

米糠增值转化应用的研究进展

印 铁¹, 曹秀娟^{1,2}, 张晓琳¹, 熊 健²

(1. 国家粮食局科学研究院, 北京 100037;

2. 华南理工大学 轻工与食品学院, 广东 广州 510640)

摘 要:米糠是一种营养丰富、应用前景广阔的高附加值资源,实现米糠的增值转化对提高我国粮食加工水平具有重要意义。从米糠的性质、稳定化、活性因子、在发酵及食品工业中的应用等方面综述了米糠增值转化应用的研究进展。

关键词:米糠;米糠粕;增值;发酵

中图分类号:TS 210.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7561(2015)01-0084-05

Progress in value-added transformation and application of rice bran

YIN Tie¹, CAO Xiu-juan^{1,2}, ZHANG Xiao-lin¹, XIONG Jian²

(1. Academy of State Administration of Grain, Beijing 100037;

2. College of Light Industry and Food, South China University of Technology, Guangzhou Guangdong 510640)

Abstract: Rice bran is one of the high value-added resources, which is rich in nutrient, and has broad application prospects. It has an important significance to realize the value-added transformation of rice bran for improving the level of grain processing of China. The progress in properties, stabilization and the active factors of rice bran, and its application in the food industry was reviewed.

Key words: rice bran; rice bran meal; value-added; fermentation

米糠是大米和稻谷最外层壳之间棕褐色的皮层部分。它是糙米经糙米机碾白成精米过程中产生的种皮、外胚乳和糊粉层的混合产物,也被称为“米皮”、“清糠”。米糠虽然只占稻谷总重的6%~8%,却含有稻谷64%的重要营养成分及90%以上的人体必需元素,被国外誉为“天赐营养源”^[1]。

我国是世界上稻米生产量最大的国家,稻谷年产量约2亿吨,而米糠是稻米加工成大米中产生的主要副产物,其年产量超过一千万吨。然而目前,除了约10%~15%的米糠用于制取米糠油或提取植酸钙等产品外,大部分被用作畜禽饲料。在国际上,米糠被作为健康食品原料进行深度加工,并开发成保健食品,附加值的提升十分显著。我国在米糠资源的增值利用方面,还有巨大的开发潜力。

1 米糠的基本性质

稻谷在脱粒脱壳后得到糙米,再从糙米到精米

的过程中碾除的部分就是米糠。糙米籽粒的外表皮层包括外果皮、中果皮、珠心层、外胚乳及糊粉层,胚芽如不特殊分离,一般也含在其中。

米糠按照脂质含量的多少可分为三类,即全脂米糠、低脂米糠、脱脂米糠。全脂米糠是指未经提取米糠油操作的米糠。低脂米糠是指提取米糠油后的米糠,其含脂量在7%左右。脱脂米糠是指有机溶剂浸出制取米糠油后的饼粕,其含脂量在1%以下。

另外加工特等米以上精度大米时,采用多机碾白、分层碾磨的工艺,分别收集各道米机摊出的米糠,这些米糠一般可分为以下两类:一类是头道或二道米机碾下的米糠即精糠,另一类是二道、三道或四道米机碾下的米糠即精白米糠。前者含脂质高,适宜提取米糠油及对其油品与饼粕进行综合利用,如提取功能性因子。后者脂质低,但蛋白含量高,适宜开发成以米糠蛋白为主的营养食品 and 功能性食品。

通常我们所说的米糠指未经提取米糠油的全脂米糠。米糠的化学成分因稻谷品种和成品米精度的不同而有很大差异,普通米糠一般含有蛋白质12%

收稿日期:2014-06-16

基金项目:国家粮食局科学研究院自主选题科研计划项目(ZX1308)

作者简介:印铁,1979年出生,男,辽宁朝阳人,副研究员。

通讯作者:张晓琳,1975年出生,女,甘肃天水人,博士,研究员。

~16%、脂肪12%~24%、灰分8%~12%左右,膳食纤维14%、碳水化合物总量为50%左右,具有较高的利用价值。此外还含有生育酚、生育三酚、脂多糖、谷维素、二十八碳烷醇、 α -硫辛酸、角鲨烯、神经酰胺等多种天然抗氧化剂和生理功能卓越的生物活性物质。米糠经浸出、脱脂处理后得到的脱脂米糠称为米糠粕,它含有50%以上的膳食纤维、20%左右的蛋白质以及10%左右的植酸钙,可以用来开发许多高附加值的产品,如米糠蛋白质、植酸、膳食纤维等。因此,脱脂米糠是蛋白质、植酸和膳食纤维的良好来源。

2 米糠的稳定化

碾米机的机械作用破坏了稻米皮层的细胞结构,解脂酶分散到米糠中与油脂充分接触,发生水解反应,迅速分解出脂肪酸,数小时后米糠就会呈现酸败的味道。国外大量研究证实,从糙米脱下的米糠必需在6 h以内将其脱酶稳定,否则米糠的酸价会快速增加,严重影响米糠的开发利用价值。目前国内外研究米糠稳定化的方法包括:低温储存法、微波加热钝化法、盐酸法、过氧化硫酸钠法、亚硫酸钠法、干热处理法、欧姆介电加热法、辐射处理法、挤压膨化法、酶法等。其中美国RICE-X公司研发的挤压法脱酶稳定米糠技术是一种切实可行的工程化技术,在稳定米糠的同时还可以保持米糠的营养价值,米糠保质期可达一年。目前,我国在米糠挤压稳定化技术方面已达到国际先进水平,如益海嘉里、北大荒集团等大型稻米加工企业已实现米糠的稳定化及米糠油的规模化生产。目前为止我国米糠制品开发所面临的重要问题是如何能够开发出适用于中小企业以及分散的农户生产规模的米糠稳定化技术。

3 米糠的增值转化及应用

3.1 从米糠中直接提取功能性物质制备功能性食品

从米糠的组成来看,其脂肪、多糖、蛋白质等成分可以采用物理化学的方法直接提取出来,作为食品、保健品、医药等行业的原料,提高其应用价值。

3.1.1 米糠油

米糠含油率为12%~24%,米糠经压榨、溶液浸出法得到毛糠油及固体脱脂米糠饼(粕)。毛糠油再经脱胶、脱色、脱臭、脱蜡等工序得到精制米糠油。制取的米糠油中不仅含有80%以上的不饱和脂肪酸,还含有丰富的谷维素、维生素E、角鲨烯、复合脂、植物甾醇等几十种天然生物活性成分。米糠油

在增强免疫、降胆固醇、抗氧化作用等方面具有良好的效果。米糠油在欧美日等地区十分畅销,成为继葵花籽油、玉米胚芽油后的又一种优质的保健食用油,其价格及营养价值远超大豆油、花生油和菜籽油等传统植物油。米糠油在煎炸时不起泡沫、不聚合、抗氧化性能好,对鱼类、休闲小吃的风味有增效作用。日本以米糠油为基础油,配以红花籽油制成健康油(比例17:3),与棕榈油以1:1配成方便面煎炸油。在稻米生产大国泰国,40%的米糠产量用于制取米糠油且作为烹调食用。日本是米糠油生产大国,但由于其自身资源不够,原料依赖于泰国进口,日本脱脂米糠的价格高于全脂米糠,这非常利于米糠制油业的发展。在我国,米糠原料比较分散且不易保鲜,虽然米糠油产能为每年200万吨,而实际年产量却不足12万吨。米糠油业在我国是一个很有潜力、很有发展空间的产业。

3.1.2 米糠多糖与米糠膳食纤维

在米糠多种加工产品中,米糠多糖具有良好的经济效益,可使米糠增值50~100倍,极大地提高其价值。当前世界上许多发达国家开始投入人力、物力研究开发米糠的功能性成份,尤其是美国和日本的研究人员在利用脱脂米糠提取米糠多糖方面进行了深入的研究。(1)用热水提取的米糠多糖RB3具有提高免疫力和抑菌的功能。(2)PDP、RW、RON均有提高免疫和抗肿瘤活性的功能。(3)米糠半纤维素RBH能促进肠内双歧杆菌增殖。(4)MGN与NK1000,前者为经酶改性的米糠多糖,主要成分是阿拉伯木聚糖,后者是米糠多糖和真菌多糖的混合物,它们都作为增强免疫力的保健食品。除此之外,还有其他不同类型的米糠多糖,包括Eichi Soma等人^[2]提取的RBS, Kimitoshi等^[3]提取的RBF-P、RBF-PM, Lamkooh H. Ghoneum等人^[4-5]制备的RBG-3, Kado H.等人^[6]将米糠经乳酸菌发酵制备的RBSR-01, 胡国华等^[7]制备的RBHB、RBHA, Sowa等^[8]用100℃、125℃热水提取米糠得到的米糠多糖RBs等。Hikino等^[9]则从米糠中分离出一类多糖,其由4种成分OryzabranA~D组成,具有降血糖的活性。

米糠膳食纤维是米糠中含量最高的多糖类物质,具有独特的生理功能和营养保健作用。脱脂米糠含有近一半的膳食纤维。目前,米糠膳食纤维可添加到面制品、焙烤食品、乳制品、肉制品、饮料、早

餐和休闲食品中,用来改善食品的质构、口感和营养。

制备米糠膳食纤维的方法主要有粗分离法、化学分离法和酶分离法等。粗分离法仅能提取可溶性膳食纤维。化学法的提取条件较剧烈,对膳食纤维中的半纤维素有一定程度的破坏。有研究采用化学—酶法从脱脂米糠中提取膳食纤维,提取的膳食纤维率为39.30%^[10]。

在我国,由于研究起步晚,对米糠多糖的提取、分离技术及相关产品的开发还处于初始阶段,需要进行深层次的探索。

3.1.3 米糠蛋白质

普通米糠一般含有12%~16%的蛋白质,脱脂米糠含有15%~20%以上的蛋白质,由此可见米糠是蛋白质的良好来源。

米糠蛋白质具有人体所需的所有必需氨基酸,且与大米蛋白质相比,其氨基酸组成更接近FAO/WHO推荐模式。米糠蛋白生物效价与牛奶中酪蛋白相近,其营养价值可与鸡蛋蛋白相媲美。米糠蛋白最大的优点是具有低过敏性,是已知谷物中过敏性最低的蛋白质,因此米糠蛋白可以用来生产婴儿配方食品和保健食品,还可以用于开发医疗方面的功能性多肽。利用米糠分离蛋白制取的蛋白饮料,具有优良的乳化稳定性,功能性饮料如RiceChoice和RiceX等产品就是米糠蛋白经酶水解制成的。此外,从米糠中提取的米糠蛋白及其系列水解物,还可应用于焙烤食品、咖啡、糖果、酱料及其他调味品。目前,米糠蛋白提取主要采用碱法、酶法和物理法。碱法提取蛋白质虽然操作简单,但是产品的风味和色泽受到影响,而且会使蛋白质中的赖氨酸与丙氨酸或胱氨酸发生缩合反应,生成有毒物质,丧失了米糠蛋白的食用价值。用酶制剂提取米糠蛋白不仅能提高米糠蛋白的提取率且能使其功能性质发生有利变化,如溶解性增加、乳化活性和乳化稳定性也得到提高^[11]。物理法提取米糠蛋白具有提取效率低、设备投资高的特点。

3.1.4 其他功能性物质

从米糠油中可以得到谷维素、植物甾醇、维生素E、二十八烷醇、三十烷醇等衍生物,这些衍生物大多具有抗氧化、增强免疫力、抵御疲劳、增加人体的精力、耐力和体力以及降胆固醇等多种生理功能,米糠油中谷维素、植物甾醇和维生素E的含量比其他

油脂高,是上述营养保健品的重要天然来源。

植酸钙又称为菲丁或植酸钙镁,其主要成分是肌醇六磷酸钙镁,其中的有机磷和钙易被人体吸收。植酸钙可以促进人体新陈代谢,是一种滋补强壮剂,工业上还可用作防腐剂。脱脂米糠中含10%~12%的植酸钙,是提取植酸钙的最佳材料。

3.2 利用微生物发酵米糠实现其增值转化

米糠经过浸提后,除部分脂溶性维生素等功能成分随米糠油被提走外,大部分水溶性多糖、氨基酸及膳食纤维等活性因子仍保留在糠粕内。采用物理化学等方法提取的功能成分比较单一,而米糠粕的口感及气味也不易为人们所接受。目前国内外有许多利用微生物对米糠粕进行发酵的成功案例,在综合保留其功能成分的同时还增加了微生物多糖等营养物质,提升了产品的口感和可食用性,可进一步提升米糠粕产品的附加值。

3.2.1 微生物发酵米糠产生多糖类物质

以米糠为主要培养基成分进行食用菌用真菌(如灵芝、香菇、猴头菌等)的培养,可以充分利用米糠的营养功能成分,提高产品的附加值,进一步实现米糠的增值转化。

3.2.1.1 灰树花发酵米糠

灰树花多糖具有抗肿瘤、治疗糖尿病、抵抗艾滋病毒等功效。目前,以灰树花及灰树花多糖为原料的保健品风靡日本与美国。我国对灰树花多糖也展开了深入的研究。已上市的产品主要有日本的MAITEX系列产品、美国的GRIFRON、MAITAKE系列产品及我国的保力生胶囊、栗蘑胶囊等等。近十几年江苏大学以米糠为培养基对灰树花发酵产生多糖、微量元素的富集进行了一系列研究,并取得了一定的进展。杨锁华^[12]首先采用紫外诱变,筛选出适应米糠为主要碳源的灰树花菌株,并探讨了该突变菌株液态发酵与固态发酵工艺,但未对固态发酵后的米糠所提取的多糖进行结构及生理活性研究。刘伟民等^[13]以米糠为基础培养基对灰树花固态发酵产多糖条件进行了研究,多糖得率以米糠为标准计算,可达4.52%。顾慧敏^[14]研究了以米糠为主要碳源或唯一碳源的培养基液态发酵灰树花的外部条件,包括在以米糠为主要成分的培养基上进行液体发酵产多糖的可能性、米糠的使用方式和米糠培养基的组成。徐立平^[15]研究了灰树花原始和变异两菌株在米糠麸皮培养基中发酵的对比研究,发现灰

树花诱变菌株和原始菌株生产的四种灰树花多糖,经验证均为非淀粉类多糖,不含氨基酸和游离蛋白质,在 $4\ 000 \sim 4\ 000\ \text{cm}^{-1}$ 区间进行红外光谱扫描发现均具有一般多糖类物质的特质吸收峰。

3.2.1.2 米蕈多糖

米蕈多糖由米糠半纤维素经蘑菇多糖水解酵素分解而得,其主要化学结构是1个阿拉伯木聚糖胶主支加上1个木糖,支链上有树胶醛糖聚合物。米蕈多糖是一个生物反应免疫调节物,具有抗病毒与抗癌活性。日本米蕈糖产品 MGN-3 和 NK1000 等是米糠多糖和真菌多糖的混合物,作为免疫增强的保健食品销售。

3.2.1.3 其他多糖

顾颖娟等^[16]以含有80%的米糠,并适当添加豆芽汁的培养基进行灵芝菌丝体培养,获得了较高的菌丝体和多糖含量,且食用安全性高。再将米糠液作为天然培养基的原料,接种灵芝菌发酵培养,得到灵芝米糠发酵液。以此发酵液为主要配料进行灵芝米糠饮料的研制,配方为:米糠发酵液20%、枣汁16%、脱脂乳粉2%、安赛蜜0.005%,添加0.25%海藻酸钠、0.06%羧甲基纤维素钠、0.15%卡拉胶和0.06%品质改良剂,模糊综合评价表明,灵芝米糠饮料符合消费要求。代峥等^[17]以猴头菌发酵米糠产多糖,获得了较高的菌丝体和多糖含量,且发现制得的猴头多糖清除羟自由基的能力与Vc非常接近,抗氧化性较强。

3.2.2 发酵生产功能性因子

3.2.2.1 L-异亮氨酸

在氨基酸发酵生产中,玉米浆常被用作微生物的生长因子,并同时控制培养基中的生物素含量,使其达到高产氨基酸的目的。米糠中生物素的含量较玉米浆更为丰富,林学军等用盐酸水解米糠制得的米糠水解液代替种子培养基中的玉米浆用于L-异亮氨酸的发酵生产,通过比较得知,L-异亮氨酸的发酵水平不受影响^[18]。

3.2.2.2 酸性蛋白酶

罗跃中等^[19]研究了黑曲霉固体发酵米糠产酸性蛋白酶的条件优化,发现最适的发酵条件下,摇瓶产酶达到 $1\ 120.0\ \text{U/mL}$,比基础培养基提高了近2.9倍。

3.2.2.3 γ -氨基丁酸

米糠中含有活力较高的谷氨酸脱羧酶,可以通

过添加谷氨酸钠使米糠在适当条件下利用自身的谷氨酸脱羧酶来合成 γ -氨基丁酸。杨丽丽等^[20]用两种乳酸菌混合发酵米糠产 γ -氨基丁酸,确定了乳酸菌发酵米糠的最优条件为:嗜热链球菌S1接种量为1.55%、保加利亚乳杆菌L1接种量为1.45%,发酵时间14 h,发酵液中 γ -氨基丁酸含量最高达到 $287.975\ \text{mg}/100\ \text{g}$ 。

3.2.2.4 D-乳酸

Takaaki Tanaka 等^[21]人利用廉价的米糠粕,用淀粉酶、纤维素酶、乳酸菌经过同步糖化发酵生产D-乳酸。值得一提的是整个发酵过程前期没有通过灭菌处理,而是采用控制培养基的pH在5.0。原理是米糠中固有菌在糖化时产生消旋乳酸的pH是6.0~6.8,由此通过控制培养基的pH在5.0来抑制固有菌的生长。

3.2.3 益生菌发酵米糠生产发酵食品

3.2.3.1 米糠发酵提取物

祁红兵等^[22]对纳豆芽孢杆菌发酵米糠提取物的抗衰老、抗氧化作用进行了研究,表明米糠发酵物具有很好的延缓衰老以及抗氧化功能,可用于开发米糠健康食品。

3.2.3.2 糙米酵素

吕美等^[23]以保鲜米糠、发芽糙米粉按1:1的比例先进行干法混合,添加8%蜂蜜、5%玉米胚油、150%水(扣除酵母活化用水)、10%酵母活化液的混合溶液,搅拌均匀,控温 $35 \pm 2\ ^\circ\text{C}$,发酵2 h,制得的糙米酵素中的谷胱甘肽含量可达到 $2.62\ \text{mg/g}$ 。

3.2.3.3 米糠面酱及酸奶

以米糠为原料,加适量食盐、水,在一定温度下,加氧发酵可快速制酱,所需时间仅为自然发酵法的 $1/7 \sim 1/14$,所制得的酱可作食品佐料。此外也有利用米糠酶解液混合小麦粉,再接种米曲霉发酵生产出具有独特风味的米糠面酱。

以米糠、奶粉为原料,加入稳定剂、糖,接入酵母菌可制得酸奶,不仅含有米糠的各种天然营养成分,也可以发挥米糠和酸奶的双重保健功能。

3.2.3.4 酿酒

以脱脂米糠为原料,可发酵生产50度白酒,这种酒具有米香味。脱脂米糠还可与其它酿酒原料如米粉、小麦粉等以适当比例搭配酿酒,也可以加入一些水果如柑橘酿成米糖果酒,既可以取各原料之长,也可以弥补米糠酒之不足。

3.2.3.5 米糠乳酸饮料及米糠大豆饮料

周传云等^[24]以新鲜野生松乳菇子实体为菌源,利用麸皮、米糠、马铃薯等为主料进行液态发酵,制得的松乳菇发酵饮料成品其口感、风味、状态极佳。汪江波等^[25]利用乳酸发酵米糠纤维与脱脂乳的混合物,可制得无米糠味、风味颇佳且有整肠作用的饮料。

米糠经焙炒后加水35%,煮5~10 min,取其浸出液。将脱脂大豆粉放入米糠浸出液中,加热溶解,在110℃温度时加入占总质量3%的葡萄糖,加压灭菌15 min,冷却后加入少量嗜热乳酸杆菌,在37℃温度下发酵48 h,pH值达2.5。按上述方法制出的大豆米糠酸乳既无豆腥味,也无米糠的不良气味,且营养价值很高^[26]。

3.2.3.6 其他

米糠还可以生产其他发酵制品。利用酵母菌发酵米糠制作的面包、饼干、馒头等具有浓郁的谷物清香,且有清理肠胃、降低血脂、减肥和通便等多种保健功能。

4 展望

随着社会的进步,米糠资源正被逐步开发。有资料显示,米糠深度开发利用可使米糠附加值提高60倍^[27]。随着《全国新增1000亿斤粮食生产能力规划(2009-2020年)》的实施,届时米糠产量将达1400万吨,米糠资源越来越丰富,米糠及米糠粕的增值利用空间将越来越广阔。在米糠综合利用的领域内,广泛应用生物工程技术是技术发展的必然趋势。特别是发酵工程技术的应用,将使米糠在食品、医药、化工方面的开发利用发挥更高水平,创造更大的效益。

参考文献:

[1] Parrado J, Miramontes E, Jover M, et al. Prevention of brain Protein and lipid oxidation elicited by a water-soluble oryzanol enzymatic extract derived from rice bran[J]. *European Journal of Nutrition*, 2003, 42(6): 307-314.

[2] 胡国华, 杨帆, 马正智, 等. 米糠多糖的研究及应用进展, 中国食品添加剂[J]. 2007(5): 80-85.

[3] Gualberto D G, Bergman C G, Kazemzadeh M, et al. Effect of extrusion processing on the soluble and insoluble fiber, and acid content of cereal brans[J]. *Plant Foods Hum Nutr*, 1997, 51(3): 187-198.

[4] Fan H, Morioka T, Ito E. Induction of apoptosis and growth inhibition of cultured human endometrial adenocarcinoma cells (Sawano) by an antitumor lipoprotein fraction of rice bran[J]. *Gynecol Oncol*, 2000, 76(2): 170-175.

[5] Takeda Y, Yoshikai Y, Ohga S, et al. Augmentation of host defense against bacterial infection pretreated intraperitoneally with an alpha-glucan RBS in mice[J]. *Immunopharmacol Immunotoxicol*, 1990, 12(3): 457-477.

[6] Takeshita M, Nakamura S, Makita F, et al. Antitumor effect of RBS on ENNG-induced carcinogenesis[J]. *Biotherapy*, 1992, 4(2): 139-145.

[7] 胡国华, 翟瑞文. 脱脂米糠半纤维素A的分离与鉴定[J]. *粮食与油脂*, 2002(8): 1-3.

[8] Sowa T, Echio E, Ito E, et al. Eur pat App[P]. EP25123.

[9] Hikino H, Takahashi M, Oshima Y, et al. Isolation and hypoglycemic activity of oryzabrans A, B, C and D, glycans of *Oryza sativa* bran. *Planta Med*[J]. 1988, 54(1): 1-3.

[10] 李丽辉, 林亲录, 符日道. 脱脂米糠制备膳食纤维工艺条件的优化[J]. *食品与机械*, 2011, 27(6): 110-113.

[11] Hamada J S. Characterization and functional properties of rice bran proteins modified by commercial exoproteases and endo-proteases[J]. *J Food Sci*, 2000, 65(2): 305-310.

[12] 杨锁华. 用灰树花发酵米糠制备多糖[D]. 镇江: 江苏大学, 2006.

[13] 刘伟民, 徐立平, 郭春梅, 等. 灰树花在米糠培养基上固态发酵产多糖研究[J]. *食品科学*, 2010, 31(23): 238-242.

[14] 顾慧敏, 刘伟民, 张建. 灰树花液态发酵转化米糠制备多糖的研究[J]. *粮油加工*, 2010(5): 107-110.

[15] 徐立平. 灰树花原始和变异两菌株在米糠麸皮培养基中发酵的对比研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2011.

[16] 顾颖娟, 张磊, 刘亚伟, 等. 灵芝米糠发酵液制作保健饮料的工艺研究[J]. *食品科学*, 2009, 30(4): 295-298.

[17] 代峥峥. 猴头菌液体发酵及多糖的提取纯化研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2008.

[18] 林李军, 浦军平. 米糠水解液在L-异亮氨酸生产中的应用[J]. *食品发酵与工业*, 2002, 28(5): 76-78.

[19] 罗跃中, 李忠英, 温拥军, 等. 黑曲霉固体发酵产酸性蛋白酶条件优化[J]. *湖北农业科学*, 2010, 49(1): 59-62.

[20] 杨丽丽, 赵城彬, 吴非. 乳酸菌发酵米糠产 γ -氨基丁酸最适条件的研究[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(16): 217-220.

[21] Tanaka T, Hoshina M, Tanabe S, et al. Production of D-lactic acid from defatted rice bran by simultaneous saccharification and fermentation[J]. *Bioresource Technology*, 2006, 97(2): 211-217.

[22] 祁红兵, 陈玉栋, 陈钧. 纳豆芽孢杆菌发酵米糠提取物的抗衰老作用研究[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(9): 4788-4789.

[23] 吕美, 齐森, 贾磊, 等. 糙米酵素的发酵工艺[J]. *食品研究与开发*, 2007, 28(10): 111-113.

[24] 周传云, 郭华, 周建平. 松乳菇液态发酵工艺及其饮料配方的研究[J]. *湖南农业大学学报*, 2004, 30(1): 59-61.

[25] 汪江波, 许剑秋. 乳酸发酵米糠纤维饮料的研制[J]. *粮食与饲料工业*, 2000(8): 40-41.

[26] 马玉娟. 农村新技术: 加工版[J]. 2011(2): 25.

[27] 王永斌. 米糠中功能性成分的研究现状与发展趋势[J]. *中国食物与营养*, 2006(5): 17-20. ㊟