

# 植物乳杆菌发酵紫薯粉对酸面团面包的 抗氧化特性及品质影响

王宏兹<sup>1</sup>, 王凤<sup>2</sup>, 黄卫宁<sup>2\*</sup>, RAYAS-DUARTE Patricia<sup>3</sup>, 姚远<sup>4</sup>

(1.福马咪咪(福建)食品工业有限公司, 福建 晋江 362216; 2.江南大学 食品科学与技术国家重点实验室, 江苏 无锡 214122; 3.俄克拉荷马州立大学农产品与食品研究中心, 美国 俄克拉荷马州 斯蒂尔沃特 74078-6055; 4.无锡麦吉贝可生物食品有限公司, 江苏 无锡 214131)

**摘要:** 采用紫薯粉和植物乳杆菌发酵紫薯粉制作富含花青素的面包, 通过对比研究乳酸菌发酵紫薯粉对面包品质的影响; 并探讨乳酸菌发酵紫薯粉对面包中花青素含量、总酚含量以及 DPPH 自由基清除率的影响。结果表明: 相比紫薯粉面包, 乳酸菌发酵紫薯粉使得面包 pH 值降低, 总酸度(TTA)增加, 面包比容有所减小, 面包色度 C\* 值增加而色相 H\* 值减小, 面包色泽由原来的浅紫色变为浅红色。感官评定的结果显示, 采用紫薯粉或乳酸菌发酵紫薯粉制作的面包都为消费者所喜爱。同时, 与紫薯粉面包相比, 乳酸菌发酵紫薯粉面包的总酚含量和 DPPH 自由基清除率分别增加了 90.8% 和 6.1%, 增强了面包的抗氧化性。

**关键词:** 植物乳杆菌; 紫薯粉; 面包发酵; 花青素; 抗氧化特性

## Antioxidant Properties of Bread Made from Purple Sweet Potato Powder (PSP) Sourdough Fermented by *Lactobacillus plantarum*

WANG Hong-zi<sup>1</sup>, WANG Feng<sup>2</sup>, HUANG Wei-ning<sup>2\*</sup>, RAYAS-DUARTE Patricia<sup>3</sup>, YAO Yuan<sup>4</sup>

(1. Fuma Mimi (Fujian) Food Industry Co. Ltd., Jinjiang 362216, China; 2. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 3. Food and Agricultural Products Research Center, Oklahoma State University, Stillwater 74078-6055, USA; 4. MagiBake International Co. Ltd., Wuxi 214131, China)

**Abstract:** Purple sweet potato powder (PSP) and *Lactobacillus plantarum* fermented PSP were separately used to prepare bread in this study. The effect of lactic acid bacteria (LAB) fermentation for PSP on the quality of bread made from PSP, anthocyanins content, total phenolic content and DPPH radical-scavenging activity was explored. The results showed that the bread made from LAB-fermented PSP had lower pH and higher TTA, and its specific volume revealed a decrease compared to that made from non-fermented PSP. After LAB fermentation, the color of PSP was changed from light purple to pink, and the chroma (C\*) of the bread with LAB-fermented PSP increased while the hue (H\*) decreased. Sensory evaluation of both bread samples could be accepted by consumers. The bread made from LAB-fermented PSP revealed an increase in total phenolic content and DPPH radical-scavenging activity by 90.8% and 6.1%, respectively compared to that made from non-fermented PSP. Therefore, LAB fermentation can enhance the antioxidant activity of PSP bread.

**Key words:** *Lactobacillus plantarum*; purple sweet potato powder (PSP); bread fermentation; anthocyanins; antioxidant activity

中图分类号: TS213.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)13-0040-05

收稿日期: 2011-06-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(31071595; 20576046); 国家农业科技成果转化资金项目(2011GB2C100017); 美国农业部国际合作项目[A-(86269)]; 广东省教育部产学研结合项目(2011B090400592); 江苏省科技支撑计划项目(BE2011380)

作者简介: 王宏兹(1976—), 男, 硕士研究生, 研究方向为烘焙科学、农产品加工。E-mail: cerealfood@126.com

\* 通信作者: 黄卫宁(1963—), 男, 教授, 博士, 研究方向为食品烘焙与发酵技术、谷物食品化学。

E-mail: wnhuang@jiangnan.edu.cn

酸面团发酵技术在面包烘焙中的应用,不但可以提高产品的营养价值<sup>[1-3]</sup>,还可以改善面包面团特性、面包质构和风味<sup>[4-7]</sup>,并延缓老化过程<sup>[4]</sup>,同时还有利于抑制面包的微生物腐败<sup>[8]</sup>。植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*)是酸面团发酵中较常见的菌种之一,已应用于多种酸面团发酵面包的研究<sup>[8-9]</sup>。

紫薯中含有丰富的抗氧化物质如酚酸、花青素、生育酚等,具有自由基清除能力,可降低人体患慢性疾病如心血管疾病、癌症以及由衰老引起的神经衰弱等的几率<sup>[10]</sup>。目前越来越多的研究人员开始尝试新型紫薯产品的开发,其中就包括乳酸菌发酵的紫薯产品如紫薯泡菜、紫薯乳酸饮料等<sup>[11-13]</sup>,这些产品有着良好的风味和诱人的色泽,且营养丰富,具有益生性,受到消费者的喜爱。研究表明,紫薯可作为植物乳杆菌发酵的良好基质<sup>[14-15]</sup>。因此,采用乳酸菌发酵紫薯粉制作酸面团面包,有利于结合二者的优势,但类似的研究,国内外尚未见报道。本实验采用紫薯粉和乳酸菌发酵紫薯粉制作富含花青素的面包,通过对比,研究乳酸菌发酵紫薯粉对面包品质的影响;并通过总酚含量和 DPPH 自由基清除率的测定,探讨乳酸菌发酵紫薯粉对面包抗氧化特性的影响。为开发具有抗氧化功能特性的新型紫薯烘焙食品提供基础理论信息。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

紫薯粉 福建晋江农业有限公司;面包粉 鹏泰(秦皇岛)面粉有限公司。

植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*) 丹尼斯克(中国)有限公司;1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)、福林-酚(Folin-Ciocalteu) 美国 Sigma 公司。

### 1.2 仪器与设备

TDL-5 离心机 上海安亭科学仪器厂;SPX-150C 型恒温恒湿培养箱 上海博迅实业有限公司医疗设备厂;94-2 定时恒温磁力搅拌器 上海梅颖浦仪器仪表制造有限公司;FE20 实验室 pH 计 梅特勒仪器(上海)有限公司;高精度分光测色仪 美国 Hunterlab 公司;SP-752 型紫外分光光度计 上海海光谱仪器有限公司;JYD-900L 超声波细胞粉碎机 上海之信仪器有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 紫薯粉的乳酸菌发酵

取乳酸菌按体积分数 1% 加入 MRS 培养基中于 30℃ 进行活化,然后转入 20mL 的新鲜培养基,在 30℃ 条件下培养 24h。5000r/min 离心 20min,收集培养液中的菌体。将菌体与 350mL 水混合(菌体浓度为 10<sup>9</sup>CFU/mL),倒入 100g 紫薯粉中混合均匀,并置于 30℃ 恒温恒湿箱

中培养至 pH 值为 4.00 ± 0.02。取部分发酵紫薯粉冷冻干燥,磨粉,过 30 目筛,备用。

#### 1.3.2 pH 值和总酸度(TTA)的测定

根据 AACCI 方法 02-52 对样品的 pH 值进行测定<sup>[16]</sup>。称取 10g 样品(面包需打碎),把它们放入三角瓶中,加入 90mL 无 CO<sub>2</sub> 的蒸馏水。用磁力搅拌器搅拌 30min,静置 10min 后用 pH 计测得 pH 值,然后用 0.1mol/L NaOH 进行滴定至 pH8.6。所需 0.1mol/L NaOH 的体积即为 TTA。重复 3 次取平均值。

#### 1.3.3 紫薯粉酸面团面包的烘焙

制作面包配方:发酵好的紫薯粉酸面团(450 ± 1)g (含紫薯粉 100g)、面包粉 900g、白砂糖 80g、食盐 10g、即发干酵母 15g、起酥油 80g、水添加量为 160g。以 100g 紫薯粉混合 350g 水,取代紫薯酸面团,作为参照样品。将除食盐和起酥油外的原料在搅面缸中慢速搅拌 3min,成团后快速搅打 2min,并同时加入食盐,然后加入起酥油慢速搅打 1min,再快速搅打至面筋完全形成。取面团在室温条件下静置 10min,然后分割为 120g/个,整形,放入 38℃、85% 相对湿度醒发箱发酵 70min,最后放入烤箱,上火 170℃、下火 210℃,约 17min,取出在室温条件下冷却 2h 后备用。

#### 1.3.4 面包比容和色泽测定

采用 AACCI 标准方法(44-15A、08-01 和 46-12)<sup>[16]</sup>测得面包粉水分、灰分和蛋白质含量分别为 11.8%、0.51% 和 13.5% (均以湿基计)。

菜籽替代法(AACCI 标准方法 10-05)<sup>[16]</sup>测定面包体积;面包比容(mL/g)为面包体积与面包质量之比。

采用测色仪对面包样品色泽进行测定。先分别用白板和黑板进行校正,然后取 1cm 厚的面包片放置在测色仪上进行测定。每组样品重复测定 6 次,取平均值。所得到的参数  $L^*$  值表示明亮度, $a^*$  值为正值时表示偏红色,为负值时表示偏绿色; $b^*$  值为正值时表示偏黄色,为负值时表示偏蓝色。测定结果用  $L^*$ 、 $H^*$  和  $C^*$  表示。色相  $H^*$  ( $\tan^{-1}b/a$ )和色度  $C^*$  ( $(a^2 + b^2)^{1/2}$ )由  $a^*$  和  $b^*$  计算获得。

#### 1.3.5 面包感官评定

在面包烘焙好后 3~5h 进行感官评定。20 位没有经过训练的评委对切好的 1.0cm 厚面包样品进行评分。评委们中的男性 8 位,女性 12 位,年龄在 20~35 岁范围内。面包的感官评定包括外观状态、颜色、风味、口感和整体可接受性,采用 7 分制,根据喜好程度进行评分。1、4、7 分分别表示极度讨厌、既不喜欢也不讨厌、极度喜欢。结果表示为评分的平均值。

### 1.3.6 紫薯粉与紫薯粉面包中花青素的提取和测定

取1cm厚面包薄片,冻干后磨碎过30目筛得到面包末。然后加入石油醚30℃脱脂8h,并于通风厨中脱去残余的石油醚,即得脱脂面包末。通过超声-微波协同萃取法,用体积比5:95 HCl-乙醇对紫薯粉样品或面包末样品(发酵或未发酵)中的花青素进行提取,提取工艺条件为超声功率50W、微波功率135W、微波时间7.5min、料液比1:20,再经4000r/min离心20min,收集上清液,4℃冰箱存放待用。

花青素含量采用消光系数法进行测定。取离心后澄清的花青素上清液定容,以提取剂为空白对照,在波长525nm处测定其吸光度,并按公式(1)计算花青素含量<sup>[17]</sup>。

$$\text{花青素含量}/(\text{mg}/100\text{g}) = A_{525\text{nm}} \times V \times m \times \frac{100}{98.2} \quad (1)$$

式中:  $A_{525\text{nm}}$  为在波长525nm处测定的吸光度;  $m$  为样品质量/g;  $V$  为定容体积×稀释倍数; 98.2为花青素的克分子消光系数。

### 1.3.7 面包中总酚物质的提取和含量测定

取10g脱脂面包末或紫薯粉(发酵或未发酵)加入100mL乙醇溶液中,然后在30℃条件下提取24h,4000r/min离心20min后收集上清液,重复上述操作两次。将提取液整合后30℃旋转蒸发直至干燥。最后用酸化乙醇溶液(0.05mol/L HCl、95%乙醇体积比为15:85)定容到100mL,控制提取液的pH值为4。根据Lachman等<sup>[18]</sup>的方法,采用Folin-Ciocalteu法对面包末中的总酚含量进行测定。将5mL提取液加入50mL的容量瓶中,然后加入2.5mL Folin-Ciocalteu试剂,搅拌均匀后加入7.5mL 20%碳酸钠溶液,在室温条件下反应2h后用分光光度计在波长为765nm处测定吸光度。以没食子酸为标准品,结果表示为每kg干物质中含有的没食子酸克数。实验重复3次,取平均值。

### 1.3.8 DPPH 自由基清除率测定

取2mL总酚提取液,加入到2mL 20μmol/L的DPPH溶液,混合在暗处反应30min,以无水乙醇为对照,在517nm波长处测定吸光度( $A_i$ ),同时,将2mL花青素提取液与2mL无水乙醇混合后,在517nm波长处测吸光度( $A_c$ );再测定2mL的DPPH溶液与2mL酸化乙醇混合后在517nm波长处的吸光度( $A_c$ )。抑制率按公式(2)进行计算。

$$\text{抑制率}/\% = \left(1 - \frac{A_i - A_j}{A_c}\right) \times 100 \quad (2)$$

## 1.4 数据处理

采用SAS V8软件及Microsoft Office Excel 2007进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 乳酸菌发酵对紫薯粉面包水分含量、总酸度和比容的影响

表1 紫薯粉面包与乳酸菌发酵紫薯粉面包的水分含量、总酸度与比容

理化特性	紫薯粉面包	乳酸菌发酵紫薯粉面包
水分含量/%	34.60 ± 0.30	34.60 ± 0.50
pH	5.53 ± 0.05	4.65 ± 0.07
TTA	5.50 ± 0.40	6.00 ± 0.90
比容/(mL/g)	4.25 ± 0.08	4.12 ± 0.12

由表1可知,采用发酵及未发酵紫薯粉制得的面包水分含量相似,约为34.6%。与紫薯粉面包相比,乳酸菌发酵紫薯粉面包有着较低的pH值和较高的TTA值。这主要是由于在乳酸菌发酵过程中,由于乳酸菌的生长代谢,产生了有机酸类物质,增加了紫薯粉的酸度。与添加了未发酵紫薯粉的面包相比,乳酸菌发酵紫薯粉面包比容有所减小,但是不明显。这可能是由于乳酸菌发酵紫薯面团的加入,降低了体系的pH值,弱化了面筋蛋白的网络结构<sup>[19]</sup>,使得面包面团的持气性减弱,面包比容减小。

### 2.2 乳酸菌发酵对紫薯粉面包色泽的影响

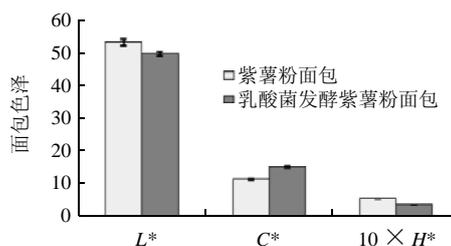


图1 乳酸菌发酵紫薯粉对面包色泽的影响  
Fig.1 Effect of LAB fermented PSP on the color of bread

在对色泽进行测定时,较常用到的参数为 $L^*$ 、 $a^*$ 和 $b^*$ ,但是其应用有一定的局限性,不能够直接描述测试样品的色相和色度,并且很难进行独立分析<sup>[20]</sup>。由图1可知,含有乳酸菌发酵紫薯粉的面包与未发酵紫薯粉面包相比, $C^*$ 值明显增大;Fan Gongjian等<sup>[21]</sup>经研究发现 $C^*$ 值会随着pH值的降低而增大,因此可以认为这是由于紫薯粉的乳酸菌发酵降低了体系pH值而引起的, $H^*$ 值显示的是颜色的改变。含乳酸菌发酵紫薯粉

的面包  $H^*$  值较低, 呈浅红色, 而未发酵紫薯粉面包则呈浅紫色。这主要是由于花青素溶液在低 pH 值条件下为红色, 然后随着 pH 值升高会渐渐转变为浅紫色。研究者认为: 在低 pH 值条件下, 紫薯花青素以花色烺 (flavylium) 阳离子存在, 表现出极大的稳定性<sup>[21]</sup>。数据同样显示, 乳酸菌发酵紫薯粉的添加使得面包亮度有所减小。

### 2.3 紫薯粉面包和乳酸菌发酵紫薯粉面包的感官评定

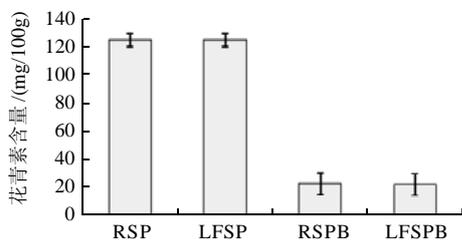
表 2 紫薯粉面包及乳酸菌发酵紫薯粉面包的感官评定

Table 2 Sensory evaluation of non-fermented PSP bread and LAB-fermented PSP bread

评分指标	紫薯粉面包	乳酸菌发酵紫薯粉面包
表观状态	6.1 ± 0.8	5.9 ± 0.8
颜色	6.0 ± 0.8	6.2 ± 0.7
风味	6.3 ± 0.9	6.4 ± 0.4
口感	6.3 ± 0.6	6.3 ± 1.1
整体可接受性	6.4 ± 1.0	6.3 ± 0.5

由表 2 可知, 通过感官评定, 对面包的表观状态、颜色、风味、口感以及整体可接受性进行评分, 添加了乳酸菌发酵紫薯粉的面包比未发酵紫薯粉面的表观状态评分要低, 这主要是由于乳酸菌发酵对面团中面筋蛋白的弱化, 使得面包表面光滑度有所下降。但乳酸菌发酵紫薯粉面包的颜色评分相对较高, 这说明由于紫薯乳酸菌发酵, 引起面包色泽的变化, 受到消费者的欢迎。而风味和口感方面评分相差不大。最后乳酸菌发酵紫薯粉面包和紫薯粉面包的整体可接受性评分分别为 6.3 和 6.4, 这表明乳酸菌发酵紫薯粉没有降低面包的整体品质, 紫薯粉面包和乳酸菌发酵紫薯粉面包品质之间无差异。

### 2.4 乳酸菌发酵对紫薯粉面包中花青素含量的影响



RSP.紫薯粉; LFSP.乳酸菌发酵紫薯粉; RSPB.紫薯粉面包; LFSPB.乳酸菌发酵紫薯粉面包。下同。

图 2 乳酸菌发酵对紫薯粉面包中花青素含量的影响

Fig.2 Effect of LAB fermentation on anthocyanins contents of PSP bread

由图 2 可知, 乳酸菌发酵对紫薯粉及紫薯粉面包中花青素含量无显著影响。花青素的显色会随着环境 pH

值的不同而改变, 因此推测添加发酵紫薯粉后会对面包色泽产生影响, 这主要是由于其对体系 pH 值而不是花青素含量的改变所引起的。Kudoh 等<sup>[22]</sup>研究发现乳酸发酵会对紫薯中的花青素有一定的降解作用, 但在本实验中降解作用不是很显著, 这可能是由于发酵乳酸菌菌种不同引起的。另一方面, 采用消光系数法测得的结果只能反映体系中色素的总体特性, 而无法用来判断具体某个组分的变化。

### 2.5 乳酸菌发酵对紫薯粉面包中总酚含量和 DPPH 自由基清除率的影响

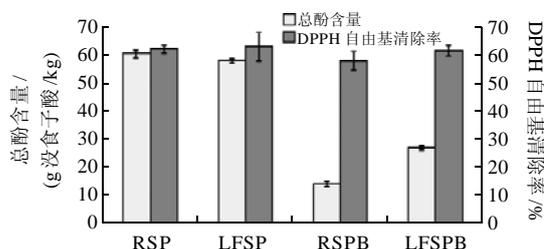


图 3 乳酸菌发酵对紫薯粉面包总酚含量和 DPPH 自由基清除率的影响

Fig.3 Effect of LAB fermentation on total phenolic content and DPPH radical-scavenging activity of PSP bread

由图 3 可知, 紫薯粉中含有较高的总酚含量, 而乳酸菌发酵使得紫薯粉中总酚含量有所降低, Rodríguez 等<sup>[23]</sup>研究发现乳酸菌发酵可以对某些酚类物质进行降解。由前一部分研究观察到, 样品中花青素含量在乳酸菌发酵前后无明显变化, 这可能是由于紫薯粉中花青素的特异性分子结构, 使得其避免了像其他酚类物质一样在乳酸菌发酵的代谢过程中被降解; 另一方面乳酸菌发酵提供的酸性环境可提高花青素的稳定性<sup>[21]</sup>。Pretorius<sup>[24]</sup>提出, 在微生物发酵过程中, 其次级代谢活动所产生的代谢产物活性可与花青素结合, 形成复合物, 从而提高花青素类物质的稳定性。但具体原因还有待进一步研究。将紫薯粉和乳酸菌发酵紫薯粉用于面包制作, 与未发酵紫薯粉面包相比, 乳酸菌发酵紫薯粉面包中的总酚物质含量由前者的 14.2g 没食子酸/kg 增加为 27.1g 没食子酸/kg, 提高了 90.8%。可能是乳酸菌发酵使得某些酚类物质降解为小分子结构, 反而提高了稳定性<sup>[23]</sup>。

紫薯粉 DPPH 自由基清除率较大, 达到 62% 以上。有研究报道<sup>[25]</sup>多种来自水果蔬菜的植物类花青素以及商用花青素也都具有自由基清除能力和抗氧化性。Furuta<sup>[26]</sup>、Saigusa<sup>[27]</sup>等研究发现新鲜紫薯中所含的花青素具有高的自由基清除率和抗氧化性。Yoshimoto 等<sup>[28]</sup>报道: 纯化

的紫薯花青素可抑制多种诱导剂引起的变异。经乳酸菌发酵,使得紫薯粉的DPPH自由基清除率有所增加,该结果与Rodríguez等<sup>[23]</sup>的报道一致,原因是乳酸菌发酵将某些酚类物质降解为抗氧化性更强的物质。与紫薯粉面包相比,乳酸菌发酵紫薯粉面包的DPPH自由基清除率增加了6.1%,这表明用乳酸菌发酵紫薯粉制得的面包有着更好的抗氧化性,根据El Far等<sup>[29]</sup>的研究,推测该抗氧化性的产生可能主要源自酚类物质,而不仅仅是花青素。

### 3 结 论

3.1 乳酸菌发酵紫薯粉使得面包pH值降低,总酸度增加,面包比容有所减小,面包色度 $C^*$ 值增加而色相 $H^*$ 值减小,面包色泽由原来的浅紫色变为浅红色。感官评定结果显示,采用紫薯粉或乳酸菌发酵紫薯粉制作的面包品质无差异,均为消费者所喜爱。

3.2 与紫薯粉面包相比,乳酸菌发酵紫薯粉面包的总酚含量和DPPH自由基清除率分别由原来的14.2g没食子酸/kg和58.2%增加到27.1g没食子酸/kg和61.7%。因此,利用植物乳杆菌发酵紫薯粉有利于提高其产品的抗氧化性。

### 参 考 文 献:

- [1] LILJEBERG H G M, LÖNNER C H, BJÖRCK I M E. Sourdough fermentation or addition of organic acids or corresponding salts to bread improves nutritional properties of starch in healthy humans[J]. *Journal of Nutrition*, 1995, 125(6): 1503-1511.
- [2] KATINA K, ARENDT E, LIUKKONEN K H, et al. Potential of sourdough for healthier cereal products[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2005, 16(1/3): 104-112.
- [3] 张坤, 黄卫宁, 堵国成, 等. 旧金山乳杆菌与自然发酵燕麦面团发酵剂中 $\beta$ -葡聚糖含量及其分子量的分布[J]. *食品科学*, 2009, 30(21): 320-323.
- [4] CORSETTI A, GOBBETTI M, de MARCO B, et al. Combined effect of sourdough lactic acid bacteria and additives on bread firmness and staling[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2000, 48(7): 3044-3051.
- [5] 刘若诗, 万晶晶, 黄卫宁, 等. 冻干酸面团发酵剂对发酵面团及面包香气的影响[J]. *食品科学*, 2011, 32(7): 11-15.
- [6] CLARKE C, SCHOBER T J, ARENDT E K. Effect of single strain and traditional mixed strain starter cultures in rheological properties of wheat dough and bread quality[J]. *Cereal Chemistry*, 2002, 79(5): 640-647.
- [7] 杨秀琴, 邹奇波, 黄卫宁. 酵母菌对自然发酵酸面团面包中风味物质影响的研究[J]. *食品与机械*, 2006(3): 37-43.
- [8] dal BELLO F, CLARKE C I, RYAN L A M, et al. Improvement of the quality and shelf life of wheat bread by using the antifungal strain *Lactobacillus plantarum* FST 1.7[J]. *Journal of Cereal Science*, 2006, 45(3): 309-318.
- [9] HERYÈ R, VALÈRIE G, DOMINIQUE L, et al. Study of the behaviour of *Lactobacillus plantarum* and *Leuconostoc* starters during a complete wheat sourdough breadmaking process[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2006, 39: 256-265.
- [10] SUDA I, OKI T, MASUDA M, et al. Physiological functionality of purple-fleshed sweetpotatoes containing anthocyanins and their utilization in foods[J]. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 2003, 37(3): 167-173.
- [11] PANDA S H, NASKAR S K, RAY R C. Production, proximate and nutritional evaluation of sweet potato curd[J]. *Journal of Food Agricultural Environment*, 2006, 4(1): 124-127.
- [12] PANDA S H, PARMANICK M, RAY R C. Lactic acid fermentation of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) into pickles[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2007, 31(1): 83-101.
- [13] SASAKI Y, OHBA R. Antioxidant activity and optimal manufacturing conditions of purple sweet potato lactic acid bacteria drink[J]. *Food Science and Technology Research*, 2004, 10(4): 447-452.
- [14] PANDA S H, NACKAR S K, SIVAKUMAR P S, et al. Lactic acid fermentation of anthocyanin-rich sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) into lacto-juice[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2009, 44(3): 288-296.
- [15] PANDA S H, PANDA S, SIVAKUMAR P S, et al. Anthocyanin-rich sweet potato lacto-pickle: production, nutritional and proximate composition[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2009, 44: 445-455.
- [16] American Association of Cereal Chemist International (AACCI). Approved methods of analysis[M]. 10th ed. St.Paul, Mn: The Association, 2000.
- [17] FOSSEN T, CABRITA L, ANDERSEN M. Colour and stability of pure anthocyanins influenced by pH including the alkaline region[J]. *Journal of Food Chemistry*, 1998, 63(4): 435-440.
- [18] LACHMAN J, HAMOUZ K, ORSÁK M, et al. The influence of flesh colour and growing locality on polyphenolic content and antioxidant activity in potatoes[J]. *Scientia Horticulturae*, 2008, 117(2): 109-114.
- [19] GÄNZLEA M G, LOPONENA J, GOBBETTIC M. Proteolysis in sourdough fermentations: mechanisms and potential for improved bread quality[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2008, 19(10): 513-521.
- [20] McGUIRE R G. Reporting of objective color measurements[J]. *Hort Science*, 1992, 27(12): 1254-1255.
- [21] FAN Gongjian, HAN Yongbin, GU Zhenxin, et al. Composition and colour stability of anthocyanins extracted from fermented purple sweet potato culture[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2008, 41(8): 1412-1416.
- [22] KUDOH Y, MATSUDA S. Effect of lactic acid bacteria on color tone and anthocyanin content of sweet potato yoghurt[J]. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology*, 2000, 47(8): 619-625.
- [23] RODRÍGUEZ H, CURIEL J A, LANDETE J M, et al. Food phenolics and lactic acid bacteria[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2009, 132(2/3): 79-90.
- [24] PRETORIUS I S. Tailoring wine yeast for the new millennium: novel approaches to the ancient art of winemaking[J]. *Yeast*, 2000, 16: 675-729.
- [25] WANG Hong, CAO Guohua, PRIOR R L. Oxygen radical absorbing capacity of anthocyanins[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1997, 45(2): 304-309.
- [26] FURUTA S, SUDA I, NISHIBA Y, et al. High tert-butylperoxyl radical scavenging activities of sweet potato cultivars with purple flesh[J]. *Food Science and Technology International*, Tokyo, 1998, 4(1): 33-35.
- [27] SAIGUSA N, TERAHARA N, OHBA R. Evaluation of DPPH-radical-scavenging activity and antimutagenicity and analysis of anthocyanins in an alcoholic fermented beverage produced from cooked or raw purple-fleshed sweet potato (*Ipomoea batatas* cv. Ayamurasaki) roots[J]. *Food Science and Technology Research*, 2005, 11(4): 390-394.
- [28] YOSHIMOTO M, YAMAKAWA O, SUDA I. Physiological function of purple colored flesh sweet potato[J]. *Shokuhin to Kaihatsu*, 1998, 33(8): 15-17.
- [29] El FAR M M M, TAIE H A A. Antioxidant activities, total anthocyanins, phenolics and flavonoids contents of some sweetpotato genotypes under stress of different concentrations of sucrose and sorbitol[J]. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2009, 3(4): 3609-3616.