

# 不同加工程度大米制备的米粉特性及营养品质比较

赵悦<sup>1,2</sup>, 李加双<sup>1,2</sup>, 谭瑶瑶<sup>1,3</sup>, 刘慧<sup>2</sup>, 张翠翠<sup>2</sup>, 王晶<sup>2</sup>, 张泓<sup>1,2,3</sup>

(1. 中国农业科学院农产品加工研究所, 北京 100193) (2. 中国农业科学院农产品加工研究所主食加工技术研究  
院(哈尔滨), 黑龙江哈尔滨 151900) (3. 中农科合肥食品营养与健康创新研究院, 安徽合肥 238000)

**摘要:** 本文以不同加工程度鲜糙米为原料制备米粉, 对不同等级鲜糙米米粉的基础营养品质、维生素、微量元素、直链淀粉、热特性、流变特性和感官品质进行比较。研究得到, 除碳水化合物和微量元素 Cr 之外, 随着加工程度的提高, 胚芽保留率的降低, 糙米基础营养价值损失严重。糙米制备的米粉脂肪含量和灰分含量是精白米粉的近 3 倍, 胚芽米粉的蛋白质含量可达 8.13 g/100 DM, 且维生素 B<sub>1</sub> 和 B<sub>3</sub> 含量分别为 133.74 μg/100 DM 和 3.39 mg/100 DM, 是精白米粉 7.5 倍和 10.6 倍。而加工程度较高的精白米粉和白米粉由于高直链淀粉含量(分别为 24.35% 和 23.50%), 在热特性和感官评价方面表现较好。综合比较得出, 5 分白米粉在食用特性和营养特性均品质突出, 且 Zn 的含量最高, 为 18.65 mg/kg(DM); 流变特性和溶解特性测定中, 5 分白米粉的表现粘度与精米系有相近的表现, 米糊状态较好, 适合开发辅食米粉产品。

**关键词:** 糙米; 米粉; 食用特性; 营养品质

文章篇号: 1673-9078(2019)04-87-95

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.4.013

## Comparison of the Edible Characteristics and Nutrient Quality of Rice Flour Prepared with Different Processing Degrees

ZHAO Yue<sup>1,2</sup>, LI Jia-shuang<sup>1,2</sup>, TAN Yao-yao<sup>1,3</sup>, LIU Hui<sup>2</sup>, ZHANG Cui-cui<sup>2</sup>, WANG Jing<sup>2</sup>, ZHANG Hong<sup>1,2,3</sup>

(1. Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Comprehensive Key Laboratory of Agro-products Processing, Beijing 100193, China)

(2. Institute of Staple Food Processing Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Harbin 151900, China)

(3. Academy of Food Nutrition and Health Innovation, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hefei 238000, China)

**Abstract:** In this study, rice flour was prepared from fresh brown rice with different degrees of processing, and the basic nutritional quality, vitamins, microelements, amylose, thermal characteristics, rheological characteristics and sensory quality of rice flour with different grades of fresh brown rice were compared. It was found that, in addition to carbohydrate and microelement Cr, with the improvement of processing degree, the embryo retention rate decreased and the basic nutritional value of brown rice was seriously lost. The fat content and ash content of rice flour prepared by brown rice were nearly 3 times those of white rice flour, and the protein content of wheat flour was up to 8.13 g/100 DM, and the contents of vitamin B<sub>1</sub> and B<sub>3</sub> were 133.74 μg/100 DM and 3.39 mg/100 DM, respectively, which were 7.5 times and 10.6 times those of white rice flour, respectively. The over processed white rice flour and white rice flour had better thermal characteristics and sensory evaluation due to their high amylose content (24.35% and 23.50%, respectively). A comprehensive comparison showed that the edible and nutritional characteristics of 5-cent white rice flour were best, and the content of Zn was the highest, which was 18.65 mg/kg (DM). The apparent viscosity of 5-cent white rice flour was similar to that of white rice flour, and the rice paste state was better, which was suitable for the development of supplementary rice flour products.

**Key words:** brown rice; rice flour; edibility characteristics; nutrition quality

米粉(营养米粉)是幼儿营养强化期及断奶期的

收稿日期: 2018-12-01

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0400505)

作者简介: 赵悦(1987-), 女, 研究实习员, 硕士, 研究方向: 特殊人群营养研究

通讯作者: 张泓(1958-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 传统食品加工与装备

重要辅食, 产品主要以大米为原料, 经过浸泡、打浆、添加营养强化剂、熟化、干燥、粉碎等加工工艺<sup>[1]</sup>制备成满足辅食营养需求的产品。具有口味清淡、米糊状态好和营养强化等特点, 也可配合奶粉一起冲调食用。市售米粉的加工原料主要以加工程度较高的精白米或白米为主, 胚芽和米糠层大部分被去除。糙米的胚芽和糙米米糠中不但含有蛋白质、脂肪和膳食纤维

等营养成分,而且富含B族维生素、 $\gamma$ -氨基丁酸、维生素E和微量元素等活性功能物质<sup>[2]</sup>,对幼儿的新陈代谢及生长具有良好的促进作用。胚芽及米糠层的去除使其中存在的营养物质发生损失<sup>[3]</sup>,辅食米粉产品的营养价值降低。以食用安全的现磨糙米为原料加工而成的糙米粉,可保留胚芽和糙米米糠层的多种营养成分,原料的营养价值高于普通大米;但现阶段以糙米为原料加工制备米粉的品质分析还鲜有研究,特别是鲜糙米制备的米粉更是少有报道。因此,加工后的糙米粉营养价值是否高于普通米粉,以及胚芽和糙米米糠是否会降低糙米粉的食用性质及感官品质等问题还尚待研究。

本文主要是以不同加工程度,既不同程度胚芽保留率的鲜糙米作为原料,采用湿热处理熟化糙米,并结合真空冷冻干燥和粉碎技术制备营养米粉。通过以精米系(精白米、白米)和糙米系(7分白米、5分白米、胚芽米、糙米)为原料,系统分析不同等级鲜糙米粉的营养品质变化和食用品质,旨在优选出一种尽量保留较多鲜糙米营养物质且适合开发幼儿食品的稻米原料,为行业发展提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

糙米,产地黑龙江哈尔滨方正县,品种为富硒龙

表1 不同等级鲜糙米的制备

Table 1 Preparation of fresh brown rice in different grades

名称	胚芽米	5分白米	7分白米	白米	精白米
米量	2杯	2杯	2杯	2杯	2杯
研磨时间	1分50秒	1分	1分30秒	2分30秒	3分50秒
胚芽保留率/%	80	50	30	10	5
出米率/%	96.45	95.16	91.29	87.74	85.90

### 1.3.2 米粉的制备

(1)清洗与浸泡:将研磨好的糙米立即进行清洗,采用恒温水域进行加热浸泡处理,浸泡温度60℃,浸泡时间40 min。

(2)熟化:将浸泡后的糙米沥干,并按照料液比R/W为1:1.6加入水,将物料转移到过热蒸汽仪器中进行熟化,加热温度设置为:上火180℃,下火180℃,蒸汽温度180℃,依据不同加工程度鲜糙米结构,其熟化时间不等,加热时间为14~18 min。

(3)干燥:冷水离散后进行真空冷冻干燥,真空压力为230~300 mbar,真空温度-40~-50℃,干燥时间48 h;

(4)粉碎:粉碎时间为90 s,每隔3 min粉碎一

次。

硫酸,盐酸,氢氧化钠,乙醇,丙酮,冰醋酸,硫酸铜,硫酸钾,硼酸,甲基红,无水乙醚,石油醚,木瓜蛋白酶,淀粉酶,高锰酸钾等均为分析纯。Megazyme直链淀粉试剂盒。

### 1.2 仪器与设备

HHS型数显式电热恒温水浴锅,上海博迅实业有限公司医疗设备厂;DGG-9203A电热恒温鼓风干燥箱,上海森信实验仪器有限公司;CEM Mars5微波消解仪美国Pynn公司;DSC-Q200差示扫描量热仪,美国TA公司;IN-2450紫外分光光度计,日本岛津公司;Agilent7700型电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS),美国Agilent公司;Physica MCR301流变仪,奥地利Anton Paar有限公司;HM-3200鲜米机,哈尔滨浩迈农业科技发展有限公司;台式350蒸汽数控烤箱,日本直本工业株式会社。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 不同胚芽保留率鲜糙米的制备

使用鲜米机对糙米进行研磨,每次称取计量杯两杯样品(约200 g),分别制备不同程度胚芽保留率的糙米,分别为:精白米、白米、7分白米、5分白米、胚芽米,再以此糙米为原料加工辅食米粉,具体实验设计如表1所示。

次,共粉碎3次。

(5)筛分:过170目筛子,包装备用。

#### 1.3.3 营养评测方法

水分的测定:GB 5009.3-2016;脂肪的测定:GB 5009.6-2016;蛋白质的测定:GB 5009.5-2010;膳食纤维的测定:GB 5009.88-2014;灰分的测定:GB 5009.4-2016;维生素B<sub>1</sub>的测定:GB 5009.84-2016;维生素B<sub>2</sub>的测定:GB/T 5009.85-2003;维生素B<sub>3</sub>的测定:GB/T 5009.89-2003;维生素E的测定:GB/T 5009.82-2003;微量元素的测定<sup>[4]</sup>:利用电感耦合等离子体质谱仪测定鲜糙米米粉中的Ca、Fe、Zn、Se、Na、K、P、Mg、Mn、Cr等9种微量元素的含量。

#### 1.3.4 品质特性的比较

(1) 直链淀粉的测定: 参照 Megazyme 直链淀粉试剂盒的方法测定。

(2) 热特性的测定: 参照李莎莎<sup>[5]</sup>的方法, 并略有改动。称取 3 mg 样品置于铝盒内并加入两倍的蒸馏水, 加盖密封后, 室温下平衡 12 h。测量升温速率为 5 °C/min, 测定温度范围 20~90 °C, 记录糊化温度 ( $T_0$ )、峰值温度 ( $T_p$ )、焓变值 ( $\Delta H$ )。

(3) 流变特性的测定<sup>[6]</sup>: 使用流变仪测定, 设置恒定温度为 25 °C, 扫面频率变化范围为 0.01~100/s, 分析不同胚芽保留率糙米粉的粘度随剪切速率变化的曲线。

(4) 溶解性的测定: 取复水且冲调均匀的质量  $m$  米糊至于离心管 ( $m_1$ ) 内, 转速为 10000 r/min, 离心时间为 10 min; 除去上清液, 将离心管和沉淀 100 °C 条件下烘干 4 h, 再记下质量  $m_2$ 。依据下列公式进行计算:

$$\text{沉淀率} = \frac{m_2 - m_1}{m} \times 100\%$$

$$\text{溶解度} = \frac{m - (m_2 - m_1)}{m} \times 100\%$$

### 1.3.5 感官品质评定

(1) 色泽的测定<sup>[7]</sup>: 采用手持色差计测定不同鲜糙米制备米粉的色泽指标, 将米粉盛于样品盘中, 测定样品的 CIELAB 颜色  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值, 并计算总色差  $\Delta E$ , 重复测定 3 次。其中  $L^*$  表示亮度,  $L^*$  值越小, 表明产品的亮度越小;  $a^* > 0$  表示红值、 $a^* < 0$  表示绿值;  $b^* > 0$  表示黄值、 $b^* < 0$  表示蓝值。E 表示色度, 反映色泽的总体变化,  $\Delta E$  表示各级鲜糙米米粉与普通大米粉色度差。

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0)^2 + (a^* - a_0)^2 + (b^* - b_0)^2}$$

(2) 感官评价<sup>[8]</sup>: 组织从事食品研究的专业人员 15 人, 按下表进行感官评价, 规则如表 2 所示。

### 1.3.6 数据统计与分析

通过软件 Origin 7.5 作图, 用 EXCEL 2009 和 SPSS19.0 软件进行数据分析。

表 2 不同等级鲜糙米米粉的感官评价表

Table 2 Comparison of sensory evaluation of rice flour in different brown rice grades

评定项目	评定特征	得分
色泽 (10 分)	色泽均一, 呈现乳黄色或浅黄色	10~6
	色泽不均一, 显暗, 无光泽	5~1
组织状态 (20 分)	粉粒均匀、松散、流动性好	20~15
	粉粒较大或稍细, 少量结块, 流动性较好	14~10
冲调性 (30 分)	粉粒较大或稍细, 多量结块, 流动性较差	9~1
	杯壁无小白点或絮片, 溶解性好	30~20
	杯壁有少量小白点或絮片, 溶解性较好	19~10
滋味和气味 (40 分)	杯壁有大量小白点或絮片, 有下沉分层现象	9~1
	具有米粉特有的香味, 口感自然	40~24
	有米粉部分香味, 口感不浓	23~11
	米粉香味较少, 有其他异物味道	10~1

## 2 结果与分析

### 2.1 鲜糙米米粉的营养品质分析

#### 2.1.1 不同等级鲜糙米米粉的基础营养品质比较

不同等级鲜糙米米粉的基本营养成分指标如表 3 所示, 糙米米粉的蛋白质、脂肪、碳水化合物、总膳食纤维和灰分含量均显著高于精白米粉和白米粉。随着加工去皮程度的加深和胚芽保留的减少, 鲜糙米米粉的蛋白质、脂肪、总膳食纤维和灰分含量均呈现逐渐降低的趋势; 相反, 碳水化合物的含量逐渐升高,

这与王艳, 兰向东<sup>[9]</sup>等的研究结果较为相似。与精白米原料相比, 高胚芽保留率的糙米米粉营养成分含量最高, 其中脂肪含量为 2.79 g/100 DM, 是精白米脂肪含量的近 3 倍。在鲜糙米米粉中, 胚芽糙米粉的总膳食纤维最接近原料糙米含量 (0.28 g/100 DM), 达到 0.25 g/100 DM。精白米粉、白米粉、7 分白米粉、5 分白米粉和胚芽米粉的蛋白质含量呈逐渐增高趋势, 分别为 7.71 g/100 DM、7.88 g/100 DM、8.02 g/100 DM、8.07 g/100 DM、8.13 g/100 DM, 呈现逐渐增高的趋势。由此可见, 糙米米粉中的蛋白质、脂肪和膳食纤维大部分均是来源于的糙米米糠层和胚芽中<sup>[10,11]</sup>, 使用糙米为原料制备米粉可以保留更多的营养价值。

表3 不同等级鲜糙米米粉的营养成分比较

Table 3 Comparison of nutrition composition of rice flour in different brown rice grades

样品名称	蛋白质/(g/100 DM)	脂肪/(g/100 DM)	碳水化合物/(g/100 DM)	总膳食纤维/(g/100 DM)	灰分/(g/100 DM)
精白米粉	7.71±0.08 <sup>d</sup>	0.97±0.01 <sup>f</sup>	86.39±0.10 <sup>a</sup>	0.20±0.01 <sup>d</sup>	0.54±0.05 <sup>d</sup>
白米粉	7.88±0.05 <sup>cd</sup>	1.27±0.01 <sup>e</sup>	86.29±0.06 <sup>a</sup>	0.21±0.01 <sup>cd</sup>	0.57±0.01 <sup>d</sup>
7分白米粉	8.02±0.15 <sup>bc</sup>	1.71±0.01 <sup>d</sup>	86.31±0.06 <sup>a</sup>	0.24±0.19 <sup>bc</sup>	0.70±0.01 <sup>c</sup>
5分白米粉	8.07±0.11 <sup>bc</sup>	1.91±0.01 <sup>c</sup>	85.12±0.12 <sup>c</sup>	0.24±0.01 <sup>bc</sup>	0.78±0.01 <sup>b</sup>
胚芽米粉	8.13±0.05 <sup>b</sup>	2.12±0.01 <sup>b</sup>	85.88±0.04 <sup>b</sup>	0.25±0.01 <sup>b</sup>	0.82±0.01 <sup>b</sup>
糙米	8.59±0.05 <sup>a</sup>	2.79±0.02 <sup>a</sup>	74.69±0.08 <sup>d</sup>	0.28±0.01 <sup>a</sup>	1.45±0.01 <sup>a</sup>

注: 数据以平均值±标准偏差表示, 同一列不同小写字母代表样品间存在显著差异性( $p<0.05$ ), 其中 DM 表示为干基重量。下同。

表4 不同等级鲜糙米米粉的维生素品质比较

Table 4 Comparison of vitamin quality of rice flour in different brown rice grades

样品名称	维生素 B <sub>1</sub> /(μg/100 DM)	维生素 B <sub>2</sub> /(μg/100 DM)	维生素 B <sub>3</sub> /(mg/100 DM)	维生素 E/(mg/100 DM)
精白米粉	17.79±0.01 <sup>e</sup>	15.13±0.01 <sup>e</sup>	0.32±0.01 <sup>f</sup>	0.003±0.01 <sup>e</sup>
白米粉	19.23±0.01 <sup>e</sup>	33.78±0.01 <sup>d</sup>	0.45±0.01 <sup>e</sup>	0.13±0.01 <sup>d</sup>
7分米粉	46.92±0.01 <sup>d</sup>	65.48±0.01 <sup>c</sup>	0.95±0.01 <sup>d</sup>	0.12±0.01 <sup>d</sup>
5分米粉	79.59±0.01 <sup>c</sup>	77.51±0.01 <sup>b</sup>	1.90±0.03 <sup>c</sup>	0.59±0.03 <sup>b</sup>
胚芽米粉	133.74±0.01 <sup>b</sup>	65.33±0.01 <sup>c</sup>	3.39±0.01 <sup>b</sup>	0.34±0.01 <sup>c</sup>
糙米	347.38±0.01 <sup>a</sup>	119.59±0.01 <sup>a</sup>	6.59±0.03 <sup>a</sup>	1.33±0.03 <sup>a</sup>

表5 不同等级鲜糙米米粉的微量元素含量比较

Table 5 Comparison of trace element content of rice flour in different brown rice grades

元素名称/[mg/kg(DM)]	精白米粉	白米粉	7分白米粉	5分白米粉	胚芽米粉	糙米
Na	50.04±1.24 <sup>e</sup>	51.70±0.14 <sup>d</sup>	54.75±0.28 <sup>cd</sup>	61.19±0.77 <sup>bc</sup>	57.85±0.37 <sup>ab</sup>	63.38±2.67 <sup>a</sup>
K	212.92±4.45 <sup>e</sup>	242.39±2.10 <sup>e</sup>	362.88±1.39 <sup>d</sup>	613.57±9.47 <sup>c</sup>	884.91±4.05 <sup>b</sup>	2247.34±28.32 <sup>a</sup>
Ca	308.77±10.35 <sup>c</sup>	345.57±12.59 <sup>c</sup>	322.58±17.07 <sup>c</sup>	417.85±31.13 <sup>b</sup>	468.79±0.58 <sup>b</sup>	526.73±8.83 <sup>a</sup>
Fe	10.99±0.06 <sup>d</sup>	12.71±1.86 <sup>cd</sup>	14.87±0.14 <sup>bcd</sup>	18.81±0.45 <sup>ab</sup>	17.27±0.61 <sup>abc</sup>	21.27±2.85 <sup>a</sup>
Zn	13.76±0.37 <sup>c</sup>	13.99±0.40 <sup>c</sup>	14.94±0.03 <sup>c</sup>	18.65±1.04 <sup>ab</sup>	17.50±0.26 <sup>b</sup>	19.79±0.31 <sup>a</sup>
P	768.46±11.50 <sup>e</sup>	915.08±11.86 <sup>d</sup>	1090.50±1.42 <sup>c</sup>	1641.85±22.23 <sup>b</sup>	1643.70±0.82 <sup>b</sup>	2941.16±34.03 <sup>a</sup>
Mg	151.60±2.52 <sup>f</sup>	225.57±2.11 <sup>e</sup>	325.57±3.79 <sup>d</sup>	601.57±10.38 <sup>b</sup>	574.10±0.30 <sup>c</sup>	1082.73±15.53 <sup>a</sup>
Mn	11.33±0.16 <sup>d</sup>	11.57±0.18 <sup>d</sup>	12.88±0.11 <sup>c</sup>	20.27±0.29 <sup>b</sup>	20.69±0.09 <sup>b</sup>	43.43±0.39 <sup>a</sup>
Cr	1.35±0.07 <sup>a</sup>	0.85±0.03 <sup>b</sup>	0.53±0.09 <sup>c</sup>	0.90±0.01 <sup>b</sup>	0.47±0.03 <sup>c</sup>	0.21±0.01 <sup>d</sup>
Se	0.126±0.00 <sup>c</sup>	0.134±0.00 <sup>c</sup>	0.145±0.00 <sup>c</sup>	0.169±0.01 <sup>b</sup>	0.169±0.01 <sup>b</sup>	0.205±0.01 <sup>a</sup>

### 2.1.2 不同等级鲜糙米米粉的维生素成分比较

维生素在婴幼儿的成长发育过程中起到了非常重要的作用<sup>[12,13]</sup>, 而在我国部分地区, 婴幼儿的维生素摄入还存在一定的不足或缺失<sup>[14]</sup>, 这对婴幼儿早期发育造成了较大的干扰。严格控制产品的选料, 确保辅食产品中提供适当的维生素营养, 对婴幼儿的身心健康发育有着重要的意义。由表4可知, 不同加工程度对鲜糙米米粉的维生素保留率影响较大。在不同等级鲜糙米米粉中, 精白米粉的维生素 B<sub>1</sub> 和维生素 B<sub>3</sub> 的含量最低, 仅为 17.79 μg/100 DM 和 0.32 mg/100 DM; 而胚芽米粉的维生素 B<sub>1</sub> 和维生素 B<sub>3</sub> 的含量较大, 分别达到 133.74 μg/100 DM 和 3.39 mg/100 DM, 是精白米粉 7.5 倍和 10.6 倍, 这是因为胚芽组织是糙米存在

生理活性物质最为富集的部分<sup>[15]</sup>, 胚芽米粉又具有较高的胚芽保留率(80%), 致使其在维生素 B<sub>1</sub> 和维生素 B<sub>3</sub> 的含量表现较为突出。此外, 5分白米粉的维生素 B<sub>2</sub> 和维生素 E 含量最接近原料糙米品质, 具有较好的营养品质, 而精白米粉中维生素 E 的含量仅为 0.01 mg/100 DM, 其保留率还不足原料的 0.5%, 维生素 E 的营养品质已损失严重。

### 2.1.3 不同等级鲜糙米米粉微量元素含量比较

微量元素与婴幼儿生长发育和智能发育的有着十分重要的相关性<sup>[16]</sup>, 对于新陈代谢旺盛的婴幼儿, 应保证每日摄入适量的微量元素, 促进其生长发育。5种不同等级鲜糙米米粉的微量元素测定结果如表5所示, 包括 Na、K、Ca、Fe、Zn、P、Mg 等常量元素

和 Mn、Cr、Se 等微量元素。结果显示,测定的所有常量元素和 Mn、Se 等微量元素含量由低到高的顺序为精白米粉、白米粉、7 分白米粉、胚芽米粉和 5 分白米粉,其中 5 分白米和胚芽米粉的微量元素含量比较相近,难分伯仲。说明在糙米精制加工和淘洗过程中,这些元素会发生严重的损失<sup>[17,18]</sup>,其中 K、Mg 和 P 的损失率分别达到 90.5%、86%、73.9%,Fe 和 Zn 的损失率也达到 30%~50%。

5 分白米粉和胚芽米粉的不同微量元素含量均表现良好,除在 K 和 Mg 元素外,二者在 Na、Ca、Fe、Zn、Se、P 和 Mn 元素含量的表现结果均无显著性差异,由此得知糙米的微量元素主要分布在外表皮层和胚芽中,研究以糙米为原料的辅食米粉就显得意义重大。微量元素 Cr 的含量与上述表现顺序正好相反,精白米粉中的含量最高,糙米原料中的含量较低,这可能是由于 Cr 元素在糙米胚乳中的分布比胚芽中密集所致,或者是精白米在米粉制备过程中,由于淘洗加工,流失比其他不同等级鲜糙米较低的原因<sup>[18]</sup>。

## 2.2 鲜糙米米粉的品质特性分析

### 2.2.1 不同等级鲜糙米米粉的直链/支链淀粉含量比较

样品中直链淀粉含量对米粉的糊化特性有着重要影响,直链淀粉含量越高,米糊粘性越高<sup>[19]</sup>,有助于产品的复水结构的品质保持。但是直链淀粉含量过高,也会造成其易发生老化的不利现象<sup>[20]</sup>,所以制备米粉要选取适当的直链淀粉含量糙米原料。由图可知,各级糙米米粉的直链淀粉含量在 19%~25%之间,支链淀粉百分比含量在 75%~81%之间。直链淀粉百分比含量最高为精白米粉,其次是白米粉、7 分白米粉、胚芽米粉,最低为 5 分白米 (20.09%),原料糙米的直链淀粉百分比含量为 19.64%。支链淀粉百分比含量结果与之正好相反。对于直链淀粉百分比含量而言,其中精白米粉与白米粉、7 分白米粉与胚芽米粉、5 分白米粉与糙米粉,组间差异性显著,而组内间均没有显著性差异。同样,各组间米粉的支链淀粉含量差异性也比较

显著,除 5 分白米粉与糙米粉在组内间有显著差异,不同加工程度对精白米粉与白米粉、7 分白米粉与胚芽米粉组内比较影响较小。说明不同胚芽保留率的糙米间直链淀粉含量差别较大,具有明显的研究价值。

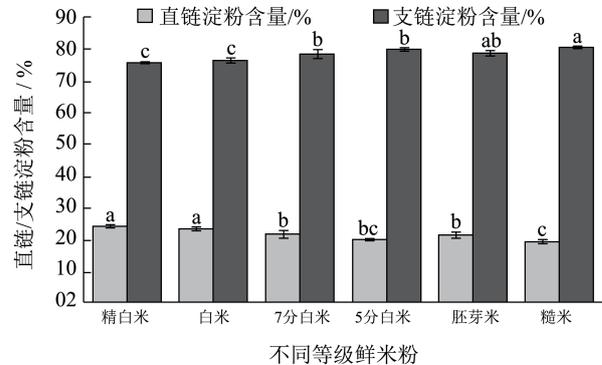


图1 不同等级鲜糙米米粉的直链/支链淀粉含量比较

Fig.1 Comparison of amylose content of rice flour in different brown rice grades

注: 同一列不同小写字母代表样品间存在显著差异性 ( $p < 0.05$ )。

### 2.2.2 不同等级鲜糙米米粉的热特性比较

由表 6 所示,精白米和白米等精米体系的米粉,由结晶结构向非结晶结构转变时的  $\Delta H$  焓变值高于 7 分白米、5 分白米、胚芽米和糙米等糙米体系米粉,这与于巍,周坚<sup>[21]</sup>等研究的结果正好相反,可能是由于不同鲜糙米之间淀粉含量不同,淀粉与非淀粉组分间的相互作用增加产品的热焓值<sup>[22,23]</sup>;其次可能是不同直链淀粉含量的原因,表现为直链淀粉含量越高,糙米粉的糊化焓变值越大<sup>[24,25]</sup>。再者,精白米和白米等精米体系与 7 分白米、5 分白米、胚芽米和糙米等糙米体系的起始糊化温度和糊化温度并没有明显的规律性而言,相对结论为糙米体系高于精米体系米粉<sup>[26]</sup>;除去糙米的糊化起始温度和糊化温度,5 分白米的二者温度为最高,精白米的二者温度为最低;由此可知,淀粉、脂肪、蛋白质等混合体系的米粉起始糊化温度和糊化温度相对较高。选取糙米为原料制备米粉时,淀粉颗粒破坏直至结晶结构溶解过程需要的能量要比精米低些,但糊化温度控制要高些。

表 6 不同等级鲜糙米米粉的热特性比较

Table 6 Comparison of thermal characteristics of rice flour in different brown rice grades

样品名称	起始温度/°C	糊化温度/°C	糊化焓变值/(J/g)
精白米	55.06±0.25 <sup>d</sup>	64.96±0.01 <sup>e</sup>	7.08±0.01 <sup>a</sup>
白米	56.56±0.11 <sup>b</sup>	65.40±0.05 <sup>c</sup>	6.93±0.06 <sup>ab</sup>
7分白米	56.35±0.05 <sup>c</sup>	65.31±0.07 <sup>d</sup>	6.55±0.21 <sup>ab</sup>
5分白米	57.77±0.11 <sup>b</sup>	66.11±0.10 <sup>b</sup>	6.74±0.10 <sup>ab</sup>
胚芽米	57.41±0.26 <sup>b</sup>	65.66±0.05 <sup>c</sup>	6.83±0.15 <sup>ab</sup>
糙米	60.38±0.45 <sup>a</sup>	66.79±0.07 <sup>a</sup>	6.46±0.23 <sup>b</sup>

### 2.2.3 不同等级鲜糙米米粉的流变特性比较

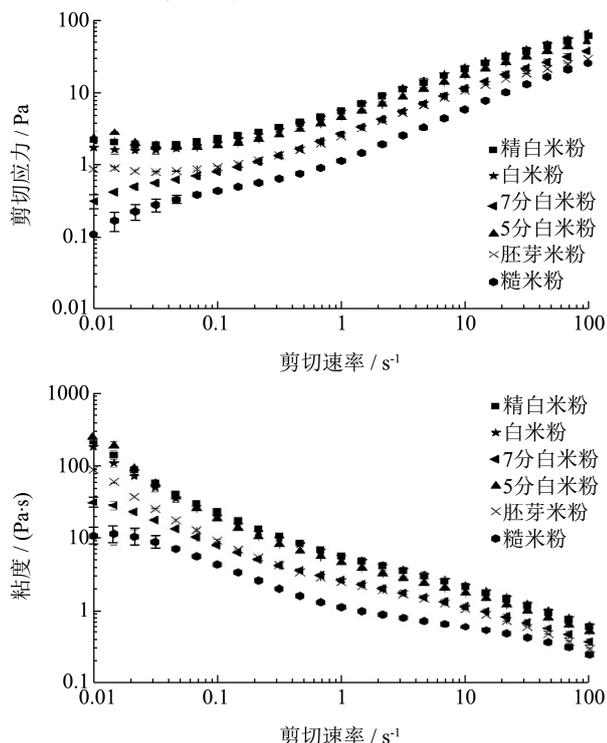


图2 不同等级鲜糙米米粉的剪切力和粘度比较

Fig.2 Comparison of shear stress and viscosity of rice flour in different brown rice grades

注: a: 剪切力; b: 粘度。

使用流变分析仪测定鲜糙米米粉的剪切粘度和剪切应力。由图2所示,米糊粘度与剪切频率成负相关关系,剪切应力与剪切频率成正相关关系,即测定旋转频率越高,粘度值越小,受到的剪切应力越大。不同等级鲜糙米米粉的粘度值随着剪切速率的增加而降低,说明不同等级鲜糙米米粉均具有剪切稀化的行为<sup>[27]</sup>。在低剪切频率范围 (<1 s<sup>-1</sup>),不同等级鲜糙米米粉的粘度随剪切速率的增加,下降变化范围较大;在高剪切频率范围 (>1 s<sup>-1</sup>),不同等级鲜糙米米粉的粘度随剪切速率的增加,下降变化范围较小。这是因为在高剪切速率时,糙米粉中的颗粒物质和水溶液分子产生很强的取向效应,这种效应在低剪切速率下已经出现,之后大多数的糙米粉中粒子和分子都朝着剪切方向排列,从而无法进一步取向,粘度值就会变化幅度不大。但是在剪切速率达到 100 s<sup>-1</sup>时,由于速率越高,粒子碰撞越频繁的原因,各级糙米粉均出现剪切增稠的现象。

测定结果中,精白米粉和白米粉的粘度最高,其次是5分白米粉;7分白米粉和胚芽米粉的流变特性相近,糙米粉的粘度值最低。这与直链淀粉测定的结果较为相似,可能是由于高直链淀粉含量和低膳食纤维含量的原因,其粘度越大,表示米糊的体系状态越

好,越适合产品复水后的品质保持。而5分白米粉直链淀粉含量小于7分白米粉和胚芽米粉,但其粘度品质优于7分白米粉和胚芽米粉,说明米粉的流变特性不仅与直链淀粉和膳食纤维等成分含量有关,还可能与直链淀粉的聚合度和支链淀粉的分子结构有关。7分白米粉和胚芽米粉的直链淀粉聚合度越高,支链淀粉链越长,越会导致淀粉稳定性变差,冷糊的粘度发生降低<sup>[28]</sup>;再者,除直链淀粉影响外,米糊中的脂肪、蛋白质含量,以及淀粉颗粒大小和形状等均会对糙米粉流变性造成影响<sup>[29]</sup>。对于婴幼儿来说,均匀、爽滑、细腻的辅助食品更有益于进食行为<sup>[30]</sup>。

### 2.2.4 不同等级鲜糙米米粉的溶解性比较

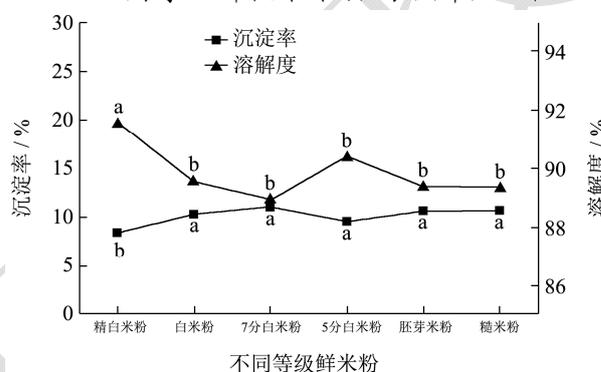


图3 不同等级鲜糙米米粉的溶解性比较

Fig.3 Comparison of solubility of rice flour in different brown rice grades

注: 同一列不同小写字母代表样品间存在显著差异性 ( $p < 0.05$ )。

溶解性是评价米糊产品的重要指标,可直观体现出米粉的冲调状态,具有很好的研究价值。由图3可知,各级鲜糙米粉的溶解度均可达到89%以上,精白米粉的溶解性最佳,与其他不同加工程度的鲜糙米粉的溶解性有显著性差异。其次5分白米粉的溶解度也较好,但与白米粉、7分白米粉和胚芽米粉相比,没有明显的差异性。不同等级鲜米粉的沉淀率与溶解性成负相关关系,沉淀率越小,溶解性越大,其米粉的冲调效果越好。

## 2.3 鲜糙米米粉的感官品质分析

### 2.3.1 不同等级鲜糙米米粉的色泽比较

色泽是米粉的一个重要感官评价参数,一般来说,糙米越白,它的市场价值就越大。但是,由于糙米表面含有色素<sup>[31]</sup>,研磨加工和热加工处理均可以引起糙米的色泽改变<sup>[32]</sup>,严重影响到最终产品的感官评价。由图所知,胚芽保留率在5%到30%范围内,即精白米粉、白米粉和7分白米粉,色泽参数黄色b值和总色差ΔE值逐渐升高,但变化幅度不大;胚芽保留率

大于 30%，由 7 分白米粉、5 分白米粉、胚芽米粉到糙米粉，黄色 b 值和总色差 ΔE 值升高趋势明显，且变化幅度较大，说明加工程度对色泽的影响较大。而亮度 L 值变化趋势与之正好相反，精白米粉亮度最高，依次为白米粉、7 分白米粉、5 分白米粉、胚芽米粉和糙米粉。色泽参数的测定结果中，黄色 b 值和总色差 ΔE 值越高，亮度 L 值越低，说明鲜糙米米粉产品的色泽品质越差。由此可知，精白米粉的色泽品质最佳，糙米体系的米粉色泽品质略差。不同等级鲜糙米米粉的色泽品质差异性显著，一是因为稻米的黄色素主要是分布在米糠部分，且色素在米糠层和内部胚乳外层组织的分布也不均匀，含量由表皮到内部呈现逐渐减少；二是色素在胚乳的中部和内部分布比较均匀<sup>[33]</sup>。白米粉和 7 分白米粉在色泽比较中表现相近，在鲜糙米米粉制备过程中，色素的溶出和色素由糙米表层迁移到内核的变化可能是导致白米粉和 7 分白米粉色泽差异不显著的原因<sup>[33]</sup>。

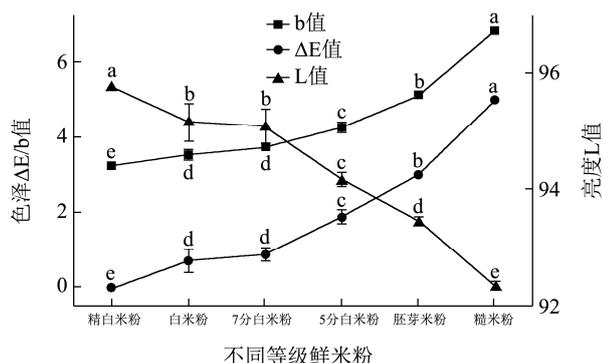


图 4 不同等级鲜糙米米粉的色泽比较

Fig.4 Color comparison of rice flour in different brown rice grades

注：同一列不同小写字母代表样品间存在显著差异性 ( $p < 0.05$ )。

### 2.3.2 不同等级鲜糙米米粉的感官评价比较

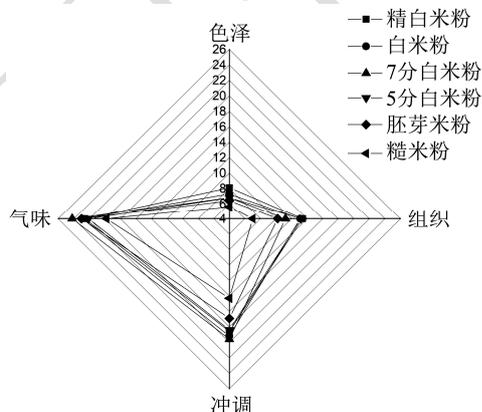


图 5 不同等级鲜糙米米粉的感官评价比较

Fig.5 Comparison of sensory evaluation of rice flour in different brown rice grades

由图 5 可知，整体测评中精米系米粉（精米粉和白米粉）的感官评价结果优于糙米系米粉（7 分白米粉、5 分白米粉、胚芽米粉和糙米粉），主要体现在色泽和冲调前的组织形态等方面。7 分白米粉和 5 分白米粉在气味和冲调品质等方面表现突出，与精米系米粉得分相近，而糙米粉在色泽、气味、组织和冲调等感官评价均处于最低分。

### 3 结论

比较了不同胚芽保留率的精白米粉、白米粉、7 分白米粉、5 分白米粉、胚芽米粉和糙米粉的营养品质和食用品质特性，分析了上述 6 种不同等级鲜糙米米粉的蛋白质、脂肪、维生素、微量元素、直链淀粉、热特性、溶解性和感官品质等的差异性。研究得到，大米加工程度越高，其制备米粉的营养品质越低，食用品质越好。糙米系米粉（7 分白米粉、5 分白米粉、胚芽米粉和糙米粉）在蛋白质、维生素和微量元素等营养品质上表现优于精米系米粉（精白米粉、白米粉），但在感官品质和溶解性等方面还有待改善。其中 5 分白米粉表现最佳，不仅在感官品质方面得分相对其他糙米系最高，而且其溶解性以及流变特性表现也较好，整体表现最接近精米系米粉。所以在满足产品需要的同时，开发糙米米粉具有较好的市场前景。由于糙米粉其含有丰富的蛋白质、脂肪、膳食纤维和微量元素等，成分比精白米和白米复杂，所以表现出了特殊的热特性和流变性，在未来的研究中，其成分间的相互作用关系及机理还需要更加深入的研究去探讨。

### 参考文献

- [1] 吴阳,徐树来,郑雨,等.我国婴幼儿米粉发展现状、存在问题及发展对策[J].食品安全质量检测学报,2014,5(2):607-612  
WU Yang, XU Shu-lai, ZHENG Yu, et al. Development status, problems and countermeasures of the infant rice cereal in China [J]. Journal of Food Safety and Quality Inspection, 2014, 5(2): 607-612
- [2] 王立,段维,钱海峰,等.糙米食品研究现状及发展趋势[J].食品与发酵工业,2016,42(2):236-243  
WANG Li, DUAN Wei, QIAN Hai-feng, et al. Research and development of brown rice products [J]. Food and Fermentation Industries, 2016, 42(2): 236-243
- [3] 高雪燕.留胚米营养成分研究及留胚米产品的开发[D].天津:天津科技大学,2016  
GAO Xue-yan. The study on nutrition of embryo rice and development of embryo rice products [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2016

- [4] 夏瑞雪,魏帅,郭波莉,等.豫北地区小麦籽粒矿质元素含量分析[J].核农学报,2017,31(3):516-523  
XIA Rui-xue, WEI Shuai, GUO Bo-li, et al. Analysis of mineral element content of wheat in northern area of Henan province [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2017, 31(3): 516-523
- [5] 李莎莎,吴娜娜,李兴峰,等.不同品种糙米粉糊化特性比较研究[J].粮油食品科技,2016,24(4):15-18  
LI Sha-sha, WU Na-na, LI Xing-feng, et al. Compare of the paste properties of different varieties of brown rice flour [J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2016, 24(4): 15-18
- [6] 刘洁,张书文,逢晓阳,等.剪切速率、温度及盐离子浓度对稀奶油流变学特性的影响[J].中国乳品工业,2015,43(6):4-6  
LIU Jie, ZHANG Shu-wen, PANG Xiao-yang, et al. Effect of shear rate, temperature and concentration of salt ions on rheological characteristics of fresh cream [J]. Dairy Industry China, 2015, 43(6): 4-6
- [7] 高鹤,易建勇,毕金峰,等.番木瓜真空冷冻联合变温压差膨化干燥工艺优化[J].中国食品学报,2016,16(7):156-163  
GAO He, YI Jian-yong, BI Jin-feng, et al. Optimization of the vacuum freeze combined with explosion puffing drying for papaya [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 16(7): 156-163
- [8] 刘芳宏.婴幼儿营养米粉配方优化及功能评价研究[D].贵州:贵州大学,2018  
LIU Fang-hong. Study on formula optimization and function evaluation of nutritive rice powder for the infant [D]. Guizhou: Guizhou University, 2018
- [9] 王艳,兰向东,陈钊,等.糙米、胚芽米和精白米营养成分分析[J].食品科技,2016,41(11):156-159  
WANG Yan, LAN Xiang-dong, CHEN Zhao, et al. Analysis of nutrition components in brown rice, germinated rice, and polished rice [J]. Food Science and Technology, 2016, 41(11): 156-159
- [10] 郑家宝,刘昆仑,陈复生.碾白度对糙米营养成分的影响研究进展[J].粮食与油脂,2017,30(3):1-4  
ZHENG Jia-bao, LIU Kun-lun, CHEN Fu-sheng. Advances in the influence of milling degree on the nutritive value of brown rice [J]. Grains and Fats, 2017, 30(3): 1-4
- [11] Liu K L, Zheng J B, Chen F S. Relationships between degree of milling and loss of vitamin B, minerals, and change in amino acid composition of brown rice [J]. LWT - Food Science and Technology, 2017, 82: 429-436
- [12] 张晓雷.婴儿配方乳粉中维生素 E 稳定性研究[D].长沙:中南林业科技大学,2012  
ZHANG Xiao-lei. Study on stability of vitamin e in infant formulas [D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2012
- [13] 彭启华.婴幼儿配方奶粉中维生素 B<sub>1</sub> 稳定性研究[D].长沙:中南林业科技大学,2015  
PENG Qi-hua. Study on stability of vitamin B<sub>1</sub> in infant formulas [D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2015
- [14] 郑彦峰.城乡婴幼儿 B 族维生素营养状况及膳食营养素摄入情况分析[D].青岛:青岛大学,2013  
ZHENG Yan-feng. Analysis of B vitamins nutritional status and dietary intake among children aged 0-3 years old in a city and rural area, China [D]. Qingdao: Qingdao University, 2013
- [15] 熊海铮,张宁,孙健,等.水稻留胚米的营养价值、加工技术及产品开发研究进展[J].核农学报,2012,26(7):1031-1036  
XIONG Hai-zheng, ZHANG Ning, SUN Jian, et al. Research progress on nutritional value processing technology and product exploration of embryo-retaining milled rice [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2012, 26(7): 1031-1036
- [16] 梅瑰,苏群燕,张微微,等.锌和微量营养素与儿童智能和生长发育相关性分析[J].中国妇幼保健,2014,29(6):895-896  
MEI Gui, SU Qun-yan, ZHANG Wei-wei, et al. Correlation analysis of zinc and micronutrients with intelligence and growth and development of children [J]. China Maternal and Child Health Care, 2014, 29(6): 895-896
- [17] 王磊.碾磨程度对大米营养成分含量变化的影响研究[D].南昌:南昌大学,2015  
WANG Lei. Effect of rice milling degree on the change of concentration of nutrient components [D]. Nanchang: Nanchang University, 2015
- [18] 王小平.糙米、胚芽米、精白米中多种矿质元素和 B 族维生素含量的比较研究[J].广东微量元素科学,2009,16(12):50-56  
WANG Xiao-ping. Comparison of the contents of some mineral elements and b group vitamins among brown rice, milled rice with embryo and polished rice of the same geographical origin [J]. Guangdong Microelement Science, 2009, 16(12): 50-56
- [19] Zavareze E D R, Storck C R, Castro L A S D, et al. Effect of heat-moisture treatment on rice starch of varying amylose content [J]. Food Chemistry, 2010, 121(2): 358-365
- [20] 李雨露.莲子淀粉老化及脂质抗氧化机理的研究[D].南昌:

- 南昌大学,2015
- LI Yu-lu. Study on the mechanism of retrogradation and lipids inhibit retrogradation of lotus seed starch [D]. Nanchang: Nanchang University, 2015
- [21] 于巍,周坚,徐群英,等.糙米与精米的营养价值与质构特性比较研究[J].食品科学,2010,31(9):95-98
- YU Wei, ZHOU Jian, XU Qun-ying, et al. Comparison on nutritional values and textural properties of brown rice and milled rice [J]. Food Science, 2010, 31(9): 95-98
- [22] Chen X, He X, Fu X, et al. *In vitro*, digestion and physicochemical properties of wheat starch flour modified by heat-moisture treatment [J]. Journal of Cereal Science, 2015, 63: 109-115
- [23] Pancha-Amon S, Uttapap D. Rice starch vs. rice flour: Differences in their properties when modified by heat-moisture treatment [J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 91(1): 85-91
- [24] 余世锋,杨秀春,Menager Lucile,等.直链淀粉、蛋白质及脂类对大米粉热特性的影响[J].食品与发酵工业,2009,35(4): 38-42
- XU Shi-feng, YANG Xiu-qing, Menager Lucile, et al. Effects of amylose, protein and lipid on the thermal properties of rice flour [J]. Food and Fermentation Industries, 2009, 35(4): 38-42
- [25] Kozlov I I, Sia S. Effect of amylose content on gelatinization, retrogradation and pasting properties of flours from different cultivars of Thai rice [J]. Starch-Stärke, 2003, 55(9): 410-415
- [26] Singh N, Singh H, Kaur K, et al. Relationship between the degree of milling, ash distribution pattern and conductivity in brown rice.[J]. Food Chemistry, 2000, 69(2): 147-151
- [27] Meng Y C, Sun M H, Fang S, et al. Effect of sucrose fatty acid esters on pasting, rheological properties and freeze-thaw stability of rice flour [J]. Food Hydrocolloids, 2014, 40(40): 64-70
- [28] 廖卢艳,吴卫国.不同淀粉糊化及凝胶特性与粉条品质的关系[J].农业工程学报,2014,30(15):332-338
- LIAO Lu-yan, WU Wei-guo. Relationship between gelatinization and gel properties of different starch and their noodles [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(15): 332-338
- [29] Lan W, Xie B J, Shi J, et al. Physicochemical properties and structure of starches from Chinese rice cultivars [J]. Food Hydrocolloids, 2010, 24(2): 208-216
- [30] 徐秀,徐琼.婴幼儿口运动发育与进食行为[J].中国儿童保健杂志,2010,18(07):539-542,546
- XU Xiu, XU Qiong. Infant oral motor development and feeding behavior [J]. Chinese Journal of Child Health, 2010, 18(7): 539-542, 546
- [31] Batten G D, Elaine T. Champagne Rice chemistry and technology, third ed. American association of cereal chemists Inc. 2004 St Paul M N, USA 1-891127-34-9 (656pp. US\$ 299 or Euro 229) [J]. Journal of Food Composition & Analysis, 2005, 18(4): 343-344
- [32] Oli P, Ward R, Adhikari B, et al. Colour change in rice during hydration: Effect of hull and bran layers [J]. Journal of Food Engineering, 2016, 173: 49-58
- [33] Lieve Lamberts, Els De Bie, Greet E. Vandeputte, et al. Effect of milling on colour and nutritional properties of rice [J]. Food Chemistry, 2007, 100(4): 1496-1503

---

(上接第 69 页)

- [31] 尤丽佳.转拟南芥八氢番茄红素合成酶基因对生菜植株抗逆性的影响[D].上海:上海师范大学,2012
- YOU Li-jia. Effect of transgenic Arabidopsis phytoene synthase gene on stress resistance of lettuce plants [D]. Shanghai: Shanghai Normal University, 2012
- [32] Fray R G, Wallace A, Fraser P D, et al. Constitutive expression of a fruit phytoene synthase gene in transgenic tomatoes causes dwarfism by redirecting metabolites from the gibberellin pathway [J]. Plant Journal, 1995, 8(5): 693-701
- [33] Scoppettone G G, Rissler P H, Buettner M E, Reproductive longevity and fecundity associated with nonannual spawning in cui-ui [J]. Transactions of the American Fisheries Society, 2000, 129(3): 658-669
- [34] Li Q, Farre G, Naqvi S, et al. Cloning and functional characterization of the maize carotenoid isomerase and  $\beta$ -carotene hydroxylase genes and their regulation during endosperm maturation [J]. Transgenic Research, 2010, 19(6): 1053-1068