

微生物对白酒酒糟的转化利用研究进展

Advances in microbial conversion and utilization of distiller grains

高铭坤 温广宇 钱芳

GAO Ming-kun WEN Guang-yu QIAN Fang

(东北农业大学动物科学技术学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

(School of Animal Science and Technology, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030, China)

摘要:微生物发酵在对生产固态白酒副产物白酒糟的转化利用方面的应用日益凸显。针对近年来微生物发酵白酒糟产物在降低饲料霉菌毒素、生产高附加值精饲料、生产饲料添加剂方向的研究进行综述,对其在动物饲料上的应用效果进行阐述,同时对微生物技术在白酒糟转化方向上的应用前景进行展望。

关键词:微生物转化;酒糟;去毒;饲料

Abstract: The application of microbial conversion in the use of distiller grain is the by-products of the production of solid white liquor, which has become increasingly prominent. Themicrobial in detoxifying distiller grains, production of high added value feed and feed additive in recently years, especially the effect of it application in animal feed were reviewed. Moreover, a prospect of application of microbial technology in the transformation of distiller grains.

Keywords: microbial conversion; distiller grains; detoxify; feed

白酒糟是中国传统固态白酒生产过程中剩下的残渣。白酒糟主要是以高粱、小麦、玉米、谷物等为原料经过发酵、蒸出提取酒精和香味物质后的残留物,其主要营养成分来自于因糖化和发酵不彻底而余留的部分原料残余物,以及微生物代谢活动和菌体自溶所产生的物质^[1],主要包括蛋白质、脂肪、纤维素、钙、磷等营养物质,并富含发酵产物,如酵母和活性因子等^[2]。2017 年中国白酒产量为 $1.198 \times 10^7 \text{ m}^3$ ^[3],根据白酒与酒糟的对应产量比为 1:3^[4],2017 年白酒糟的产量达 $3.594 \times 10^7 \text{ t}$ 。白酒工业每年产生大量的副产物白酒糟,然而新鲜白酒糟含水约为 60%,营养物质丰富,极易发霉变质,严重影响了白酒糟的应用范围。

中国白酒糟的利用多数是直接投喂鲜酒糟给家畜食

用^[5]。但鲜酒糟若使用不及时或者未密封处理容易生长杂菌,产生氨味、甲酚、吡啶等有害物质;此外,鲜酒糟中含有残存的酒精,若未经处理直接饲喂易引起动物酒精中毒^[6],这些都限制了酒糟的应用。

目前,利用微生物转化作用提升白酒糟的饲用价值经济效益是最为有效的方法。微生物发酵白酒糟后其蛋白质含量最高,产气量最少,肠道微生物对蛋白质的降解能力提高,有益于上皮细胞的代谢和生理功能改善^[7];对于已产生杂菌及霉变的酒糟,微生物的转化作用表现为将有毒物质降解生成无毒副作用的产物;除此之外,利用微生物发酵还可以制备功能性饲料添加剂,极大地提高了白酒糟的商业附加值及应用范围。

1 微生物转化饲料中的霉菌毒素

在农作物的自然生长、收获的过程中,尤其是在洪涝、虫害等外界因素胁迫下,易被来自空气传播或病虫携带的产毒真菌污染^[8]。这种有毒真菌在代谢过程中会积累大量有毒产物——霉菌毒素,不同的霉菌毒素可造成动物不同的生理反应与中毒症状,对牲畜含有霉菌毒素的饲料会引起动物中毒、致癌、致畸等^[9]。对于酿酒的谷物来说,其对霉菌毒素含量更为敏感,在乙醇蒸馏以后产生的酒糟及可溶物(Distillers Dried Grains with Solubles, DGGS)中大量的霉菌毒素可能会被保留下来。畜禽若食用了这样的酒糟后,其携带的霉菌毒素又在肉蛋奶等食品中蓄积,造成畜产品的污染,通过食物链传递,对人类健康带来严重的威胁^[10]。

霉菌毒素的处理方法包括物理法、化学法、生物法。物理法是通过向饲料中添加可吸附霉菌毒素的物质,是中国饲料生产中常用的一种方法,利用吸附剂可降低机体对毒素的吸收,减少毒素对机体的毒害。主要吸附剂有水合硅铝酸钙钠盐、沸石、活性炭、膨润土等^[11]。化学法是利用能与黄曲霉毒素发生反应的物质如氢氧化钠、氨等,使饲料中的黄曲霉毒素遭到破坏或钝化其化学结构,但成本较高并有残余

基金项目:黑龙江省自然科学基金(编号:QC2016021)

作者简介:高铭坤,男,东北农业大学在读本科生。

通信作者:钱芳(1978—),女,东北农业大学讲师,硕士。

E-mail: qianfang1997@163.com

收稿日期:2017-12-27

物^[12]。生物法是利用微生物降解法或酶解法通过对霉菌毒素的分解或直接降解,达到降低饲料中霉菌毒素的含量,减少畜禽摄入量。但酶的浓度和作用环境不易控制,而且酶的成本高、无法回收再利用^[13]。

微生物去毒法是利用某些特定的微生物来转化霉变饲料中的霉菌毒素。在饲料中加入微生物后,使霉菌毒素温和降解,在不利用高温、强酸、强碱等易对饲料营养成分起破坏作用的环境和条件,达到去除霉菌毒素的目的^[14]。Shetty 等^[15]研究发现酿酒酵母是结合黄曲霉毒素 B₁ 最有效的微生物之一。接种酿酒酵母后,在培养 7 d 和 15 d 后,黄曲霉毒素 B₁ 的浓度分别减少了 74.4% 和 55.9%。Armando 等^[16]发现酿酒酵母 RC008 和 RC016 在不同生长环境下能够有效减少致病曲霉和黄曲霉的体外生长。乳酸菌对黄曲霉毒素的抑制能力已被证明,乳酸球菌属、乳杆菌属,包括植物乳杆菌、发酵乳杆菌、德氏乳杆菌、鼠李糖乳杆菌,均能够抑制黄曲霉菌株和霉菌株的生长,减少黄曲霉毒素的产生。齐景凯等^[17]发现利用 6% 黑曲霉在 30 ℃ 下发酵 60 h 后,酒糟饲料 DDGS 中的黄曲霉毒素 B₁ 的含量比发酵前降低了 77.34%,对黄曲霉毒素 B₁ 的降解效果较好。Zsolt Prettl 等^[18]在玉米全酒糟中筛选出嗜吡啶红球菌株,可以降解玉米酒糟中产生的黄曲霉毒素,利用吡啶紫红球菌 K408 菌株能够将黄曲霉毒素 B₁ 的浓度降低到限制范围以下。

由此可见,微生物对于霉菌毒素的降解作用具有效果好、产率高、所得产物安全无毒等优点,已成为饲料去毒方法中的热点研究内容,但对于微生物去毒的机制还有待研究,微生物去毒方法必将成为未来脱毒方法的必要之选。

2 微生物转化生产低纤维素含量饲料

由于酒糟是经高粱、小麦、玉米、大米或其他谷物等原料发酵蒸馏出传统固态白酒后的副产物,其粗纤维含量约占湿重的 20%,有效能值较低,若直接作为饲料喂养动物,非蛋白氮没法为动物利用,粗纤维的高含量影响其有效营养的吸收,降低了酒糟的使用价值^[19]。可利用微生物发酵白酒糟,将酒糟中的淀粉、糖类等营养物质转化为自身的代谢产物,同时产生脂肪酶、蛋白酶、纤维素酶等酶类,降解酒糟中的纤维素,利于动物的消化吸收利用^[20]。

杨光瑞等^[21]以 5% 的里氏木霉、黑曲霉、酿酒酵母(1:1:1)为混合发酵菌株,初始含水率为 65%,在 30 ℃ 下发酵 60 h,经发酵后饲料中粗蛋白含量达 34.32%,瘦管羊尼龙袋消化试验结果显示发酵后极大改善了饲料的纤维化,提高了动物适口性。彭忠利等^[22]则以 0.5% 的接种量 1:1:1 的比

例接种米曲霉、黑曲霉、酵母菌在白酒糟中,得到的微生态白酒糟饲料与发酵前相比,粗蛋白含量、真蛋白含量、酸性蛋白酶活力、中性蛋白酶活力和纤维素酶活力分别提高了 30.39%、38.06%、41.69%、67.00%、103.84%,总氨基酸含量提升 17.74%,酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维含量分别降低 23.64%、20.40%。经微生物发酵后的白酒糟饲喂动物时,提高动物消化率,降低饲料成本,增快动物增重,增加经济效益。

3 微生物转化生产高蛋白饲料

经微生物发酵酒糟可以将无机氮、植物蛋白转化为菌体蛋白,提高蛋白含量,改变酒糟中蛋白质结构、氨基酸组成及比例。发酵后的白酒糟中除高含量的蛋白外,富含多种维生素、矿物质和生物活性物质,包括钙、铜、镁、铁、维生素 B₆、维生素 B₁、维生素 B₁₂、维生素 B₂、谷胱甘肽以及多种微生物酶、生长调节剂等^[23]。具体微生物对白酒糟的发酵工艺参数及发酵后酒糟中真蛋白含量见表 1。

张玉诚等^[24]利用白地霉、米曲霉、绿色木霉和枯草芽孢杆菌混菌固态发酵白酒糟,得到的饲料蛋白含量提高了 57.85%,总氨基酸含量提高了 24.47%。焦肖飞等^[25]利用 3 种混合菌对白酒糟进行固态发酵,当接种 5% 的枯草芽孢杆菌、10% 的白地霉培养 24 h 后,接种 5% 的产朊假丝酵母,30 ℃ 培养 72 h,得到的蛋白转化率最高,粗蛋白含量达 32.09%。宋善丹等^[26]以米曲霉、黑曲霉、酵母与 75% 酒糟、25% 麦麸发酵白酒糟,经发酵后 CP 和 TP 含量均升高,各种氨基酸尤其是必需氨基酸含量较发酵前明显增加,赖氨酸量为发酵前的 2.4 倍,赖氨酸/甲硫氨酸(Lys/Met)明显提高,体外产气量及养分降解特性表明发酵后酒糟具有较好的瘤胃发酵特性,对反刍动物的营养价值高于发酵前。余乾伟等^[28]以 2:2:3 的黑曲霉 A11:康氏木霉 T8:白地霉 G1 发酵白酒酒糟,得到粗蛋白(CP)含量为 29.8% 的蛋白饲料,而且混合菌发酵产蛋白含量显著高于单一菌发酵。发酵后的白酒糟蛋白质含量显著提高,氨基酸比例得到改善,更利于动物的吸收利用,是一种具有优质蛋白来源的饲料。

4 微生物发酵酒糟饲料在畜禽饲养中的应用

以玉米与小麦为酿酒原料的白酒酒糟中,由于在制酒中经糖化、发酵、蒸馏的过程后,仅消耗占原料总量 60% 左右的淀粉,而蛋白质、纤维素、脂肪、灰分和制酒过程中产生的酵母菌体都残留在酒糟中^[29]。利用微生物发酵纤维饲料原料

表 1 不同微生物发酵白酒糟后饲料中真蛋白的含量

Table 1 The true protein content of distiller after fermentation of various microorganisms

菌种类型	接种比例	培养时间/h	真蛋白(TP)含量/%	参考文献
白地霉:米曲霉:绿色木霉:枯草芽孢杆菌	1:1:1:1	72	23.95	[24]
枯草芽孢杆菌:白地霉:产朊假丝酵母(分步发酵)	1:2:1	96	24.85	[25]
米曲霉:黑曲霉:酵母	1:1:1.6	72	25.83	[26]
活化酵母菌:根霉	1:2.5	64	18.02	[27]

制备的纤维醇解产品可显著提高产品中粗蛋白质的含量^[30],促进动物的消化吸收及肉禽畜的增重。

魏来等^[31]利用比例为2:1:1的黑曲霉:枯草芽孢杆菌:嗜酸乳杆菌的混菌,发酵鲜白酒糟,接种量为12%,发酵温度为37℃,经此工艺酒糟中粗蛋白含量提高了23.6%,氨基酸总量提高了29.3%,利用发酵的白酒糟代替部分饲料原料后,提高了育肥猪的日增重水平和采食量,降低了料肉比和动物饲料的使用成本,增加了养殖经济效益。陈欣等^[32]研究了经酿酒酵母培养后的白酒糟的营养价值,结果表明白酒糟总能值较高,粗蛋白含量为31.12%,粗纤维经降解后含量为11.00%,猪对白酒酿酒酵母培养物中必需氨基酸和非必需氨基酸的回肠末端表观消化率分别为72.38%和69.37%,其中赖氨酸和甲硫氨酸的回肠末端表观消化率均超过80%,氨基酸吸收率和利用率较高,适宜应用于猪饲料生产。王斌星等^[33]探究了曲霉混合菌发酵酒糟饲料对育肥藏绵羊产性能、养分表观消化率和经济效益的影响,发现利用酒糟代替17%的精料,显著提高藏绵羊日增重,降低料重比,提高饲养养分表观消化率和经济效益。发酵白酒糟饲料在畜牧业中的广泛应用为蛋白资源开发提供了新途径。

5 微生物转化生产微生物饲料添加剂

微生物饲料添加剂是指在饲料中添加或直接给动物饲喂微生物或微生物及其培养物,参与调节胃肠道内微生态平衡或者刺激特异性或非特异性免疫功能,基本上不被宿主动物消化,可被肠道有益细菌消化,可以促进一种或几种肠道内常住菌的生长繁殖,具有促进动物生长和提高饲料转化率的微生物制剂^[34-35]。利用白酒生产的副产物酒糟发酵生产饲料添加剂主要是通过菌种培养、加热灭菌处理、固体混合发酵、干燥成品化等步骤,将副产物酒糟通过微生物发酵转化为高附加值的畜禽饲料添加剂^[36]。常用在畜牧业的微生物种类分为乳酸菌、芽孢杆菌、酵母菌及曲霉属的黑曲霉、米曲霉等。已有利用乳酸菌、酵母菌发酵白酒生产副产物酒糟制备微生物饲料添加剂的研究,但其他菌株尚未见报道。

邹明鑫等^[37]以酱香型白酒酒糟为原料,通过接种乳酸菌-嗜酸乳杆菌、植物乳杆菌、乳酸乳球菌乳脂亚种和德氏乳杆菌保加利亚亚种,在以酒糟与葡萄糖为主要成分的培养基中可培养成为高密度乳酸菌发酵液,干燥后的微生物饲料添加剂中乳酸乳球菌含量达 4×10^8 CFU/mL。龙茜萍等^[38]以酱香型白酒糟为原料,接入酵母菌进行发酵,最佳工艺为接种量10%,料液比1:10(g/mL),葡萄糖2%,培养时间5d,得到的酒糟菌悬液中菌数可达 6.73×10^{10} CFU/mL;酒糟与麸皮比为5:3填充后,得到的酵母菌饲料添加剂中菌数可达 6.25×10^8 CFU/g,蛋白质含量达22%。左国营^[39]以酿酒副产物白酒糟为基础原料,通过植物乳杆菌、双歧杆菌、布拉德酵母、枯草芽孢杆菌和地衣芽孢杆菌为益生菌菌种,制备了一种复合益生菌饲料产品,活菌数大于 1×10^9 CFU/g。徐丽萍等研究表明白酒糟酵母培养物能够为动物瘤胃中的纤维分解菌提供丰富的营养源,因此能够提高动物对粗饲料的消化能力,白酒糟酵母培养物的添加可增加牧牛随意采食

量,可提高肉牛体重达28.6%^[40];白酒糟酵母培养物不但能增加肉羊的体重,还能改善肉羊的健康状况^[41]。马友彪等^[42]比较添加了0.5%~1.0%白酒糟酵母培养物的日粮与降脂日粮在肉鸡饲料中的应用,结果表明均可提高肉鸡的体重增重,降低料重比,降低腹脂率,显著改善肉仔鸡血清中抗氧化能力。利用白酒糟生产饲料添加剂,扩大了酒糟的利用率,同时提高了添加剂的生产质量,拓宽了酒糟开发利用的新途径。

6 结论与展望

白酒是中国重要的传统食品之一,随着白酒的生产每年都有大量的酒糟产生。利用微生物改善酒糟的成分和营养含量,提高饲料的功能价值和应用范围,是酒糟高附加值产品开发的重要手段之一。然而,目前利用微生物转化白酒糟饲料的研究尚处于初级阶段,微生物处理白酒糟技术的研究还有待深入。未来应在微生物种类对白酒糟在应用范围和方向上展开综合研究,具体优化发酵白酒糟生产不同产品的菌种组合及生产工艺,以及针对不同种类酒糟产品研发直投型发酵剂;在脱毒及生产饲料添加剂方向上展开应用范围研究,筛选高效安全的微生物发酵菌种,保证其在饲喂动物中的安全性和功能特性,提高白酒糟的利用价值,延长白酒生产的产业链,增加食品与饲料领域的经济效益。

参考文献

- [1] 沈怡方. 白酒生产技术全书[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1998: 10-11.
- [2] 王晓力. 白酒糟生产高蛋白饲料研究进展及前景[J]. 中兽医医药杂志, 2013, 32(6): 34-36.
- [3] 中国产业信息网. 2017年中国白酒产量统计分析[EB/OL]. (2017-12-07)[2017-12-11]. <http://www.chyxx.com/industry/201712/590190.html>.
- [4] 胡长敏, 张敏敏, 刘涛, 等. 酒糟作为饲料原料的营养与危害[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2010(17): 95-97.
- [5] 赖玉城. 产多酶体系混菌固态发酵酒糟生产蛋白饲料[D]. 福州: 福建师范大学, 2014: 2-3.
- [6] 孙锐锋. 酒糟不同处理方法对肉牛增重效果的影响[J]. 中国草食动物科学, 2017, 37(1): 66-68.
- [7] 葛婷, 孙巍巍, 朱伟云. 不同水平蛋白质底物对猪结肠微生物体外发酵特性和菌体合成能力的影响[J]. 动物营养学报, 2016, 28(7): 1998-2004.
- [8] BHAT R, REDDY K R N. Challenges and issues concerning mycotoxins contamination in oil seeds and their edible oils: Updates from last decade[J]. Food Chemistry, 2017, 215: 425-437.
- [9] 程传民, 柏凡, 李云, 等. 玉米乙醇糟中霉菌毒素的研究[J]. 饲料研究, 2014(19): 74-77.
- [10] AIKO V, MEHTA A. Occurrence, detection and detoxification of mycotoxins [J]. Journal of Biosciences, 2015, 40(5): 943-954.
- [11] 阳伟红. 饲料黄曲霉毒素去毒方法[J]. 四川畜牧兽医, 2015(9): 49.
- [12] 刘震坤, 陈鲜鑫. 饲料中常见霉菌毒素的危害及预防措施[J].

- 饲料与畜牧, 2014(4): 29-31.
- [13] 杨忠诚, 刘镜, 龚铭, 等. 饲料中黄曲霉毒素的危害及脱毒方法[J]. 贵州畜牧兽医, 2016, 40(3): 18-20.
- [14] 赵必迁, 周安国. 饲料中霉菌毒素的微生物脱毒研究进展[J]. 饲料博览, 2010(9): 10-14.
- [15] SHETTY P H, JESPERSEN L. *Saccharomyces cerevisiae* and lactic acid bacteria as potential mycotoxin decontaminating agents[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2006, 17(2): 48-55.
- [16] ARMANDO M R, DOGI C A, ROSA C A, et al. *Saccharomyces cerevisiae* strains and the reduction of *Aspergillus parasiticus* growth and aflatoxin B₁ production at different interacting environmental conditions, in vitro[J]. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*, 2012, 29(9): 1 443-1 449.
- [17] 齐景凯, 李丹丹, 王思珍, 等. 黑曲霉固体发酵 DDGS 降解黄曲霉毒素初探[J]. 饲料工业, 2017, 38(16): 53-54.
- [18] PRETTL Z, DËSI E, LEPOSSA A, et al. Biological degradation of aflatoxin B₁ by a *Rhodococcus pyridinivorans* strain in by-product of bioethanol[J]. *Animal Feed Science & Technology*, 2017, 224: 104-114.
- [19] 李芳香, 郁建平. 酒糟的保存和应用现状[J]. 山地农业生物学报, 2016, 35(4): 66-71.
- [20] 傅捷. 酒糟饲料化处理工艺研究[J]. 食品与机械, 1991(2): 16-19.
- [21] 杨光瑞. 固态发酵啤酒糟和葡萄渣复合蛋白饲料的研究[C]//中国畜牧业协会草业分会. 第四届中国草业大会论文集. 西宁: [出版者不详], 2016: 173-184.
- [22] 彭忠利, 郭春华, 柏雪, 等. 微生物发酵饲料对山羊生产性能的影响[J]. 贵州农业科学, 2013, 41(6): 134-137.
- [23] 姬玉娇. 茅台白酒糟发酵前后常规营养成分含量的比较[C]//中国畜牧兽医学会动物营养学分会. 中国畜牧兽医学会动物营养学分会第十二次动物营养学术研讨会论文集. 北京: [出版者不详], 2016: 668.
- [24] 张玉诚, 薛白, 达勒措, 等. 混菌固态发酵白酒糟开发为蛋白质饲料的条件优化及营养价值评定[J]. 动物营养学报, 2016, 28(11): 3 711-3 720.
- [25] 焦肖飞, 刘建学, 韩四海, 等. 复合菌生物转化白酒糟发酵条件的优化[J]. 食品科学, 2015, 36(17): 164-168.
- [26] 宋善丹, 陈光吉, 饶开晴, 等. 白酒糟固态发酵条件的筛选及营养价值评定[J]. 中国畜牧杂志, 2015, 51(15): 66-70.
- [27] 苏松, 李开金, 王晓均. 白酒糟发酵条件的探索和发酵对营养成分的改善[J]. 四川畜牧兽医, 2017, 44(1): 23-25.
- [28] 余乾伟, 胡靖, 谢邦祥, 等. 混合菌固体发酵白酒糟生产菌体蛋白饲料的研究[J]. 食品与发酵科技, 2014, 50(5): 87-89.
- [29] 利索维夫, 刘兴义. 酒糟的营养价值[J]. 当代畜牧, 1986(4): 54-55.
- [30] 李慧芬, 马成. 纤维产品经微生物发酵前后的营养价值研究[J]. 中国饲料, 2017(6): 39-43.
- [31] 魏来. 发酵白酒糟工艺优化及其对育肥猪生长性能的影响[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2015: 20-21.
- [32] 陈颀, 包显颖, 苏云, 等. 白酒糟酿酒酵母培养物营养成分分析及在猪饲料中的应用价值评估[J]. 动物营养学报, 2017, 29(8): 2 826-2 835.
- [33] 王斌星, 王伟冬, 郭春华, 等. 发酵酒糟对舍饲育肥藏绵羊生产性能、养分表观消化率和经济效益的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2016(7): 5-10.
- [34] 高林, 白子金, 冯波, 等. 微生物饲料添加剂研究与应用进展[J]. 微生物学杂志, 2014, 34(2): 1-6.
- [35] 修建成. 微生物饲料添加剂的研究与应用[J]. 饲料博览, 2015(11): 20-23.
- [36] 吴世华. 利用废弃酒糟发酵生产饲料添加剂的方法: 中国, CN102048023A[P]. 2011-05-11.
- [37] 邹明鑫, 邱树毅, 王晓丹, 等. 利用酱香型白酒糟生产微生物饲料添加剂的初步研究[J]. 酿酒科技, 2013(7): 91-93.
- [38] 龙茜萍, 王晓丹, 谭静, 等. 酱香型白酒糟发酵生产酵母饲料添加剂的研究[J]. 中国酿造, 2014, 33(1): 40-43.
- [39] 左国营. 利用白酒糟生产微生物饲料益生菌剂的研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2014: 23-24.
- [40] 徐丽萍, 闵勇. 基于大曲白酒糟固态发酵生产新型微生态功能饲料添加剂的研究[J]. 饲料工业, 2016, 37(10): 51-55.
- [41] 姚晓红, 吴逸飞, 王新, 等. 酵母培养物对奶牛生产性能的影响[J]. 中国饲料, 2009(2): 22-23.
- [42] 马友彪, 周建民, 张海军, 等. 不同能量水平饲料中添加白酒糟酵母培养物对肉仔鸡生长性能、胴体组成和血清生化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2018, 30(1): 274-283.

(上接第 170 页)

- [14] 陈义勇, 张德谨. 乌饭树叶黄酮超声—微波辅助提取工艺的优化[J]. 食品与机械, 2016(1): 148-153.
- [15] 王立, 姚惠源. 乌饭树叶中黄酮类色素的提取与分离纯化[J]. 食品与发酵工业, 2004, 30(9): 120-125.
- [16] 王立, 唐小舟, 姚惠源, 等. 乌饭树叶中黄酮类色素清除活性氧自由基的研究[J]. 食品科学, 2005, 26(12): 98-102.
- [17] 章海燕, 王立, 张晖. 基于响应面分析法优化的乌饭树叶水溶性黄酮提取条件[J]. 食品工业科技, 2010, 31(2): 260-263.
- [18] 刘颖, 魏元峰, 蒋伟, 等. 大孔树脂对黄芩黄酮吸附的初步研究[J]. 湖北中医学院学报, 2005, 7(2): 28-30.
- [19] 张静. 银杏黄酮纯化及生物活性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2010: 24-25.
- [20] 孟凡欣, 蒋朝军, 于笑坤, 等. 刺五加多糖的提取及含量测定[J]. 食品工业科技, 2005, 26(7): 110-112.
- [21] 王文平, 郭祀远, 李琳, 等. 考马斯亮蓝法测定野木瓜多糖中蛋白质的含量[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(1): 115-117.
- [22] LIU Yong-feng, LIU Jun-xi, CHEN Xiao-fen, et al. Preparative separation and purification of lycopene from tomato skins extracts by macroporous adsorption resins[J]. *Food Chemistry*, 2010, 123(4): 1 027-1 034.
- [23] 王立, 姚惠源, 陶冠军, 等. 乌饭树叶中鞣皮素的提取分离与鉴定[J]. 食品与生物技术学报, 2005, 24(4): 89-91.