物化学成分进行降解和重组产生的,同时经过复杂的生化作用形成具有生物活性的代谢产物,这些物质各自或协同作用构成了发酵豆制品独特的生理功能,如抗氧化、降血压、免疫调节、预防慢性疾病等。

3.1 抗氧化作用

人体在不可避免地产生自由基的同时,也在自然产生着抵抗自由基的抗氧化物质,以抵消自由基对人体细胞的氧化攻击。一旦自由基产生过多或抗氧化防御体系出现故障,体内自由基代谢就会失衡,从而导致脂质过氧化、细胞损伤、DNA断裂等。现代研究表明,衰老、炎症的产生与发展都可由自由基及其代谢产物诱发产生。人体的抗氧化物质可以自身合成,也可以由食物供给,天然的饮食中含有很多抗氧化作用的物质,如:生物类黄酮物质,维生素E,抗氧化肽等。经过发酵的豆制品也具有一定的抗氧化作用。Fan等^[37]研究发现对于细菌型的豆豉而言,发酵时间的延长可以增加其抗氧化活性,而且发酵产生的抗氧化肽的作用要明显高于异黄酮的降解作用。Rashad等^[38]采用6株酵母菌对用于动物饲料的豆渣进行发酵发现,与没有发酵的豆渣相比,酵母菌的发酵可以上调豆渣的抗氧化活性。杭梅等^[39]研究表明毛霉发酵的无盐豆制品毛豆腐的可溶性提取物的体外抗氧化活性优于大豆蛋白,同时发酵时间和提取物溶剂对其抗氧化活性均有影响。

3.2 降血压作用

血管紧张素转化酶可将血管紧张素I水解产生血管紧张素II,血管紧张素II是已知最强的收缩血管活性物质之一。抑制血管紧张转化酶的活性是降血压的主要途径之一。Adedayo等^[40]研究发现发酵后的豆类可以显著抑制链唑霉素诱导的糖尿病小鼠血清中ACE的活性。张等^[41]在中国传统发酵豆制品豆豉中分离得到具有抑制ACE活性的生物活性肽。Jang等^[42]采用乳短杆菌和米曲霉菌联

合发酵添加了海带提取物的豆制品发现不仅可以产生更多的 GABA 而且会抑制 ACE 的活性。杭梅等^[43]研究了发酵时间及提取溶剂对毛霉诱导发酵的无盐豆制品毛豆腐 ACE 抑制活性的影响,发现发酵至 5 d,采用 60% 的乙醇水溶液提取的物质所表现出的 ACE 抑制活性最好。

3.3 免疫调节作用

机体的免疫功能是靠机体的免疫系统实现的。免疫系统是由免疫器官、免疫细胞及免疫分子组成。很多因素对免疫系统起调节作用,其重要性在于维持机体免疫功能的动态平衡,保持机体的健康。人们可以通过很多方式来调节自身的免疫功能水平,从食物中摄取具有免疫调节作用的物质是最简单有效方式之一。豆制品本身含有许多具有免疫活性的物质,发酵后这些物质组分上的改变增强了豆制品的免疫调节作用。免疫调节作用的方式主要有两方面:一方面提高免疫系统的高效应答机制,激活免疫细胞分泌免疫因子,提高免疫系统的监视功能;另一方面改善免疫系统的防御机制,当炎症发生,免疫细胞促炎因子高水平表达时,可以有效的抑制其表达,使其回调至较低水平。Ahmad 等^[44]研究表明大豆中的异黄酮可逆转莼苣碱诱导引起的认知紊乱,同时增加类胆碱酶的活性抑制大脑中神经炎症的发生,同时发酵后的豆制品 tempeh(印尼的豆豉)中异黄酮的抑制效果优于大豆中的。Choi 等^[45]发现来自于豆酱的乙醇提取物和异黄酮苷元一样都对人的免疫细胞有刺激作用,会使细胞因子 TNF- α 、IL-6 以及诱导型一氧化氮合酶(iNOS)和环氧合酶 2(COX-2)的水平显著提高。Cho 等^[46]研究表明来自于韩国发酵豆制品 Cheonggukjang 中的多糖可以激活巨噬细胞 RAW264.7,显著提高 IL-6、IL-12 的水平,并对环磷酰胺造成的免疫低下有一定的抑制作用。Masotti 等^[47]研究发现采用瑞士乳杆菌和嗜热链球菌联合发酵的豆乳制品可以影响人体单核细胞的分化进程,说明发酵后的豆乳制品具有改变免疫细胞类型的免疫活性。

3.4 预防慢性疾病

世界卫生组织调查显示,慢性疾病是迄今为止世界上最主要的死亡原因,占有所有死亡的 63%,常见的慢性疾病包括高血脂导致的心血管疾病、糖尿病、癌症等。不健康的饮食是导致慢性疾病发生的原因之一,同时合理调整膳食结构,摄入具有潜在降低慢性病发生风险的食物,可以有效预防慢性疾病的发生。Kwon 等^[48]发现在对 meju 长达 2 个月的无盐发酵过程中,类黄酮物质和肽的组分变化可

以增强大豆制品的抗糖尿病的效果。Park 等^[49]研究发现发酵豆制品中含有的大豆抗毒素可以提高 II 型糖尿病小鼠体内的糖代谢的稳定水平,有助于提高胰岛素的敏感性。Lee 等^[50]研究发现经丛毛红曲霉菌发酵的豆渣可以降低肥胖小鼠血液中胆固醇的水平。Cha 等^[51]研究表明,Kochujang,一种发酵的红辣椒豆酱可以降低超重成年人器官周围的脂肪,同时可以提高血脂的代谢水平。此外,Kwak 等^[52]研究发现 Chungkookjang,一种韩国的发酵豆制品对人类的乳癌细胞株 HL-60, SNU-638 和 MCF-7 有毒性作用,并能够抑制其在乳癌小鼠体内生长。Oh 等^[53]采用香菇和平菇的菌丝对豆腐进行发酵,试验表明经过发酵后的豆腐其抗癌作用显著提高,尤其对乳癌细胞株 MCF-7 的抑制率高达 95%。

4 总结与展望

综上所述,微生物的发酵作用不仅丰富了豆制品中的具有生物活性的植物化学成分,而且显著提升了发酵豆制品的生理功能。发酵菌种的不同以及发酵时间的长短对于发酵豆制品中生物活性成分的种类和含量都有影响。同时,发酵后的豆制品促健康作用明显优于没有发酵的豆制品。豆制品是食品行业的重要组成部分,具有良好的发展潜力,对于发酵豆制品种类的开发具有一定经济效益。目前的发酵豆制品多以传统的调味型发酵豆制品为主,发酵周期长,含盐量高是其发酵的主要特征,而发酵周期短,低盐或无盐的食品型发酵豆制品的研发鲜见报道。随着发酵豆制品促健康作用的不断深入的研究和报道,人们对于发酵豆制品的消费理念不再局限于调味品的范畴,越来越多的食品型发酵豆制品渐渐走近人们的视野,成为人们追求的促健康功能性食品之一。所以,对于食品型发酵豆制品在发酵过程中植物化学成分的变化以及生理功能的研究具有一定的科学意义,为食品型发酵豆制品未来的发展奠定理论依据。

参考文献

- [1] Caplice E, Fitzgerald G F. Food fermentations: Role of microorganisms in food production and preservation [J]. International Journal of Food Microbiology, 1999, 50(1/2): 131-149.
- [2] Teng D, Gao M, Yang Y, et al. Bio-modification of soybean meal with *Bacillus subtilis* or *Aspergillus oryzae* [J]. Biocatalysis & Agricultural Biotechnology, 2012, 1(1): 32-38.
- [3] Han B Z, Rombouts F M, Nout M J. A Chinese fermented soybean food [J]. International Journal of Food Microbiology, 2001, 65(1-2): 1-10.

- [4] 马艳莉, 李里特. 发酵豆制品酿造过程中组分和营养功能因子的变化及调控 [J]. 食品科学, 2012, 33(3):292-299. (Ma Y L, Li L T. Changes and regulations of ingredients and nutritional factors in fermented soybean products during fermentation [J]. Food Science, 2012, 33(3):292-299.)
- [5] Ingham J L. Phytoalexins from the Leguminosae [M]//Bailey and Mansfield, Phytoalexins. New York: John Wiley & Sons, 1982: 21-80.
- [6] Coward L, Barnes N C, Kdr S, et al. Genistein, daidzein, and their beta-glycoside conjugates: Antitumor isoflavones in soybean food from American and Asian diets [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1993, 41(11):1961-1967.
- [7] Wang H, Murphy P A. Isoflavone composition of American and Japanese soybeans in Iowa: effects of variety, crop year, and location [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1994, 42(8):1674-1677.
- [8] Yamanishi R, Huang T, Tsuji H, et al. Reduction of the soybean allergenicity by the fermentation with *Bacillus natto* [J]. Food Science and Technology International, 1995, 1(1): 14-17.
- [9] And R Y Y C, Cheng S L. Isoflavone Transformation during Soybean Koji Preparation and Subsequent Miso Fermentation Supplemented with Ethanol and NaCl [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2001, 49(8):3656-3660.
- [10] Silva L H D, Celeghini R M S, Chang Y K. Effect of the fermentation of whole soybean flour on the conversion of isoflavones from glycosides to aglycones [J]. Food Chemistry, 2011, 128(3): 640-644.
- [11] Kamo S, Suzuki S, Sato T. Comparison of bioavailability (I) between soyasaponins and soyasapogenols, and (II) between group A and B soyasaponins [J]. Nutrition, 2014, 30(5):596-601.
- [12] Donat P V, Caprioli G, Conti P, et al. Rapid quantification of soyasaponins I and β g in italian lentils by high-performance liquid chromatography (HPLC)-tandem mass spectrometry (MS/MS) [J]. Food Analytical Methods, 2014, 7(5):1024-1031.
- [13] Sagratini G, Caprioli G, Maggi F, et al. Determination of soyasaponins I and β g in raw and cooked legumes by solid phase extraction (SPE) coupled to liquid chromatography (LC)-mass spectrometry (MS) and assessment of their bioaccessibility by an in vitro digestion model [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2013, 61(8):1702-1709.
- [14] Hu J L, Zheng Y, Walter H, et al. Human Fecal Metabolism of Soyasaponin I [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2004, 52(9):2689-2696.
- [15] Kitagawa I, Yoshikawa M, Hayashi T, et al. Quantitative determination of soyasaponins in soybeans of various origins and soybean products by means of high-performance liquid-chromatography [J]. Yakugaku Zasshi, 1984, 104(3): 275-279.
- [16] Sun T, Yan X, Guo W, et al. Evaluation of cytotoxicity and immune modulatory activities of soyasaponin Ab: An in vitro and in vivo study [J]. Phytomedicine International Journal of Phytotherapy & Phytopharmacology, 2014, 21(13):1759-1766.
- [17] Lin J, Cheng Y, Wang T, et al. Soyasaponin Ab inhibits lipopolysaccharide-induced acute lung injury in mice [J]. International Immunopharmacology, 2016, 30:121-128.
- [18] Aoki H, Uda I, Tagami K, et al. The production of a new -like fermented soybean containing a high level of γ -aminobutyric acid by anaerobic incubation with *rhizopus* [J]. Bioscience Biotechnology & Biochemistry, 2004, 67(5):1018-1023.
- [19] Dong G L, Cho S, Lee J, et al. Analysis of γ -Aminobutyric acid content in fermented plant products by HPLC/UV [J]. Journal of Applied Biological Chemistry, 2015, 58(4):303-309.
- [20] Tsai J S, Lin Y S, Pan B S, et al. Antihypertensive peptides and γ -aminobutyric acid from prozyme 6 facilitated lactic acid bacteria fermentation of soymilk [J]. Process Biochemistry, 2006, 41(6):1282-1288.
- [21] Liao W C, Wang C Y, Shyu Y T, et al. Influence of preprocessing methods and fermentation of adzuki beans on γ -aminobutyric acid (GABA) accumulation by lactic acid bacteria [J]. Journal of Functional Foods, 2013, 5(3):1108-1115.
- [22] Min K P, Cho I H, Lee S, et al. Metabolite profiling of Cheonggukjang, a fermented soybean paste, during fermentation by gas chromatography-mass spectrometry and principal component analysis [J]. Food Chemistry, 2010, 122(4):1313-1319.
- [23] Korhonen H. Technology options for new nutritional concepts [J]. International Journal of Dairy Technology, 2002, 55(2):79-88.
- [24] Hartmann R, Meisel H. Food-derived peptides with biological activity: from research to food applications [J]. Current Opinion in Biotechnology, 2007, 18(2):163-169.
- [25] Yimit D, Hoxur P, Amat N, et al. Effects of soybean peptide on immune function, brain function, and neurochemistry in healthy volunteers [J]. Nutrition, 2011, 28(2):154-159.
- [26] Leblanc J G, Matar C, Valdez J C, et al. Immunomodulating effects of peptidic fractions issued from milk fermented with *lactobacillus helveticus* [J]. Journal of Dairy Science, 2002, 85(11): 2733-2742.
- [27] Udenigwe C C, Aluko R E. Food protein-derived bioactive peptides: Production, processing, and potential health benefits [J]. Journal of Food Science, 2012, 77(1):11-24.
- [28] Santiago-López L, Hernández-Mendoza A, Vallejo-Cordoba B, et al. Food-derived immunomodulatory peptides [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2016, 96(11):3631-3641.
- [29] Singh B P, Vij S, Hati S. Functional significance of bioactive peptides derived from soybean [J]. Peptides, 2014, 54(2):171-179.
- [30] Durak A, Baraniak B, Jakubczyk A, et al. Biologically active peptides obtained by enzymatic hydrolysis of Adzuki bean seeds [J]. Food Chemistry, 2013, 141(3):2177-2183.
- [31] Singh B P, Vij S, Hati S. Functional significance of bioactive peptides derived from soybean [J]. Peptides, 2014, 54(2): 171-179.
- [32] Tsai J S, Chen T J, Pan B S, et al. Antihypertensive effect of bioactive peptides produced by protease-facilitated lactic acid fermentation of milk [J]. Food Chemistry, 2008, 106(2):552-558.
- [33] Park S Y, Lee J S, Baek H H, et al. Purification and characterization of antioxidant peptides from soy protein hydrolysate [J]. Journal of Food Biochemistry, 2010, 34 (Supplement s1): 120 - 132.
- [34] Fang Z, Liu J, Ma J, et al. Preparation of hypocholesterol peptides from soy protein and their hypocholesterolemic effect in mice [J]. Food Research International, 2007, 40(6):661-667.

- [35] Chang H C, Lewis D, Tung C Y, et al. Soy peptide lunasin in cytokine immunotherapy for lymphoma[J]. *Cancer Immunology Immunotherapy* Cii, 2014, 63(3):1-13.
- [36] Rayaprolu S J, Hettiarachchy N S, Chen P, et al. Peptides derived from high oleic acid soybean meals inhibit colon, liver and lung cancer cell growth[J]. *Food Research International*, 2013, 50(1):282-288.
- [37] Fan J, Zhang Y, Chang X, et al. Changes in the radical scavenging activity of bacterial-type douchi, a traditional fermented soybean product, during the primary fermentation process [J]. *Bio-science Biotechnology & Biochemistry*, 2014, 73 (12): 2749-2753.
- [38] Rashad M M, Mahmoud A E, Abdou H M, et al. Improvement of nutritional quality and antioxidant activities of yeast fermented soybean curd residue [J]. *African Journal of Biotechnology*, 2011, 10(28):5504-5513.
- [39] Hang M, Zhao X H. Fermentation time and extraction solvents influenced in vitro antioxidant property of soluble extracts of Mao-tofu fermented with *mucor* spp. [J]. *Biotechnology*, 2011, 10(1):60-69.
- [40] Ademiluyi A O, Obboh G. Angiotensin I-converting enzyme inhibitory activity and hypercholesterolemia effect of some fermented tropical legumes in streptozotocin-induced diabetic rats [J]. *International Journal of Diabetes in Developing Countries*, 2015, 35 (4):493-500.
- [41] Zhang J H, Tatsumi E, Ding C H, et al. Angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides in douchi, a Chinese traditional fermented soybean product [J]. *Food Chemistry*, 2006, 98(3):551-557.
- [42] Jang E K, Kim N Y, Ahn H J, et al. γ -Aminobutyric Acid (GABA) Production and Angiotensin-I converting enzyme (ACE) inhibitory activity of fermented soybean containing sea tangle by the co-culture of *Lactobacillus brevis* with *Aspergillus oryzae*. [J]. *Journal of Microbiology & Biotechnology*, 2015, 25 (8): 1315-1320.
- [43] Hang M, Zhao X H. Fermentation time and ethanol/water-based solvent system impacted in vitro ACE-inhibitory activity of the extract of Mao-tofu fermented by *mucor* spp. [J]. *CyTA - Journal of Food*, 2012, 10(2):1-7.
- [44] Ahmad A, Ramasamy K, Jaafar S M, et al. Total isoflavones from soybean and tempeh reversed scopolamine-induced amnesia, improved cholinergic activities and reduced neuroinflammation in brain[J]. *Food & Chemical Toxicology An International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association*, 2014, 65(2):120-128.
- [45] Choi J H, Chung M J, Jeong D Y, et al. Immunostimulatory activity of isoflavone-glycosides and ethanol extract from a fermented soybean product in human primary immune cells[J]. *Journal of Medicinal Food*, 2014, 17(10):1113-1121.
- [46] Cho C W, Han C J, Rhee Y K, et al. Cheonggukjang, polysaccharides enhance immune activities and prevent cyclophosphamide-induced immunosuppression[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2014, 72:519-525.
- [47] Masotti A I, Buckle N, Champagne C P, et al. Immunomodulatory bioactivity of soy and milk ferments on monocyte and macrophage models [J]. *Food Research International*, 2011, 44(8):2475-2481.
- [48] Kwon D Y, Sang M H, Ahn I S, et al. Isoflavonoids and peptides from meju, long-term fermented soybeans, increase insulin sensitivity and exert insulinotropic effects in vitro[J]. *Nutrition*, 2011, 27(2):244-252.
- [49] Park S, Da S K, Kim J H, et al. Glyceollin-containing fermented soybeans improve glucose homeostasis in diabetic mice [J]. *Nutrition*, 2012, 28(2):204-211.
- [50] Lee S I. Effect of soybean curd residue fermented by *monascus pilosus* on the high fat diet-Induced obese mice [J]. *Journal of Applied Biological Chemistry*, 2014, 57(1):7-15.
- [51] Cha Y S, Kim S R, Yang J A, et al. Kochujang, fermented soybean-based red pepper paste, decreases visceral fat and improves blood lipid profiles in overweight adults [J]. *Nutrition & Metabolism*, 2013, 10(1):1-8.
- [52] Kwak C S, Kim M Y, Kim S A, et al. Cytotoxicity on human cancer cells and antitumorogenesis of Chungkookjang, a fermented soybean product in DMBA-treated rats[J]. *Korean Journal of Nutrition*, 2006, 39(4):347-356.
- [53] Oh Y S, Hwang J H, Lim S B. Physiological activity of tofu fermented with mushroom mycelia [J]. *Food Chemistry*, 2012, 133 (3):728-734.