

# 基于秀珍菇固态发酵粟谷的锅巴制作工艺研究

林童<sup>1,2,3</sup>, 邢春苗<sup>1</sup>, 毛娜<sup>1</sup>, 许碧莹<sup>1</sup>, 解春艳<sup>1,2,3\*</sup>

(1. 廊坊师范学院生命科学学院, 廊坊 065000; 2. 河北省食药菌资源高值利用技术创新中心, 廊坊 065000;  
3. 廊坊市微生物发酵研究重点实验室, 廊坊 065000)

**摘要:** **目的** 探究以秀珍菇固态发酵的粟谷为原料制作锅巴的工艺。**方法** 以秀珍菇固态发酵后的粟谷为原料, 通过单因素试验和正交试验优化粟谷粉、面粉、淀粉及膨松剂添加量对锅巴品质影响, 以感官评定法对产品品质进行评分, 获得锅巴最佳配方。**结果** 发酵后的粟谷抗营养因子降低约 95%, 粟谷粉、面粉、淀粉及膨松剂等对锅巴感官品质影响显著, 其添加量分别为 33%、67%、5.0%和 1.6%时, 所制得的粟谷锅巴品质最佳, 此时锅巴颜色均匀、表面完整、无裂纹、结构致密均匀、焦香酥脆、硬度适宜, 具有一定的粟谷及蘑菇独特风味。**结论** 以固态发酵粟谷为原料制作锅巴的工艺具有可行性, 可丰富市场上锅巴的类型, 促进粟谷价值的充分挖掘。

**关键词:** 秀珍菇; 固态发酵; 粟谷; 锅巴

## Study on the manufacturing process of rice crust base on solid fermentation of *Pleurotus geesteranus*

LIN Tong<sup>1,2,3</sup>, XING Chun-Miao<sup>1</sup>, MAO Na<sup>1</sup>, XU Bi-Ying<sup>1</sup>, XIE Chun-Yan<sup>1,2,3\*</sup>

(1. College of Life Science, Langfang Normal University, Langfang 065000, China; 2. Technical Innovation Center for Utilization of Edible and Medicinal Fungi in Hebei Province, Langfang 065000, China;  
3. Langfang Key Laboratory of Microbial Fermentation, Langfang 065000, China)

**ABSTRACT: Objective** To study the manufacturing process of rice crust by solid fermentation of *Pleurotus geesteranus*. **Methods** The solid fermentation of millet with *Pleurotus geesteranus* was used as the main raw materials, the effects of the addition amount of millet powder, flour, wheat starch and raising agent on the qualities of rice crust were explored through single factor experiment and the orthogonal optimization, the best formula of rice crust was obtained by sensory evaluation method. **Results** The anti-nutritional factors of fermented millet decreased about 95% after fermentation, the millet powder, wheat flour, starch and raising agent had significant effects on the sensory quality of rice crust, when the amount of millet powder, wheat flour, starch and raising agent was 33%, 67%, 5.0% and 1.6%, respectively, the quality of the rice crust was the best, at this time, the rice crust had uniform color, complete surface, no crack, compact and uniform structure, crispy coke flavor and appropriate hardness, and a certain

**基金项目:** 河北省重点研发计划项目(19227133D)、廊坊市科学技术研究与发展计划自筹经费项目(2020013019、2019012001)、河北省科技厅重点研发计划自筹项目(18227146)、河北省教育厅重点项目(ZD2018061)、大学生创新创业训练项目(Y202110100015)

**Fund:** Supported by the Key Research and Development Projects of Hebei Province (19227133D), the Langfang City Science and Technology Research and Development Program Self-funded Project (2020013019, 2019012001), the Hebei Science and Technology Department Key Research and Development Program Self-financing Project (18227146), the Key Projects of Education Department of Hebei Province (ZD2018061), and the College Students' Innovation and Entrepreneurship Training Program (Y202110100015)

\*通信作者: 解春艳, 教授, 主要研究方向为食药菌发酵及其功能性食品开发。E-mail: xcy8046@163.com

\*Corresponding author: XIE Chun-Yan, Professor, Langfang Normal University, No.100, Aimin West Road, Anci District, Langfang 065000, China. E-mail: xcy8046@163.com

unique flavor of corn and mushroom. **Conclusion** It is feasible to make rice crust with solid fermentation of *Pleurotus geesteranus*, which can enrich the types of rice crust in the market and promote the full exploration of millet value.

**KEY WORDS:** *Pleurotus geesteranus*; solid-state fermentation; *Setaria italica* L. Beauv; rice crust

## 0 引言

锅巴是用小米和面粉等原料经特殊工艺制作而成的休闲食品,深受广大消费者的喜爱,其质地松脆、食用方便,具有脆、薄、香的特点,美味可口、易消化<sup>[1]</sup>。然而,目前市面上的锅巴营养相对单一,难以满足当下人们对健康生活及健康食品的追求。粟谷是世界上最古老的栽培农作物之一,也是我国北方主要的杂粮作物之一,研究发现,粟谷具有丰富的营养价值,在预防癌症、降低胆固醇、抗氧化、降血糖血脂等方面具有一定的作用<sup>[2-6]</sup>。传统粟谷的加工通常是直接脱除外壳,制备成小米食用,但粟谷壳中含有丰富的纤维素、多糖和酚类等营养物质<sup>[7-8]</sup>,传统的粟谷加工方式造成了粟谷资源的极大浪费。

固态发酵历史悠久,发酵体系中几乎无自由水存在,具有原料成本低、来源广、产生废水量少、环境友好等特点<sup>[9]</sup>,且部分固态发酵产品比液体发酵产品具有更高的产量和品质。此外,固态发酵体系中的酶具有更高的活性<sup>[10-11]</sup>。因此,固态发酵在生物产品生产中具有更好的应用前景,在经济、环境和社会效益等方面具有重要的价值。

食用菌是一类含有丰富营养物质(如蛋白质、多糖、维生素、矿物质、萜类化合物等)的真菌,在抗肿瘤、抗氧化和免疫活性等方面具有重要的潜在价值<sup>[12-15]</sup>。食用菌具有丰富的木质纤维素酶系统,其通过将系列酶分泌到胞外降解基质中的纤维素、木质素等物质为自身生长提供营养<sup>[16-19]</sup>。粟谷外壳中含有丰富木质纤维素,若通过食用菌实现粟谷的固态发酵,将有利于提高粟谷的营养价值。

基于此,本研究以秀珍菇菌丝固态发酵后的未脱除外壳的粟谷为原料,辅以小米、面粉等淀粉质辅料,研发一种新型更具有营养价值的粟谷锅巴,以促进粟谷价值的充分挖掘,同时对其他杂粮作物及精深加工提供借鉴。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

小米粉、低筋面粉、淀粉、膨松剂(小苏打)、食盐、食用油、鸡蛋、食盐、十三香、黑芝麻、各种调味料等均从廊坊元辰超市购入;粟谷购买于河北省承德市丰宁县;其他化学试剂均为分析纯,购于国药集团化学试剂有限公司。

秀珍菇菌丝体母种由河北省食药菌资源高值利用技术创新中心提供。

### 1.2 仪器与设备

JA21002 型电子天平(上海越平科学仪器制造有限公司); SW-CJ-2FD 超净工作台(苏州安泰净化设备有限公司); SU-04 手提式高速粉碎机(永康市铂欧五金制品有限公司); PCHB-C6000 电热鼓风干燥箱、SPX-250 生化培养箱[中仪国科(北京)科技有限公司]; LDZX-50KBS 立式压力蒸汽灭菌锅(上海申安医疗器械厂); F-12C 型发酵箱(杭州塞利食品机械有限公司); C21-WK2102 电磁炉(广东美的生活电器制造有限公司); L 系列紫外可见分光光度计(上海佑科仪器仪表有限公司)。

### 1.3 方 法

#### 1.3.1 秀珍菇菌种活化及液体菌种制备

秀珍菇菌丝体母种转接到马铃薯葡萄糖琼脂(potato dextrose agar, PDA)平板培养基中央,26 °C 恒温培养箱静置培养 7 d,待菌丝长满平板,挑选菌丝洁白、浓密的菌丝体,用 0.8 mm 打孔器打孔,备用。

取 5 个菌饼接入含 100 mL 液体 PDA 培养基(不含琼脂)的锥形瓶中,26 °C 150 r/min 培养 7 d,8000 r/min 均质 5 min。

#### 1.3.2 粟谷固态发酵及植酸含量检测

粟谷用温水浸泡 1~2 d 至无白心,121 °C 高压灭菌 30 min,冷却后加入 10% (mL:g) 已均质的菌丝体,26 °C 恒温培养箱静置避光培养 30 d。

发酵后的粟谷烘干粉碎,3 g 粟谷分加入 15 mL 0.01 mol/L HCl 提取 40 min,离心取上清定容至 10 mL 容量瓶,以碘基水杨酸为显色剂,采用铁分光光度法<sup>[20]</sup>测发酵前后粟谷中植酸含量变化,所得标准曲线方程为  $Y=-0.562X+0.1537$ ,其中  $r^2=0.9999$ 。

#### 1.3.3 制作工艺流程

(1)粟谷粉的处理:将发酵后的粟谷放置电热鼓风干燥箱 40 °C 烘干,手提式高速粉碎机研磨,过 120 目细筛,除去残渣,使得粟谷粉成品表面没有颗粒感。

(2)面团制备:取一定比例的原料(食盐添加量 3.3%、小苏打添加量 3.3%、鸡蛋添加量 13.2%、十三香添加量 3.3%、水添加量 46.7%)、预处理的粟谷粉、小米粉,混匀。

(3)熟化:在面团上盖两层纱布,醒发 15 min。

(4)压片成型:切菜板上涂少许食用油,将醒发后的面团压平至 2 mm 厚,静置 10 min。

(5)切片:将面团切成长 4 cm×宽 3 cm 的长条。

(6)煎炸:控制煎炸温度至 170 °C,煎炸时间 2 min 至金黄酥脆即可。

### 1.3.4 感官评价

根据 GB/T 20981—2007《面包》和梁文珍等<sup>[21]</sup>的锅巴感官评定研究制定成品锅巴的感官评定标准, 如表 1 所示。请 10 位食品专业的评定人员组成鉴评小组, 分别从锅巴的色泽、组织状态、口感和气味 4 方面进行感官评定, 每

个指标分为 4 个级别, 4 项指标评分总和为 100 分。组织状态影响锅巴外形美观; 而原料采用食用菌发酵后的粟谷, 含有蘑菇和粟谷风味, 这两方面于锅巴均较为重要, 故均设置为 25 分。将评定人员的实际打分结果进行统计分析, 计算平均值。

表 1 锅巴感官评价标准  
Table 1 Rice crust sensory evaluation criteria

类别	感官指标	分值/分
色泽(25 分)	表面呈棕色, 整体颜色均匀, 无烧焦现象	19~25
	表面呈较暗棕色, 颜色较均匀, 无烧焦现象	12~18
	表面呈浅黄或暗黄色, 有些许烧焦现象	6~11
	表面颜色不均匀, 颜色过深或过浅, 部分烤焦	1~5
组织状态(25 分)	表面完整, 无裂纹, 结构致密均匀	19~25
	表面完整, 无裂纹, 结构致密较均匀	12~18
	表面不完整, 有裂纹, 结构较松散	6~11
	表面不完整, 有裂纹, 结构松散	1~5
口感(25 分)	焦香酥脆, 硬度嚼劲恰到好处, 余味醇裕, 回味悠长, 内部颗粒感少	19~25
	焦香酥脆, 硬度嚼劲一般, 内部颗粒感较少	12~18
	焦香酥脆, 硬度嚼劲一般, 内部颗粒感较强	6~11
	柔软无力, 嚼劲很差, 硬度不佳, 无法体现酥脆的特征, 内部颗粒感十分大	1~5
气味(25 分)	风味纯正、咸度适宜, 具有粟谷和蘑菇的独特风味	19~25
	风味一般, 咸度适宜, 能较好的体现出粟谷或蘑菇风味	12~18
	风味一般, 咸度适宜, 无粟谷或蘑菇风味	6~11
	风味较差, 无粟谷风味及调料品香味	1~5

### 1.3.5 单因素试验

根据基础锅巴的配方(含量均以小米粉质量为基量), 考查 100%、50%、33%、25%的粟谷粉添加量对锅巴品质的影响; 粟谷粉、膨松剂和淀粉添加量分别为 33%、3.3%、3.3%, 考查 83%、67%、50%、33%的面粉添加量对锅巴品质的影响; 粟谷粉、面粉和膨松剂添加量分别为 33%、83%、3.3%, 考查 1.6%、3.3%、5.0%、6.7%的淀粉添加量对锅巴品质的影响; 粟谷粉、面粉、淀粉添加量分别为 33%、83%、3.3%, 考查 1.6%、3.3%、5.0%、6.7%的膨松剂添加量对锅巴品质的影响, 进行单因素试验时, 将面粉、膨松剂和淀粉添加量分别固定为 83%、3.3%和 3.3%。

### 1.3.6 正交试验设计

以单因素试验结果为基础, 进行 4 因素 3 水平的正交试验设计, 4 个影响因素分别为粟谷粉添加量(A)、面粉添加量(B)、淀粉添加量(C)、膨松剂添加量(D), 各因素设置 3 个水平, 制定  $L_9(3^4)$ 正交试验表(表 2)。正交试验所得成品严格按照表 1 的感官评分标准进行评定及打分。

## 1.4 数据处理

所有试验进行 3 次重复, 并以平均值  $\pm$  标准偏差表示。实验数据采用 SPSS V23.0 软件进行处理, 采用方差分析(analysis of variance, ANOVA)进行单因素统计学分析, 以  $P < 0.05$  为具有统计学差异。

表 2 正交因素水平表

Table 2 Orthogonal factor level table

水平	添加量			
	粟谷粉/%	面粉/%	淀粉/%	膨松剂/%
1	25		1.6	1.6
2	33	50	3.3	3.3
3	50	67	5.0	5.0

## 2 结果与分析

### 2.1 固态发酵对粟谷植酸含量影响

植酸是谷物中常见的抗营养因子, 其螯合能力极强, 容易与金属离子形成相应的植酸盐, 或与蛋白分子形成难溶复合物, 降低蛋白的消化率与生物价, 影响功能特性和矿物质吸收<sup>[22-23]</sup>。秀珍菇固态发酵前后粟谷中植酸含量变化见图 1, 未发酵的的粟谷中植酸含量较高, 约(2.4 $\pm$ 0.05) mg/100 g, 而发酵后的粟谷中植酸含量仅为(0.12 $\pm$ 0.015) mg/100 g, 降低了 95%, 这可能是由于秀珍菇分泌的胞外酶降解了粟谷中的植酸, 从而降低了粟谷中的抗营养因子含量, 从而达到提高粟谷的营养价值的效果<sup>[24]</sup>。

### 2.2 单因素试验结果

#### 2.2.1 粟谷粉添加量对锅巴品质的影响

粟谷粉添加量对锅巴感官评分的影响结果见表 3。粟

谷粉添加量增多, 锅巴感官评分先上升( $P>0.05$ )后下降( $P<0.05$ )。粟谷添加量过少时, 锅巴缺少粟谷香味, 口感欠佳; 当粟谷粉含量达到 33%时, 此时口感最佳, 焦香酥脆, 硬度嚼劲恰到好处, 内部颗粒感较少, 感官评分也达到最高, 为(82.36±1.22)分; 当粟谷添加量继续增加时, 锅巴感官品质下降, 质地变硬且酥脆度下降, 内部颗粒感较大。综上, 选择 25%、33%、50%的粟谷粉添加量进行正交试验。

#### 2.2.2 面粉添加量对锅巴品质的影响

面粉添加量对锅巴感官评分的影响结果见表 4。锅巴感官评分随面粉添加量先上升后下降, 当面粉含量达到 67%时, 分数为(84.93±1.15)分, 达到最高值, 此时锅巴的外表完整、色泽浅黄, 较好的体现了粟谷锅巴的独特粟谷或蘑菇风味; 当添加的面粉过多时, 产品颜色不均匀, 粟谷味道不够; 当添加的面粉较少时, 内部谷粒感较大。综上, 选择 50%、67%、83%的面粉添加量进行正交试验。

#### 2.2.3 淀粉添加量对锅巴品质影响

淀粉添加量对锅巴感官评分的影响结果见表 5。锅巴感官评分随淀粉添加量先上升后下降。当淀粉含量达到 3.3%时, 感官评价分最高, 为(82.14±1.22)分, 此时锅巴质

地酥脆, 粘度和硬度适宜; 当淀粉含量继续升高时, 锅巴品质下降, 这可能是由于淀粉含量高导致锅巴初始水含量高, 进而对淀粉的糊化和流变性质产生影响<sup>[25]</sup>, 此外, 淀粉用量过多, 也会影响锅巴的硬度。在原料混合的过程中, 往往会出现残渣, 由于淀粉黏附过多而不能很好的粘合, 造成一定的原料损失, 淀粉用量过少时, 质地较为松散, 硬度一般。综上, 选择 1.6%、3.3%、5.0%的淀粉添加量进行正交试验。

#### 2.2.4 膨松剂添加量对锅巴品质影响

膨松剂添加量对锅巴感官评分的影响结果见表 5。当膨松剂含量为 3.3%时, 锅巴成致密的多孔隙组织, 酥脆可口, 此时的感官评分显著高于其他几组( $P<0.05$ ), 为(84.16±1.50)分, 随着膨松剂含量继续增加, 锅巴感官品质显著下降( $P<0.05$ )。膨松剂添加过多, 面团内部出现大气孔, 油炸后产品较软, 缺乏嚼劲, 外形过于膨胀, 不利于产品的外观维持及保存。添加剂过少时, 产品中气量不足, 孔性结构较少, 面团醒发状况差, 面团比容小, 油炸后锅巴质地偏硬, 口感较差<sup>[26]</sup>。综上, 选择 1.6%、3.3%、5.0%的膨松剂添加量进行正交试验。

表 3 粟谷添加量对锅巴品质的影响( $n=10$ )  
Table 3 Effects of millet additions on rice crust qualities ( $n=10$ )

粟谷粉添加量/%	锅巴的感官品质	感官评分/分
25	焦香酥脆, 内部颗粒感较少	79.87±2.62 <sup>a</sup>
33	焦香酥脆, 硬度嚼劲恰到好处, 内部颗粒感较少	82.36±1.22 <sup>a</sup>
50	硬度嚼劲一般, 内部颗粒感较强	68.21±2.61 <sup>b</sup>
100	硬度较大, 内部颗粒感十分大	59.13±2.16 <sup>c</sup>

注: 同一列不同字母代表差异具有显著性,  $P<0.05$ , 下同。

表 4 面粉添加量对锅巴品质的影响( $n=10$ )  
Table 4 Effects of the additions of flour on rice crust qualities ( $n=10$ )

面粉添加量/%	锅巴的感官品质	感官评分/分
33	表面颜色较深, 内部颗粒感较大	66.71±1.31 <sup>c</sup>
50	面呈暗棕色, 内部颗粒感较小, 有粟谷或蘑菇后味	78.54±1.50 <sup>a</sup>
67	表面呈浅黄或暗黄色, 内部颗粒感小, 粟谷或蘑菇后味适宜	84.93±1.15 <sup>a</sup>
83	表面颜色不均匀, 不能较好体现粟谷风味	73.43±1.50 <sup>b</sup>

表 5 淀粉添加量对锅巴品质的影响( $n=10$ )  
Table 5 Effects of starch additions on rice crust qualities ( $n=10$ )

淀粉添加量/%	锅巴的感官品质	感官评分/分
1.6	质地较为松散, 硬度一般	75.61±1.26 <sup>a</sup>
3.3	质地恰到好处, 黏性硬度适宜	82.14±1.22 <sup>a</sup>
5.0	质地较硬	67.76±1.31 <sup>b</sup>
6.7	质地十分硬	60.85±1.51 <sup>b</sup>

表 6 膨松剂添加量对面包品质的影响( $n=10$ )  
Table 6 Effects of raising agent additions on rice crust qualities ( $n=10$ )

膨松剂添加量/%	锅巴的感官品质	感官评分/分
1.6	产品中孔状组织较少, 质地过硬	77.87±2.22 <sup>b</sup>
3.3	成致密的多孔隙组织, 酥脆可口	84.16±1.50 <sup>a</sup>
5.0	产品酥软, 嚼劲一般	65.13±2.06 <sup>c</sup>
6.7	产品过度酥软, 没有嚼劲	65.83±1.50 <sup>c</sup>

### 2.3 正交试验结果

对上述单因素进行组内方差分析, 结果如表 7 所示, 粟谷粉添加量、面粉添加量、淀粉添加量和膨松剂添加量都对锅巴影响效果极其显著( $P<0.001$ )。将以上因素进行正交试验, 结果如表 8 所示, 根据  $R$  值可知, 各因素对锅巴感官品质的影响程度依次为  $A$ (粟谷粉添加量) $>B$ (面粉添加

量) $>D$ (膨松剂添加量) $>C$ (淀粉添加量)。  $A_2B_2C_3D_1$  为最佳组合, 此时感官评价为(82.1±1.9)分, 即以小米粉的总重 100 g 为基准, 粟谷粉添加量为 33%、面粉添加量为 67%、淀粉添加量为 5.0%、膨松剂添加量为 1.6%时, 锅巴表面浅黄, 内部颗粒感小, 焦香酥脆, 硬度适宜, 口感最佳。

由表 8 中的  $K$  值可知, 粟谷锅巴的最优水平组合为  $A_1B_1C_1D_1$ , 即以小米粉的总重 100 g 为基准, 粟谷粉添加量 25%、面粉添加量 50%、淀粉添加量 1.6%、膨松剂添加量 1.6%。由于根据  $K$  值确定的最佳组合  $A_1B_1C_1D_1$  已在表 8 所示的正交表里面, 为(75.8±1.4)分, 低于正交试验结果中  $A_2B_2C_3D_1$  组合的最高分值。将  $A_1B_1C_1D_1$  和  $A_2B_2C_3D_1$  进行重新试验验证, 经相同的 10 名测评人员进行感官测评打分, 最终验证结果  $A_2B_2C_3D_1$  得分为(85.63±0.74), 高于  $A_1B_1C_1D_1$  的(78.92±1.2), 故  $A_2B_2C_3D_1$  为最优组合, 即锅巴的最优配方为: 粟谷粉添加量为 33%、面粉添加量为 67%、淀粉添加量为 5.0%、膨松剂添加量为 1.6%。

表 7 单因素方差分析结果  
Table 7 Results of one-way ANOVA

因素	偏差平方和 SS	均方 MS	自由度 $df$	$F$ 值	显著性 $P$	$F_{crit}$
粟谷粉	2790.59	930.19	3	73.76	***	2.95
面粉	1392.28	464.09	3	59.49	***	2.94
淀粉	2017.40	672.47	3	98.93	***	2.94
膨松剂	2087.90	695.97	3	92.53	***	2.95

注: \*\*\* $P < 0.001$ 。

表 8 正交试验结果与分析表  
Table 8 Orthogonal experimental results and analysis table

试验序号	A 粟谷粉添加量/%	B 面粉添加量/%	C 淀粉添加量/%	D 膨松剂添加量/%	感官评分/分
1	1	1	1	1	75.8±1.4 <sup>c</sup>
2	1	2	2	2	80.8±1.3 <sup>a</sup>
3	1	3	3	3	78.5±2.2 <sup>b</sup>
4	2	1	2	3	74.0±1.6 <sup>c</sup>
5	2	2	3	1	82.1±1.9 <sup>a</sup>
6	2	3	1	2	78.2±2.4 <sup>b</sup>
7	3	1	3	2	65.4±2.1 <sup>d</sup>
8	3	2	1	3	69.5±3.0 <sup>d</sup>
9	3	3	2	1	73.0±1.9 <sup>c</sup>
$K_1$	235.1	215.2	223.5	230.9	
$K_2$	234.3	232.4	227.6	224.4	
$K_3$	207.8	229.6	226.0	221.8	
$k_1$	78.4	71.8	74.5	76.9	
$k_2$	78.0	77.5	75.9	74.8	
$k_3$	69.3	76.5	75.3	73.9	
$R$	9.1	5.7	1.4	3.0	

### 3 结论与讨论

粟谷经秀珍菇菌丝体固态发酵, 抗营养因子降低了 95%左右, 增加了粟谷的营养价值, 促进了粟谷营养的吸收。通过单因素试验设计、正交试验设计以及感官评价法对秀珍菇固态发酵粟谷锅巴的配方进行优化。结果表明, 粟谷粉添加量、面粉添加量、淀粉添加量和膨松剂对锅巴感官品质均有显著影响, 锅巴的最佳配方为: (以小米粉总重 100 g 为基准) 粟谷粉添加量 33%、面粉添加量 67%、淀粉添加量 5.0%、膨松剂添加量 1.6%。此时成品锅巴品质最佳, 锅巴颜色均匀、表面完整、无裂纹、结构致密均匀、焦香酥脆、硬度嚼劲恰到好处, 能很好地体现出粟谷和蘑菇的独特风味。本研究制备的锅巴, 保留了粟谷外壳的粗纤维, 降低了抗营养因子, 丰富了市场上锅巴的种类, 比市场上现有的锅巴产品可能更有利于增强胃肠蠕动、促进消化和降低胆固醇, 也为粟谷的精深加工提供借鉴。但本研究尚未对锅巴进行营养成分含量进行全面检测, 故将本研究工艺所制锅巴营养价值评价作为进一步研究的重点。

### 参考文献

- [1] 梁文珍. 杂粮锅巴的制作[J]. 农村新技术, 2020, (2): 56.  
LIANG WZ. The production of coarse grain rice crust [J]. New Rural Technol, 2020, (2): 56.
- [2] SHARMA N, NIRANJAN K. Foxtail millet: Properties, processing, health benefits, and uses [J]. Food Rev Int, 2018, 34(4): 329–363.
- [3] LI ZZ, RUI HL. Phenolic and carotenoid profiles and antiproliferative activity of foxtail millet [J]. Food Chem, 2015, 174: 495–501.
- [4] HOU D, CHEN J, REN X, *et al.* A whole foxtail millet diet reduces blood pressure in subjects with mild hypertension [J]. J Cere Sci, 2018, 84: 13–19.
- [5] SACHDEV N, GOOMER S, SINGH LR. Foxtail millet: A potential crop to meet future demand scenario for alternative sustainable protein [J]. J Sci Food Agric, 2021, 101(3): 831–842.
- [6] TSUZUKI W, KOMBA S, KOTAKE-NARA E, *et al.* The unique compositions of sterylferulates in foxtail millet, barnyard millet and naked barley [J]. J Cere Sci, 2018, 81: 153–160.
- [7] ZHU Y, CHU J, LU Z, *et al.* Physicochemical and functional properties of dietary fiber from foxtail millet (*Setaria italic*) bran [J]. J Cere Sci, 2018, 79: 456–461.
- [8] DONG J, WANG L, LV J, *et al.* Structural, antioxidant and adsorption properties of dietary fiber from foxtail millet (*Setariaitalica*) bran [J]. J Sci Food Agric, 2019, 99(8): 3886–3894.
- [9] 刘阳. 固态发酵培养基物化特性及其固态发酵新工艺的研究[D]. 北京: 中国科学院大学(中国科学院过程工程研究所), 2019.  
LIU Y. Physico-chemical properties of solid medium and novel solid-state fermentation process [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences (Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Sciences), 2019.
- [10] BARRIOS-GONZÁLEZ J. Solid-state fermentation: Physiology of solid medium, its molecular basis and applications [J]. Process Biochem, 2012, 47(2): 175–185.
- [11] WU C, ZHANG F, LI L, *et al.* Novel optimization strategy for tannase production through a modified solid-state fermentation system [J]. Biotechnol Biofuels, 2018, 11(1): 1–15.
- [12] ZHAO S, GAO Q, RONG C, *et al.* Immunomodulatory effects of edible and medicinal mushrooms and their bioactive immunoregulatory products [J]. J Fungi, 2020, 6(4): 269.
- [13] ANGELINI P, VENANZONI R, ANGELES FG, *et al.* Evaluation of antioxidant, antimicrobial and tyrosinase inhibitory activities of extracts from *Tricholysporum goniospermum*, an edible wild mushroom [J]. Antibiotics, 2020, 9(8): 513.
- [14] SHAMEEM N, KAMILI AN, AHMAD M, *et al.* Antimicrobial activity of crude fractions and morel compounds from wild edible mushrooms of north western Himalaya [J]. Microb Pathog, 2017, 105: 356–360.
- [15] PEJIN B, TESANOVIC K, JAKOVLJEVIC D, *et al.* The polysaccharide extracts from the fungi *Coprinus comatus* and *Coprinellus truncorum* do exhibit AChE inhibitory activity [J]. Nat Prod Res, 2019, 33(5): 750–754.
- [16] LU W, YU S, MA Y, *et al.* Integrated economic and environmental analysis of agricultural straw reuse in edible fungi industry [J]. Peer J, 2018, 6: e4624.
- [17] WANZENBOCK E, APPRICH S, TIRPANALAN Ö, *et al.* Wheat bran biodegradation by edible *Pleurotus* fungi-A sustainable perspective for food and feed [J]. LWT- Food Sci Technol, 2017, 86: 123–131.
- [18] SHAHRYARI Z, FAZAEIPOOR MH, GHASEMI Y, *et al.* Amylase and xylanase from edible fungus *Neurospora intermedia*: Production and characterization [J]. Molecules, 2019, 24(4): 721.
- [19] HAN ML, AN Q, HE SF, *et al.* Solid-state fermentation on poplar sawdust and corncob wastes for lignocellulolytic enzymes by different *Pleurotus ostreatus* strains [J]. Bio Resour, 2020, 15(3): 4982–4995.
- [20] 袁长梅, 贺晓云, 马丽艳, 等. 植酸及其检测方法研究进展[J]. 食品工业, 2021, 42(4): 396–400.  
YUAN CM, HE XY, MA LY, *et al.* Research progress of phytic acid and its detection methods [J]. Food Ind, 2021, 42(4): 396–400.
- [21] 梁文珍. 杂粮锅巴的研制[J]. 辽宁农业职业技术学院学报, 2018, 20(4): 1–5.  
LIANG WZ. Development of coarse grain rice crust [J]. J Liaoning Agric Technol Coll, 2018, 20(4): 1–5.
- [22] FEIZOLLAHI E, MIRMAHDI RS, ZOGHI A, *et al.* Review of the beneficial and anti-nutritional qualities of phytic acid, and procedures for removing it from food products [J]. Food Res Int, 2021, 143(1): 110284.
- [23] SAMTIYA M, ALUKO RE, DHEWA T. Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: An overview [J]. Food Prod Process Nutr, 2020, 2(1): 1–14.

- [24] RASANE P, JHA A, KUMAR A, *et al.* Reduction in phytic acid content and enhancement of antioxidant properties of nutriceals by processing for developing a fermented baby food [J]. *J Food Sci Technol*, 2015, 52(6): 3219–3234.
- [25] 刘天天. 快速醒发馒头的膨松剂配方及工艺研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2018.  
LIU TT. Study on the formulation and technology of leavening agent for quick-wake steamed bread [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2018.
- [26] 丛广源. 面制品中复合无铝膨松剂的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2016.  
CONG GY. Non-aluminum leavening agent develop of flour research [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2016.

(责任编辑: 郑 丽 于梦娇)

### 作者简介



林 童, 博士, 讲师, 主要研究方向为合成生物学及功能性食品开发。  
E-mail: lintong178@163.com



解春艳, 博士, 教授, 主要研究方向为食药用菌发酵及其功能性食品开发。  
E-mail: xcy8046@163.com