

微生物发酵处理药食同源植物研究进展

李宇邦¹, 吴军林^{1,2*}, 李曼莎¹

1.广东环凯微生物科技有限公司, 广州 510663;

2.广东省微生物研究所, 广州 510070

摘要: 药食同源植物是指既可以作为食品又可以作为药品的植物,被广泛用于日常养生保健。利用微生物的分解能力处理药食同源植物,可提高其药用价值。从微生物发酵药食同源植物的常用菌种、作用机理和特点、技术进展及其在食品和医药领域的应用4个方面展开综述,并对其发展趋势进行展望,以为微生物发酵处理药食同源植物产品的开发提供依据。

关键词: 药食同源植物;微生物;发酵

DOI:10.19586/j.2095-2341.2018.0127

Progress on Microbial Fermentation of Medicinal and Edible Plants

LI Yubang¹, WU Junlin^{1,2*}, LI Mansha¹

1.Guangdong Huankai Microbial Science & Technology Co. Ltd., Guangzhou 510663, China;

2.Guangdong Institute of Microbiology, Guangzhou 510070, China

Abstract: Medicinal and edible plants refer to plants that can be used as both food and medicine, and they are widely used in daily health care. The medicinal value of medicinal and edible plants can be improved by applying the decomposition ability of microorganisms. The common strains, mechanism and characteristics, technical progress of medicinal and edible plants treated by microbial fermentation were reviewed, as well as their application in food and medicine. And the development trend was prospected in order to provide basis for the development of medicinal and edible plant products treated by microbial fermentation.

Key words: medicinal and edible plants; microorganism; fermentation

药食同源植物是指兼具日常营养价值和临床药用价值的植物,涵括中医学的食疗和药膳。我国古代本草著作对药食同源植物进行了详细记载,如《黄帝内经》中的“药以祛之,食以随之”和《备急千金要方》中的“夫为医者,当须先洞晓病源,知其所犯,以食治之”均表明了大众有着注重从饮食中寻求养生的传统,可见药食同源植物自古以来就深受喜爱,被广泛用于日常饮食之中。

微生物发酵是指在适宜条件下利用微生物的分解作用,将原料经过特定的代谢途径转化为更易于被人体吸收、利用的产物的过程。通过微生物生长代谢活动促进活性成分分离,从而产生新

的功效,增强药用价值,促进机体对其的吸收利用^[1,2]。早在4 000年前,微生物发酵开始被用于酿酒、酱、醋、豆豉等食品的制作^[3,4],后被广泛用于利用苦杏仁和赤小豆等药食同源植物制备六神曲、红曲、淡豆豉^[5],现在逐渐开始应用于功能性食品的开发^[6]。

本文通过对微生物发酵的常用菌种、作用机理和特点、技术进展及其在食品和医药领域的应用做一综述,并对今后微生物发酵药食同源植物的发展趋势进行展望,以为微生物发酵处理药食同源植物产品的开发提供依据。

收稿日期:2018-11-26; 接受日期:2019-02-22

基金项目:广东省自然科学基金项目(2014A030313667);广州市科技计划项目(201604020052)资助。

作者简介:李宇邦,助理工程师,研究方向为功能性食品。E-mail:564932352@qq.com。*通信作者:吴军林,研究员,博士,研究方向为食品与发酵工程。E-mail:tigerwj@163.com

1 微生物发酵常用菌种

我国卫生部组织制定的《可用于食品的菌种名单》规定可以用于食品的菌种有 29 种,包括双歧杆菌属 6 种、乳杆菌属 14 种、乳球菌属 3 种、片球菌属 2 种、费氏丙酸杆菌谢氏亚种、肠膜明串珠菌肠膜亚种、马克斯克鲁维酵母和嗜热链球菌^[7]。目前常用于药食同源植物发酵的有 8 种(表 1),主要以双歧杆菌和乳杆菌为主,其中,双

歧杆菌是由 Tissier 于 1899 年从健康的母乳儿粪便中分离出来的^[16],为革兰氏阳性多形态细长杆菌,属于专性厌氧菌,主要通过发酵糖类产生醋酸和乳酸;乳酸菌是革兰氏阳性无芽胞的细长杆菌,除德氏乳杆菌为专性厌氧菌外,其余菌种为兼性厌氧菌或微需氧菌,通过发酵糖类产生乳酸。双歧杆菌和乳杆菌是国内应用最多的益生菌,由于这 2 个菌种来源于人体,无毒副作用,且其生理效应功能显著优于其他菌种,因而在食品工业中具有重要地位^[17]。

表 1 微生物发酵药食同源植物常用菌种

Table 1 Common strains used in the fermentation of medicinal and edible plants.

菌种	药食同源植物	参考文献
青春双歧杆菌 <i>Bifidobacterium adolescentis</i>	枸杞、山药	[8]
两歧双歧杆菌 <i>B. bifidum</i>	金银花	[9]
短双歧杆菌 <i>B. breve</i>	麦芽	[10]
婴儿双歧杆菌 <i>B. infantis</i>	赤小豆	[11]
长双歧杆菌 <i>B. longum</i>	菊花	[12]
嗜酸乳杆菌 <i>Lactobacillus acidophilus</i>	山楂、葛根	[13]
瑞士乳杆菌 <i>L. helveticus</i>	生姜	[14]
植物乳杆菌 <i>L. plantarum</i>	陈皮	[15]

2 微生物发酵的作用机理和特点

微生物发酵主要利用真菌和细菌发酵过程中所产生的酶,通过酶的作用将一种物质转化为另一种物质^[18]。在利用微生物发酵法处理药食同源植物的过程中,发挥作用的酶有淀粉酶、蛋白酶、脂肪酶和纤维素酶等,其可在常温常压下对药食同源植物中的黄酮、类固醇、生物碱、异黄酮、皂苷、植物甾醇和酚类等天然活性成分进行结构修饰,或使底物分子发生氧化、歧化、异构化、脂化、消旋化,从而转化为价值更高的新化合物,增强生物活性,增强降血脂、抗肿瘤、促进消化吸收和溶解纤维蛋白等作用^[19,20]。微生物发酵法处理药食同源植物的特点是产生新的功效成分或提高有效成分含量。

2.1 产生新的成分

微生物可对药食同源植物中的天然活性成分进行生物转化或分解,改变其原有的生物活性,产

生新的成分或功效^[21]。其作用机理主要表现在 4 个方面:①药食同源植物中的活性成分与微生物代谢产物反应可转化为新的成分,如桑葚中的蛋白质及氨基酸在植物乳酸菌 NCU137 酶系作用下,能够发生脱羧降解生成醇类,从而产生新的 20 种香气成分^[22];②药食同源植物活性成分在微生物发酵条件下分解产生新的成分,如枳壳在发酵过程中,新北圣草苷、橙皮苷和新橙皮苷等黄酮成分脱糖基转化为 4 种新的单糖苷^[23];③微生物在药食同源植物有效成分的作用下代谢可产生具有新功效的次生代谢产物,如植物乳杆菌 *Lactobacillus plantarum* FCJX 102 和嗜酸乳杆菌 *Lactobacillus acidophilus* FCJX 104 在山楂与葛根提取液中发酵产生 1 种乙醛脱氢酶,可将麻痹神经的乙醛转化成无毒的乙酸,从而增强发酵产物醒酒护肝的效果^[24];④药食同源植物活性成分与微生物次生代谢产物反应产生新的成分,如在微生物发酵覆盆子的过程中,覆盆子中的阿拉伯糖和甘露醇与来自于真菌 *Clonostachys rogersoniana* 的聚

酮母核结合产生新的代谢产物,使得发酵后聚酮类化合物的含量水平显著升高^[25]。

此外,药食同源植物与微生物之间可发生协同作用,药食同源植物中原有的营养物质有助于微生物的分裂、生长,进一步促进生物转化的发生。如枸杞和山药浸提物中丰富的营养成分和抗氧化活性,对严格厌氧双歧杆菌 *B. adolescentis* 具有显著的促生长影响^[8];菊花水煎液能促进长双歧杆菌的体外增殖与活性,缩短双歧杆菌的培养时间^[12]。

2.2 增加有效成分含量

微生物发酵可增加药食同源植物的有效成分含量,主要原因有 2 个:①发酵过程中药食同源植物中多个物质转化为同一物质^[26],如伞状犁头霉 *Absidia corymbifera* AS₂ 可将黄芪中的黄芪甲苷 I、异黄芪苷 I、黄芪甲苷 II 和异黄芪苷 II 均转化为芪甲 IV,使发酵后黄芪甲 IV 的含量提高 4 倍^[27]。②微生物可以改变药食同源植物天然活性成分的物质结构,提高有效成分的溶出率,如利用甲基营养型芽孢杆菌 N-14 菌株发酵黄芪,可增加黄芪总多糖的溶出率,使提取得率提高了 10 倍以上^[28];双歧杆菌发酵对生、炒麦芽提取液多糖的溶出率也有显著影响,发酵后生麦芽多糖含量和炒麦芽多糖含量均显著提高^[10]。

3 微生物发酵药食同源植物技术进展

采用微生物发酵技术处理药食同源植物历史悠久,随着科技的发展和 innovation,使得微生物发酵效率也逐步提高。传统发酵技术主要采用自然接种、多菌种发酵,菌种为自然环境中的真菌和细菌,发酵过程中加入的微生物种类繁多,但真正发挥作用的菌种数量有限,如在豆豉发酵中发挥作用的主要是产生脂肪酶、淀粉酶和蛋白酶的芽孢杆菌和乳酸菌,但通常还会掺杂其他菌种,如曲霉、根霉和毛霉等,在发酵过程中损耗营养、降低效率,同时容易污染发酵产物^[29]。

随着实时荧光定量 PCR 和 RNAi 等现代技术的发展以及对微生物多样性研究的深入开展,现代发酵技术可根据微生物发酵药食同源植物过程中菌落的变化规律及其组成结构的变化,筛选出有利菌种^[30]。如利用 26S rDNA 序列分析,从枸杞果园土壤、枸杞鲜果表面的活菌中筛选得到可

用于发酵枸杞果酒的孢汉逊酵母 (*Hanseniaspora uvarum*) 和戴尔有孢圆酵母 (*Torulaspora delbrueckii*),将 2 种酵母以 3:1 比例混合发酵,与传统酿酒酵母单独发酵相比,筛选后的菌种发酵含有更多种类的香气成分^[31]。

现代发酵技术还可根据发酵产物含量和发酵过程中的酶活力选用特定的菌种或酶,更具目的性,从而缩短药食同源植物的微生物发酵时间。如利用传统发酵技术发酵六神曲,参与发酵过程的菌种均来自于自然环境,发酵得到的产物稳定性难以控制。而现代发酵技术采用高效液相色谱法检测六神曲发酵过程中有效成分苦杏仁苷和青蒿素的含量变化,同时检测菌种数量变化以及淀粉酶和蛋白酶的酶活力,确定最优发酵菌种和最佳菌种数量,从而提高六神曲的质量与稳定性^[32]。通过在纳豆、赤小豆发酵过程中检测纳豆激酶酶活力,考察得到酶活力最高时,原料中黄豆和赤小豆的比例、发酵温度和时间等条件,相对传统的纳豆发酵,能够显著提高其发酵效率和产品风味^[33]。

此外,在微生物发酵药食同源植物的过程中,随着产物中有效成分含量的升高,大部分菌种的生长能力受到影响,酶活力也会下降,降低了发酵效率。但现代光谱分析技术的使用可以改善这一情况。如在乳酸菌发酵薏苡仁过程中,随着薏苡仁多糖含量的升高导致大部分乳酸菌的生长受到限制,然而利用紫外分光光度法监测多糖含量和菌落生长的情况,筛选出薏苡仁多糖培养基中生长特性较强的植物乳杆菌 Sc6-3 和干酪乳杆菌 NM01,可使薏苡仁多糖的得率提高 4 倍^[34]。黄芪经乳酸菌发酵的过程中,随着黄芪多糖含量的提高,乳酸菌的生长受到抑制,而通过苯酚-硫酸法、紫外分光光度法测定黄芪发酵过程中的多糖含量,并采用平板菌落计数法测定活菌数,筛选出具有共生关系的植物乳杆菌和屎肠球菌,可使发酵产物得率提高 95.5%^[35]。

与传统微发酵技术中的自然接种相比,现代发酵技术可根据发酵目的、发酵条件筛选出对特定条件具有一定耐受能力的微生物,从而摆脱生存条件对微生物生长的限制,缩短发酵时间,提高发酵效率,并有效避免杂菌污染,保证发酵过程的稳定性及安全性。

4 微生物发酵药食同源植物在食品和医药领域的应用

4.1 在食品领域中的应用

在食品领域中常利用乳酸菌或酵母菌等微生物发酵药食同源植物,以增加其营养价值、改善口感,目前普遍用于生产果酒、果醋、乳酸饮料等食品。

果酒是以植物果实为原料,利用酵母菌低温发酵酿制而成的一种风味独特的保健食品。利用微生物发酵药食同源植物酿造果酒,可以根据口味选择添加适当的微生物以改善药食同源植物的口感,如发酵沙棘酿制果酒过程中,利用酒球菌可将沙棘中的苹果酸转化为乳酸,降低沙棘的酸涩和粗糙,使其口感更为柔和^[36]。此外,接种量和发酵时间也是发酵过程中影响果酒口感的重要因素,利用酵母菌发酵白果制作果酒时,发酵时间越长,白果果酒的口感越纯正,这主要与酵母量增长速度有关^[37]。微生物发酵还能够增强果酒的抗氧化、抗疲劳、延缓衰老等作用,如通过微生物发酵山药黄酒,协同山药的养阴功效和黄酒的养肝作用,能够增加黄酒的功效,并提高山药的营养价值^[38]。

果醋富含氨基酸、维生素、有机酸和微量元素,以其独特的风味与药食同源植物结合开发的功能性食品更易被消费者接受。利用微生物发酵药食同源植物制作果醋,能够解决传统工艺中利用浸提法提取活性成分过程中的效率低、耗能大、不利于保存等问题。葛根黄酮具有显著的生津、解肌除烦作用,然而由于不便提取导致不利于开发,但采用乳酸菌、醋酸菌和酵母菌发酵葛根得到的葛根醋,制作方便,富含葛根黄酮,且口感良好^[39]。此外,通过微生物发酵能够增强果酒缓解疲劳、抗氧化和抑菌等作用,同时,由于醋酸菌具有调节肠道平衡的作用,将其用于山楂果醋的制作过程中,能够协同山楂增强开胃消食的功效^[40]。

乳酸饮料是由牛奶经乳酸菌发酵而成的,具有改善肠道健康、促进消化的作用,同时使药食同源植物活性成分更易被人体吸收。山药富含粘液质、尿囊素、氨基酸、多种维生素和矿物质等成分,以乳酸发酵山药,改善山药的口感的同时,利用微

生物的分解作用能够促进山药的天然活性成分分解,更利于被人体吸收利用^[41]。乳酸菌和药食同源植物还具有协同作用,如白扁豆具有滋养脾胃的功效,利用乳酸菌发酵白扁豆制作酸奶,能够发挥白扁豆和乳酸菌饮料健胃、助消化的双重保健作用^[42]。

此外,还可以将微生物发酵药食同源植物应用于果冻、果酱、凉茶等食品。如盛玮和谢笔钧^[43]以乳酸菌发酵山药和鲜牛奶,制作的山药果冻口感细腻、味道良好,且具有健脾补肾的保健作用;利用乳酸菌发酵桑葚、枸杞制备果酱,可以使产品具有桑葚和枸杞的风味和功效^[44];陈康等^[45]利用乳杆菌 PMO 发酵金银花研制凉茶,可改善凉茶口感,提高益生菌增殖活性。上述结果均表明,微生物发酵药食同源植物应用于食品领域,能够改善药食同源植物口感,通过微生物发酵处理使活性成分更利于被人体吸收,还可协同微生物的作用提高产品的营养价值。

4.2 在医药领域中的应用

微生物发酵是药食同源植物炮制方法之一,如神曲、淡豆豉、红曲、麦芽等,微生物发酵比一般物理方法处理更高效,其在医药领域中主要起到增强疗效和改变药性 2 个方面的作用。如采用微生物发酵大豆制作淡豆豉,能够增强大豆解肌发表、解郁除烦的功效^[46];采用灵芝为发酵菌种发酵处理当归,可使灵芝和当归的抗氧化活性提高^[47]。此外,微生物发酵药食同源植物可改变产物的药性,如发酵淡豆豉时,以桑叶、青蒿发酵,药性偏于寒凉,多用于风热感冒;以麻黄、紫苏发酵,药性偏于辛温,多用于风寒感冒^[48]。目前微生物发酵药食同源植物在医药领域中的应用相对较少,可能与微生物发酵过程周期长、生产成本高有关,需要对发酵原料、发酵菌种、发酵时间严格控制,才能使微生物发酵药食同源植物在医药领域得到更好地发展。

5 展望

微生物发酵技术在我国处于发展阶段,各方面尚未成熟,利用微生物发酵法处理药食同源植物还存在诸多问题,如符合国际安全认证的菌种数有限、发酵处理时间长、转化条件不明确、转化过程易受外界因素影响等。这些问题影响着微生

物发酵药食同源植物的应用前景。

目前,对于利用微生物发酵药食同源植物产生的新成分的相关研究报道尚少,对提高有效成分含量的报道占绝大多数,且应用于果酒、果醋、乳酸饮料等食品方面的研究以增加风味为主,有关发酵提高产品功效或产生新功效的产品较少,后续的产品开发研究应从加强对微生物发酵后新产生成分或药理作用方面展开。

对于功能性食品,我国卫生部公布的《真菌类保健食品评审规定》和《益生菌类保健食品评审规定》对其使用菌种范围作出了严格的规定^[49],但在微生物增加药食同源植物的成分和疗效的研究中,多采用自然界筛选得到的规定以外的其他菌种,这无疑对利用微生物发酵法处理药食同源植物开发功能性食品的开发造成局限。此外,目前对微生物发酵法在药食同源植物中的应用,除了果酒、果醋、乳酸饮料等饮品,在医药领域应用的研究较少,这可能与微生物发酵药食同源植物的周期长、生产成本高等原因有关,期望微生物发酵技术的进步能够弥补药食同源植物在医药领域或保健功能领域应用的不足,使药食同源植物的药用价值得到合理开发利用。

参 考 文 献

- [1] Hussain A, Bose S, Wang J H, *et al.*. Fermentation, a feasible strategy for enhancing bioactivity of herbal medicines [J]. *Food Res. Int.*, 2016, 81(9):1-16.
- [2] Bae S Y, Oh J S, Park M K. Characteristics of sugar extracts of medicinal plants fermented with *Lactobacillus plantarum* DK119 [J]. *Korean J. Food Sci. Tech.*, 2018, 50(2):179-185.
- [3] 赵九永. 传统大豆发酵食品的营养价值与保健功能[J]. *粮食科技与经济*, 2017, 42(2): 71-73.
- [4] 徐姿静, 徐占成, 唐清兰. 中国传统固态大曲酒风味质量特色的研究进展[J]. *酿酒科技*, 2017, 23(1):84-89.
- [5] 刘同亭. 施今墨应用发酵中药临证经验探析[J]. *中国医药导报*, 2018, 15(10):108-111.
- [6] Cao Z H, Green J M, Buckley N D, *et al.*. Bioactivity of soy-based fermented foods: A review[J]. *Biotechnol. Adv.*, 2019, 37(1): 223-238.
- [7] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 卫生部办公厅关于印发《可用于食品的菌种名单》的通知[EB/OL]. <http://www.nhc.gov.cn/wjw/gfxwj/201304/07bd9c8ca1de46739c24a9d311b2a9d2.shtml>, 2010-04-22.
- [8] 张火云, 孙启玲, 袁月祥, 等. 中药及其优化培养基对双歧杆菌增殖的影响[J]. *四川大学学报(自然科学版)*, 2004, 41(1):189-192.
- [9] 冉域辰, 黎海芪, 刘明芳, 等. 金银花水提物对双歧杆菌、乳杆菌生长的影响[J]. *中药药理与临床*, 2007, 23(5): 118-120.
- [10] 焦方文, 徐有伟, 王集会. 中药麦芽发酵前后总多糖的含量对比研究[J]. *中南药学*, 2016, 28(6):652-654.
- [11] 梁永海, 李凤林, 庄威, 等. 红小豆双歧杆菌发酵保健饮料生产工艺的研究[J]. *冷饮与速冻食品工业*, 2005, 11(4):18-20.
- [12] 龚芳红, 贺松, 张德纯, 等. 菊花水煎液对长双歧杆菌促生长作用的探讨[J]. *中国微生态学杂志*, 2009, 21(4): 289-291.
- [13] 谈文诗, 李理. 高压微射流对姜汁黑豆酸奶流变学特性的影响[J]. *中国酿造*, 2017, 36(10):125-129.
- [14] 范寰, 王建国, 孟繁瑞, 等. 不同发酵方法对预防鸡大肠杆菌病中药药效的影响[J]. *天津农业科学*, 2015, 21(9): 51-56.
- [15] 褚盼盼, 吕艺瑶, 朱晓换, 等. 微生物发酵粗酶液酶解提取黑豆衣红色素新工艺[J]. *食品科技*, 2015, 40(6):262-268.
- [16] Gavini F, Pourcher A M, Bahaka D, *et al.*. The genus *Bifidobacterium*-classification, identification critical aspects [J]. *Med. Maladies Infect.*, 1990, 20:53-62.
- [17] Thongaram T, Hoeflinger J L, Chow J M, *et al.*. Prebiotic galactooligosaccharide metabolism by probiotic lactobacilli and bifidobacteria[J]. *J. Agr. Food Chem.*, 2017, 65(20): 4184-4192.
- [18] Wu T X, Wang N, Zhang Y, *et al.*. Advances in the study on microbial fermentation and transformation of traditional Chinese medicine[J]. *Afr. J. Microbiol. Res.*, 2013, 7(17): 1644-1650.
- [19] Kang J, Zeng B, Tang S, *et al.*. Effects of *Momordica charantia* saponins on *in vitro* ruminal fermentation and microbial population [J]. *Asian Austral. J. Anim. Sci.*, 2016, 29(4):500-508.
- [20] Hussain A, Bose S, Wang J H, *et al.*. Fermentation, a feasible strategy for enhancing bioactivity of herbal medicines [J]. *Food Res. Int.*, 2016, 81(12): 1-16.
- [21] Jung J, Jang H J, Eom S J, *et al.*. Fermentation of red ginseng extract by the probiotic *Lactobacillus plantarum* KCCM 11613P: Ginsenoside conversion and antioxidant effects[J]. *J. Ginseng. Res.*, 2019, 43(1):20-26.
- [22] 苏能能, 关倩倩, 彭珍, 等. 乳酸菌发酵对桑葚浆品质及抑菌性能的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2018, 44(9): 117-124.
- [23] 张栋健, 李薇, 梁之桃, 等. 枳壳发酵炮制前后的成分变化及工艺优化[J]. *中国药房*, 2017, 28(7):971-974.
- [24] 罗成, 万茵, 付桂明, 等. 植物乳杆菌 FCJX 102 和嗜酸乳杆菌 FCJX 104 共发酵山楂-葛根汁产乙醛脱氢酶[J]. *食品与发酵工业*, 2017(12):75-80.
- [25] 邢赟. 覆盆子和丹参的真菌发酵改性研究[D]. 昆明: 云南大学, 硕士学位论文, 2016.
- [26] Huynh N T, Van Camp J, Smagge G, *et al.*. Improved release and metabolism of flavonoids by steered fermentation processes: A review [J]. *Int. J. Mol. Sci.*, 2014, 15(11): 19369-19388.
- [27] Ye L, Liu X H, Zhou W, *et al.*. Microbial transformation of astragalosides to astragaloside IV by *Absidia corymbifera* AS2

- [J]. *Process Biochem.*, 2011, 46(9): 1724-1730.
- [28] 郭云霞, 吴国江, 魏萌, 等. 响应面法优选 N-14 菌株发酵黄芪总多糖的工艺条件[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2015, 21(5): 38-41.
- [29] 张鹏飞, 乌日娜, 武俊瑞. 传统发酵大豆制品挥发性成分和微生物多样性的研究进展[J]. *中国酿造*, 2018, 37(12): 1-6.
- [30] Liu T, Jia T, Chen J, *et al.*. Analysis of microbial diversity in Shenqu with different fermentation times by PCR-DGGE [J]. *Braz. J. Microbiol.*, 2017, 48(2): 246-250.
- [31] 剧柠, 赵梅梅, 柯媛, 等. 枸杞果酒用非酿酒酵母的分离筛选及香气成分分析[J]. *食品与发酵工业*, 2017, 43(11): 129-135.
- [32] 马维维, 戚岑聪, 张艳聪, 等. 六神曲固态协同发酵工艺优化及物质动态变化研究[J]. *中华中医药学刊*, 2017, 35(5): 237-240.
- [33] 付文静, 王家林, 张杰. 赤小豆纳豆发酵工艺的研究[J]. *食品研究与开发*, 2018, 33(2): 109-113.
- [34] 吴小燕, 双全, 乌云, 等. 带壳苕苡仁乳酸菌发酵产多糖特性的测定[J]. *食品科技*, 2013, 38(3): 14-17.
- [35] 乔宏兴, 史洪涛, 白静, 等. 植物乳杆菌和屎肠球菌协同固体发酵黄芪的互作及在断奶仔猪上的应用[J]. *中国兽医学报*, 2018, 38(10): 1982-1988.
- [36] 邢玮, 韩建春. 沙棘果酒苹果酸-乳酸发酵影响因素研究[J]. *东北农业大学学报*, 2012, 43(2): 20-27.
- [37] 李殿鑫, 戴远威, 苏新国. 白果果酒开发研究[J]. *酿酒科技*, 2015, 255(9): 90-93.
- [38] 黄和升, 王海平, 鲍驰. 山药黄酒发酵工艺条件优化[J]. *食品工业*, 2015, 36(12): 8-11.
- [39] 马晓珂, 王振斌, 马海乐, 等. 葛根多菌种混合发酵研制醋饮料试验[J]. *江苏大学学报(自然科学版)*, 2014, 35(6): 667-673.
- [40] 孔瑾, 李双银, 娄文娟, 等. 生料法制取山楂发酵果酒及果醋工艺技术研究[J]. *食品研究与开发*, 2016, 37(17): 92-97.
- [41] 张齐军, 韦丽. 鲜山药发酵乳的生产工艺研究[J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(33): 16397-16400.
- [42] 房健, 李朝霞, 陈洪兴. 白扁豆酸奶的研制[J]. *食品研究与开发*, 2006, 27(11): 120-122.
- [43] 盛玮, 谢笔钧. 怀山药保健果冻的研制[J]. *食品与机械*, 2007, 23(4): 134-135.
- [44] 高媛, 李春艳, 董艳, 等. 植物乳杆菌发酵桑葚枸杞果酱的工艺优化[J]. *安徽农业科学*, 2015, 43(5): 266-267.
- [45] 陈康, 李洪军, 贺雅非. 金银花乳杆菌发酵凉茶的研制[J]. *食品科学*, 2016, 37(3): 131-136.
- [46] 田赛赛, 何金城, 韩燕, 等. 大豆及其发酵品的活性成分研究进展[J]. *药学服务与研究*, 2016, 16(1): 15-18.
- [47] 俞建民, 魏龙, 陈芳, 等. 提高灵芝-当双向固态发酵基质抗氧化活性的条件优化研究[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(16): 160-165.
- [48] 王思齐, 王满元, 关怀, 等. 淡豆豉炮制历史沿革的研究[J]. *中国中药杂志*, 2018, 43(10): 1985-1989.
- [49] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 卫生部关于印发真菌类和益生菌类保健食品评审规定的通知 [EB/OL]. <http://www.nhc.gov.cn/wjw/gfxwj/201304/a4b531b5586d403183cebc2068f3fa32.shtml>, 2001-03-23.