

鲜食水稻籽粒成熟过程中多糖组成及抗氧化活性分析

Analysis of composition and antioxidant activity of polysaccharides in immature rice during seed development

李洪亮 李 丹 张 超 张东杰

LI Hong-liang LI Dan ZHANG Chao ZHANG Dong-jie

(黑龙江八一农垦大学食品学院, 黑龙江 大庆 163319)

(College of Food Science, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China)

摘要:以不同成熟时期的鲜食水稻籽粒为原料,采用超声—微波协同萃取法提取多糖,同时利用 HPLC 法分析了多糖的组成,并通过体外抗氧化试验测定其抗氧化活性。试验结果表明,乳熟后期,鲜食水稻中多糖含量最高,达 46.89 mg/g;此时的多糖组分主要为甘露糖、鼠李糖、葡萄糖醛酸、半乳糖醛酸、葡萄糖、半乳糖、木糖、阿拉伯糖和岩藻糖等,而完熟期鲜食水稻的多糖组分中并未检出甘露糖和岩藻糖;通过对不同时期鲜食水稻中多糖的抗氧化能力研究发现,乳熟后期的鲜食水稻籽粒中,多糖对 ABTS⁺ 自由基、DPPH 自由基、羟基自由基、超氧阴离子清除率分别为 86.18%, 56.81%, 75.62%, 41.69%, 均强于其他时期。

关键词:水稻;籽粒;多糖;抗氧化活性

Abstract: In order to determine the change rule of polysaccharides content in fresh rice grains at different mature stages, the polysaccharides were extracted from fresh rice grains at different mature stages by ultrasonic-microwave synergistic extraction method. The composition of polysaccharides was analyzed by HPLC, and the antioxidant activity of polysaccharides was determined by antioxidant test in vitro. The results showed that the content of polysaccharides in fresh rice was the highest at the stage of late milk, up to 46.89 mg/g. Mannose, rhamnose, glucuronic acid, galacturonic acid, glucose, galactose, xylose, arabinose and fucose were the main components of polysaccharides at

this stage, while mannose and fucose were not detected in polysaccharides of fresh rice at full ripening stage. The scavenging effects of polysaccharides on ABTS⁺, DPPH free radical, hydroxyl free radical and superoxide anion in fresh rice grains at later milk stage were 86.18%, 56.81%, 75.62% and 41.69% respectively, which were higher than those at other stages. This study has practical significance for the comprehensive utilization of fresh rice, and can provide reference for the development and utilization of fresh rice in functional food.

Keywords: rice; seeds; polysaccharides; anti-oxidation activity

水稻中含有丰富的营养物质,主要包括淀粉、蛋白质、纤维素、脂类物质等^[1]。鲜食水稻指在乳熟期至成熟期之间收获、利用的水稻,此时水稻籽粒营养素含量与活性最佳,这时采收可以提升水稻的利用价值^[3]。

2013 年,中国的行业专家创造性地提出了基于“全谷物”的“鲜食全谷物”的新概念。“鲜食全谷物”是通过谷物整粒加工进行彻底和即时的冷冻,不需经过破碎、研磨等加工处理,可极大程度保留稻谷天然营养物质和功能成分。但中国开发鲜食全谷物新产品发展进程缓慢,仅局限于传统意义上的鲜食产品例如玉米和豆类。目前有关于水稻鲜食的报道还很少。

近几年各类谷物多糖功效被报道,玉米多糖具有减肥降脂、降血糖,提升免疫力,抗衰老作用等功效^[3-4];大豆多糖对自由基有明显的清除效果,具有抗肿瘤作用,并可以调节血糖、血脂、改善肠道活性、促进营养元素吸收等^[5-6];大麦多糖具有降血糖活性,对羟基自由基有良好的清除效果^[7]。与稻米有关的多糖研究表明,糙米发芽后多糖、米糠多糖均具有较好的抗氧化活性^[8-9];水稻灌浆后 16~24 d 所含生物活性物质最为丰富^[10],但其中发挥重要作用的组分有待深入研究。试验拟以不同成熟时

基金项目:黑龙江省自然科学基金联合指导项目(编号: LH2019C075);黑龙江八一农垦大学三纵三横支持计划(编号:TDJH201906)

作者简介:李洪亮,男,黑龙江八一农垦大学在读硕士研究生。

通信作者:张东杰(1966—),男,黑龙江八一农垦大学教授,博士。

E-mail: byndzdj@126.com

收稿日期:2020-03-18

期的鲜食水稻籽粒为原料,探索鲜食水稻籽粒中多糖的单糖组成与抗氧化能力,为鲜食水稻的加工利用提供参考,并为开发新型水稻产品提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

鲜食水稻:型号龙粳-31,分别采集乳熟(前、中、后)期、蜡熟期与完熟期的水稻样品,采收地点为黑龙江省鹤岗宝泉岭名山农场;

无水乙醇、苯酚:分析纯,辽宁泉瑞试剂有限公司;

硫酸、正丁醇、三氯甲烷:分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;

过硫酸钾、硫酸亚铁、抗坏血酸:分析纯,福晨(天津)化学试剂有限公司;

甲醇、乙腈、1-苯基-3-甲基-5-吡唑啉酮、三氟乙酸:色谱纯,美国 Sigma-Aldrich 公司;

单糖标准品(甘露糖、鼠李糖、葡萄糖醛酸、半乳糖醛酸、葡萄糖、半乳糖、木糖、阿拉伯糖、岩藻糖):美国 Sigma-Aldrich 公司。

1.1.2 主要仪器设备

超声—微波协同萃取/反应仪: CW-2000 型,上海新拓分析仪器科技有限公司;

高效液相色谱仪: Agilent 1260 LC 型,安捷伦科技有限公司;

电子天平: AR323CN 型,奥豪斯仪器(上海)有限公司;

紫外可见分光光度计: TU-1810PC 型,北京普析通用仪器有限责任公司。

1.2 方法

1.2.1 鲜食水稻籽粒多糖提取 参考超声—微波协同萃取法^[11],并稍加修改。将鲜食水稻经 60 °C 烘干至恒重,脱壳,粉碎,过 100 目筛得鲜食水稻干粉,鲜食水稻干粉石油醚回流除脂,以料液比 1:10 (g/mL)加入蒸馏水,在超声波功率 50 W,微波功率 600 W,温度 65 °C 条件下超声—微波萃取 30 min,3 200 r/min 离心 15 min,重复提取 2 次合并上清液。通过 Molish 试验检测所提物成分^[12],酶法除淀粉,用 4 倍体积无水乙醇在 4 °C 下沉淀 12 h,3 200 r/min 离心 15 min,蒸馏水溶解沉淀,Sevage 法除蛋白质,膜法除去小分子物质^[13-14],冷冻干燥 12 h,得鲜食水稻籽粒多糖粉。

1.2.2 鲜食水稻籽粒多糖测定

(1) 配制 6% 苯酚溶液:称取苯酚 100 g,加铝片 0.1 g 和碳酸氢钠 0.05 g,常压蒸馏,收集(180±2) °C 馏分。精密称取该馏分 6 g 于 100 mL 容量瓶中,再加入 94 g 蒸馏水,摇匀后转置于棕色试剂瓶中,即得质量分数为 6% 的

苯酚溶液,将其置于冰箱中备用^[15]。

(2) 标准曲线的绘制:精确称取 105 °C 干燥至恒重的葡萄糖 100 mg 溶解于 100 mL 容量瓶中。摇匀配制成 1 mg/mL 葡萄糖标准溶液,精密量取 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 mL 葡萄糖标准液置于 25 mL 具塞比色管中,各加蒸馏水至 2 mL,分别加入 6% 苯酚试剂 1 mL,摇匀后立刻加入浓硫酸 5 mL,立刻摇匀后静置 30 min。于 490 nm 处测定吸光度。以葡萄糖质量为横坐标、吸光度为纵坐标,绘制得到标准曲线方程^[16-17]。

(3) 鲜食水稻籽粒多糖测定:将提取的样品稀释后按照 1.2.2(2) 的方法进行测定,得到所提样液含糖量。

1.2.3 鲜食水稻籽粒多糖分子组成测定 取 20 mg 鲜食水稻籽粒多糖样品于 10 mL 具塞试管中,加 1 mL 蒸馏水溶解多糖,加入 4 mol/L 三氟乙酸 1 mL,密封,在 110 °C 条件下水解 5 h,冷却后,用甲醇蒸馏 4 次,除去多余的酸,蒸干后取 2 mg 干物质,溶解于 0.3 mol/L NaOH 溶液(200 μL)中,加入 0.5 mol/L PMP—甲醇溶液 200 μL,混匀,70 °C 条件下反应 1 h,加入 0.3 mol/L HCl 溶液(200 μL),混匀,加入 1 mL 氯仿,用力振摇,4 000 r/min 离心 5 min,弃掉氯仿层^[18-19],将上清液过 0.22 μm 微孔滤膜过滤,取 10 μL 滤液准备上样。参照马丽萍^[20]的方法,稍作修改,使用 1260 型高效液相色谱仪,其中 HPLC 条件为: C₁₈ 柱;柱温 30 °C;流动相 A 为 pH 6.7 的 KH₂PO₄—Na₂HPO₄ 溶液(83%),流动相 B 为乙腈(17%);DAD 检测器,波长 245 nm。

1.2.4 鲜食水稻籽粒多糖抗氧化能力测定

(1) ABTS⁺ 自由基清除能力:使用 2.45 mmol/L K₄S₂O₈ 溶液配制 2,2'-联氮-双-3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸(ABTS⁺)溶液,得到 7 mmol/L ABTS⁺ 储备液,将储备液在室温、避光条件下放置 16 h,取适量储备液,用 pH 7.4 PBS(phosphate buffer saline)缓冲液稀释至 734 nm 波长下 OD 值为 0.70±0.02,作为 ABTS⁺ 工作液。将样品稀释得到不同浓度梯度待测液,取 0.5 mL 样品,加入 3.5 mL ABTS⁺ 工作液,均匀混合,避光反应 20 min 后在 734 nm 波长下测定吸光度^[21]。根据式(1)计算得到 ABTS⁺ 自由基清除率。

$$R = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}\right) \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

R——清除率,%;

A₀——空白组吸光度值;

A₁——样品吸光度值;

A₂——对照组吸光度值。

(2) DPPH 自由基清除能力:用无水乙醇配制 0.1 mmol/L 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)溶液于棕色容量瓶中,避光保存。将稀释成不同浓度梯度的样品

分别取 2 mL 于试管中,加入 2 mL DPPH 溶液,混合均匀,避光条件下反应 30 min,于 517 nm 波长下测定吸光度^[22]。根据式(1)计算 DPPH 自由基清除率。

(3) 羟基自由基清除能力:分别配制质量浓度为 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 mg/mL 鲜食水稻籽粒多糖溶液置于不同烧杯中,然后分别加入 9 mmol/L FeSO₄ 溶液 1 mL、9 mmol/L 水杨酸—乙醇溶液 1 mL,最后加入 8.8 mmol/L H₂O₂ 溶液 1 mL 并启动整个反应,37 °C 反应 0.5 h,以蒸馏水为参比,在 510 nm 下测量各浓度的吸光度^[23]。根据式(1)计算羟基自由基清除率。

(4) 超氧阴离子清除能力:取 50 mmol/L Tris-HCl 溶液(pH 8.2)3 mL 于 10 mL 具塞试管中,分别加入 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 mg/mL 样品 2 mL,混匀,在 25 °C 水浴条件下反应 10 min,加入提前在等温度下预热的 30 mmol/L 邻苯三酚溶液 200 μ L,混匀后反应 4 min,加入 0.5 mL 浓盐酸终止反应,在 320 nm 处测量吸光度^[24]。根据式(1)计算超氧阴离子清除率。

1.3 数据分析

试验数据利用 SPSS 分析软件进行处理,差异显著性 $P < 0.05$ 表示有差异统计学意义。各组数据平均值(Mean)均采用:均数 $\pm$ 标准差表示, $n=3$,作为最终参考比较值。

2 结果与分析

2.1 鲜食水稻籽粒多糖含量

将在 5 个不同成熟阶段采集的鲜食水稻样品进行测定,根据葡萄糖标准曲线所得到的回归方程 $y = 0.2845x - 0.0225$ ($R^2 = 0.9989$) 得到各采集时间多糖含量以及变化规律如图 1 所示。随着成熟时间的延长,鲜食水稻籽粒中多糖含量呈先上升后下降的趋势,其中乳熟后期多糖含量最多,达 46.89 mg/g。水稻灌浆初期,籽粒中的多糖组分处于蓄积状态,在乳熟后期多糖含量达到最大值,籽粒逐渐变坚硬,随后多糖逐渐合成淀粉储存于籽粒中,以至于多糖含量降低,成熟后多糖含量变化趋于平稳。

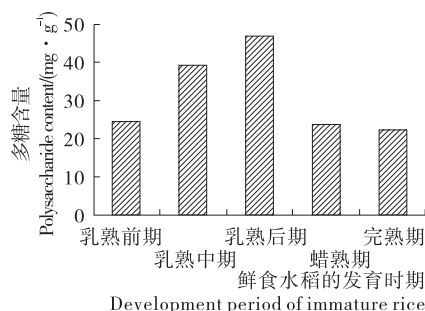


图 1 不同采集时期鲜食水稻籽粒多糖含量

Figure 1 Polysaccharides content of immature rice seeds in different collecting periods

2.2 鲜食水稻籽粒多糖 Molish 试验分析

糖在浓 H₂SO₄ 或浓盐酸的作用下脱水形成糠醛及其衍生物与 α -萘酚作用形成紫红色复合物。如图 2 所示,添加淀粉的 b 管中几乎无颜色变化,与空白相近, c~h 管中均产生颜色反应,结果表明通过超声—微波协同萃取出的物质确为非淀粉多糖。

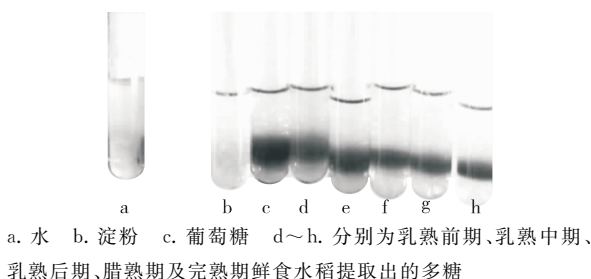


图 2 Molish 法鉴别鲜食水稻籽粒多糖

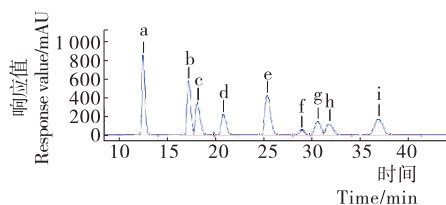
Figure 2 Identification of fresh edible rice seeds polysaccharides by Molish method

2.3 鲜食水稻籽粒多糖结构组成

由图 3 可知,甘露糖、鼠李糖、葡萄糖醛酸、半乳糖醛酸、葡萄糖、半乳糖、木糖、阿拉伯糖、岩藻糖 9 种单糖标准的保留时间分别为 12.495, 17.224, 18.114, 20.827, 25.390, 28.977, 30.627, 31.835, 36.943 min。将不同浓度单糖对照品测定后进行分析得到回归方程如表 1 所示。

由表 1 可以看出,各单糖标准曲线均有较好的拟合度。根据各单糖标准曲线,计算出不同时期的鲜食水稻籽粒中多糖所含的各单糖含量,单糖含量如表 2 所示。

从表 2 可以得出,鲜食水稻籽粒中的多糖,均含有甘露糖、鼠李糖、葡萄糖醛酸、半乳糖醛酸、葡萄糖、半乳糖、木糖、阿拉伯糖和岩藻糖,但在蜡熟期、完熟期这两个时期的鲜食水稻提取出的多糖中,未检测到甘露糖和岩藻糖,其原因可能是水稻在成熟后期甘露糖和岩藻糖不能稳定的存留在籽粒内部导致的。随着鲜食水稻籽粒逐渐成熟,半乳糖含量呈下降趋势,葡萄糖含量相对较多,且呈上升趋势,说明葡萄糖为鲜食水稻籽粒中多糖的主要组成部分。



a. 甘露糖 b. 鼠李糖 c. 葡萄糖醛酸 d. 半乳糖醛酸 e. 葡萄糖 f. 半乳糖 g. 木糖 h. 阿拉伯糖 i. 岩藻糖

图 3 单糖标准品高效液相色谱图

Figure 3 HPLC chromatogram of monosaccharide standard

2.4 鲜食水稻籽粒多糖抗氧化能力

2.4.1 ABTS⁺ 自由基清除能力 由图 4 可知,鲜食水稻籽粒多糖对 ABTS⁺ 自由基有一定清除能力,且呈明显的浓度依赖性;当多糖浓度为 1 mg/mL 时,乳熟后期鲜食水稻籽粒多糖清除率最强,达 86.18%,其活性已趋近于 V_C 的活性,较其他时期存在显著差异(P<0.05)。可见在乳熟后期鲜食水稻籽粒多糖清除 ABTS⁺ 自由基能力更强。有研究^[25-26]表明,小米糠多糖、燕麦多糖对 ABTS⁺ 自由基清除率约为 57.84%,50.62%,均低于试验中乳熟后期鲜食水稻籽粒多糖。

2.4.2 DPPH 自由基清除能力 如图 5 所示,在试验浓度范围内,鲜食水稻籽粒多糖对 DPPH 都有一定的清除

表 1 单糖标准品标准曲线

Table 1 Standard curve of monosaccharide standard

单糖	回归方程	R ²
甘露糖	y=73 752x-119.04	0.999 2
鼠李糖	y=74 126x-33.245	0.999 3
葡萄糖醛酸	y=63 731x-46.10	0.999 6
半乳糖醛酸	y=53 433x-40.12	0.998 4
葡萄糖	y=77 902x-129.73	0.998 6
半乳糖	y=29 830x-33.54	0.999 6
木糖	y=117 449x-225.17	0.998 9
阿拉伯糖	y=32 449x+24.23	0.999 1
岩藻糖	y=56 576x+71.27	0.999 0

表 2 鲜食水稻籽粒多糖的单糖百分含量[†]

Table 2 Monosaccharide percent of polysaccharides in immature rice seeds mg/g

单糖	乳熟前期	乳熟中期	乳熟后期	蜡熟期	完熟期
甘露糖	2.72±0.02 ***	1.78±0.04 ***	1.48±0.03 ***	ND	ND
鼠李糖	1.11±0.01	0.72±0.02	0.84±0.01	1.04±0.04	0.91±0.06
葡萄糖醛酸	1.46±0.21	0.92±0.02	1.02±0.01	1.20±0.03	0.93±0.07
半乳糖醛酸	2.00±0.01 ***	1.46±0.04 ***	1.40±0.02 ***	1.66±0.05 ***	0.96±0.03
葡萄糖	72.86±0.25 ***	82.72±0.06 ***	86.89±0.23 ***	89.80±0.55 **	91.95±0.35
半乳糖	10.99±0.17 ***	5.79±0.08 ***	3.13±0.08 **	2.29±0.07	2.05±0.18
木糖	2.76±0.22 ***	2.02±0.02 ***	1.96±0.05 **	2.03±0.09 *	1.78±0.03
阿拉伯糖	2.64±0.05 ***	2.47±0.02 ***	2.06±0.08 ***	1.98±0.11 **	1.42±0.02
岩藻糖	3.47±0.03 ***	2.12±0.03 ***	1.22±0.05 ***	ND	ND

[†] ND 为未检出;与完熟期相比较,* :P<0.05, ** :P<0.01, *** :P<0.001。

作用,其清除效果与多糖浓度呈正相关。在测定范围内浓度为 1 mg/mL 时,对 DPPH 的清除率最高;乳熟后期鲜食水稻籽粒多糖与其他 4 个成熟阶段的多糖存在差异显著(P<0.05)。虽然与 V_C 相比还存在一定差异,但是与相关研究中大豆多糖(19.19%)^[27]、纳豆多糖(18.33%)^[28]相比还存在一定优势。

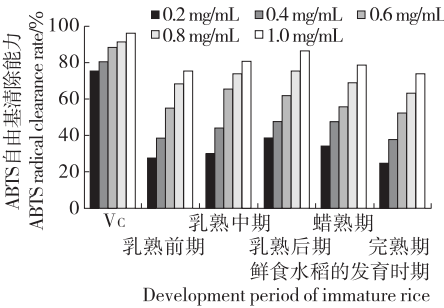


图 4 不同成熟时期鲜食水稻中多糖的 ABTS⁺ 自由基清除能力

Figure 4 ABTS⁺ radical scavenging ability of polysaccharides in immature rice at different developing stages

2.4.3 羟基自由基清除能力 如图 6 所示,乳熟后期鲜食水稻籽粒清除能力均比同一浓度下不同生长阶段的鲜食水稻籽粒多糖的清除能力高,达 75.62%。说明鲜食水稻籽粒在乳熟后期至蜡熟期的生长阶段,其羟自由基清除能力更强。

2.4.4 超氧阴离子清除能力 从图 7 可以看出,V_C 和鲜食水稻籽粒多糖对超氧阴离子都有一定的清除能力;其

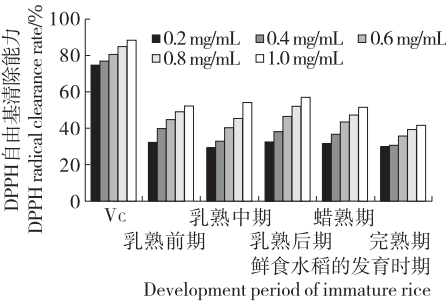


图 5 不同成熟时期多糖的 DPPH 自由基清除能力

Figure 5 DPPH radical scavenging ability of polysaccharides in immature rice seeds at different developing stages

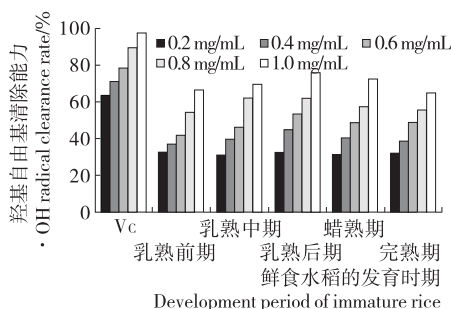


图6 不同成熟时期鲜食水稻籽粒多糖的羟基自由基清除能力

Figure 6 OH radical scavenging ability of polysaccharides on immature rice at different developing stages

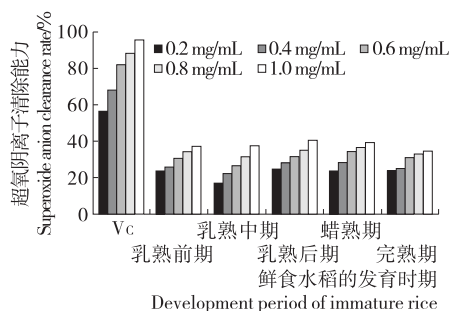


图7 不同成熟时期鲜食水稻籽粒多糖的超氧阴离子清除能力

Figure 7 Superoxide anion scavenging ability of polysaccharides in immature rice at different developing stages

中乳熟后期鲜食水稻籽粒多糖对超氧阴离子的清除率最高,达41.49%,但仍略逊色于Vc的清除能力。有研究^[29]表明,粳米蛋白肽对超氧阴离子的清除能力为42.00%,与试验结果相似。说明试验所获原料同样具有清除超氧阴离子的能力。

3 结论

以不同成熟时期的鲜食水稻籽粒为原料,通过超声—微波协同萃取技术,得到非淀粉多糖,进一步研究了多糖的组成及抗氧化活性。试验结果表明,乳熟后期,鲜食水稻中多糖的含量最高,达46.89 mg/g,而且其组分主要为甘露糖、鼠李糖、葡萄糖醛酸、半乳糖醛酸、葡萄糖、半乳糖、木糖、阿拉伯糖和岩藻糖等,而完熟期鲜食水稻的多糖组分中并未检出甘露糖和岩藻糖;研究发现,乳熟后期的鲜食水稻籽粒多糖对ABTS⁺自由基、DPPH自由基、羟基自由基、超氧阴离子清除率分别为86.18%,56.81%,75.62%,41.69%,均强于其他时期,但与Vc相比仍显逊色。

参考文献

[1] ZHOU Z, ROBARDS K, HELLIWELL S, et al. Composition

and functional properties of rice[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2010, 37(8): 849-868.

[2] 周义, 张新宇, 李丹, 等. 鲜食水稻蛋白质提取工艺优化及结构分析[J]. 中国食品添加剂, 2018(9): 77-83.

[3] 张艳荣, 刘婷婷, 王大为. 玉米活性多糖减肥降脂作用的研究[J]. 食品科学, 2006(5): 227-230.

[4] 张钟, 陈虹, 高红梅, 等. 玉米水溶性多糖对糖尿病大鼠胰岛免疫损伤修复的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(13): 302-305.

[5] 潘利华, 徐学玲, 罗建平. 水溶性大豆多糖的超声辅助酶法提取条件及抗氧化活性[J]. 食品科学, 2012, 33(4): 77-81.

[6] 于培玲. 水溶性大豆多糖的提取、纯化及其结构性质的测定研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2018: 13-15.

[7] 侯圆圆, 杨延超, 徐德平. 不同结构大麦多糖降血糖活性差异的研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(2): 44-47.

[8] 刘晓飞, 宋洁, 王薇, 等. 发芽糙米多糖提取工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 哈尔滨商业大学学报: 自然科学版, 2019, 35(2): 171-175, 180.

[9] 彭彩敏. 米糠多糖的超声降解及抗氧化活性研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2019: 30-32.

[10] 王惠贞. CO₂浓度增高对北方水稻生理代谢影响的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2014: 22-45.

[11] 郭泽锦, 陈竞豪, 贾祥泽, 等. 莲子低聚糖超声波—微波辅助提取工艺优化[J]. 食品与机械, 2018, 34(5): 134-141.

[12] 陈丹. 西南地区胡蜂毒的物质类别定性定量分析及主成分分离纯化[D]. 大理: 大理大学, 2017: 5, 11.

[13] 刘子健, 岳玲. Sevage法纯化紫菜粗多糖的工艺研究[J]. 吉林农业, 2018(11): 54-55.

[14] 汪铎, 官庭辉, 万端极. 灵芝多糖的膜技术除杂浓缩[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(10): 121-123.

[15] 池源, 王丽波. 苯酚—硫酸法测定南瓜籽多糖含量的条件优化[J]. 食品与机械, 2014, 30(1): 89-92.

[16] SAHA S K, BREWER C F. Erratum to "Determination of the concentrations of oligosaccharides, complex type carbohydrates, and glycoproteins using the phenol-sulfuric acid method"[J]. Carbohydrate Research, 2012, DOI: 10.1016/j.carres.2012.02.032.

[17] JEDDOU K B, CHAARI F, MAKTOUF S, et al. Structural, functional, and antioxidant properties of water-soluble polysaccharides from potatoes peels[J]. Food Chemistry, 2016, 205(15): 97-105.

[18] CHEN Yin, MAO Wen-jun, YANG Yu-pin, et al. Structure and antioxidant activity of an extracellular polysaccharide from coral-associated fungus, *Aspergillus versicolor* LCJ-5-4[J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 87(1): 218-226.

[19] 池爱平, 康琛喆, 郭欢欢, 等. 败酱草多糖的组成及抗疲劳与耐缺氧作用[J]. 食品科学, 2014, 35(21): 212-215.

[20] 马丽苹. 银条多糖分离纯化、抗肿瘤和免疫调节活性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012: 64, 73-75.

[21] DING Xiang, HOU Yi-ling, HOU Wan-ru. Structure eluci

(下转第69页)

faecalis); 3 株菌株对色胺、苯乙胺、腐胺、尸胺、组胺、酪胺、亚精胺、精胺均有不同程度的降解能力,其中植物乳杆菌 HM24 的降解能力最优,对色胺、苯乙胺、腐胺、尸胺、组胺、酪胺、亚精胺、精胺的降解率分别为 $(25.90 \pm 2.30)\%$, $(35.75 \pm 2.71)\%$, $(27.61 \pm 3.94)\%$, $(25.91 \pm 3.76)\%$, $(22.54 \pm 2.64)\%$, $(34.55 \pm 1.90)\%$, $39.25 \pm 1.86\%$, $(55.66 \pm 7.08)\%$; 3 株菌株在 10% 的高盐浓度、pH 3.5 的酸性环境到 pH 9.5 的碱性环境条件下仍有存活和生长能力。后续将对其实际应用进行研究^[22-24]。

参考文献

- [1] OHNUMA S, HIGA M, HAMANAKA S, et al. An outbreak of allergy-like food poisoning[J]. Internal medicine, 2001, 40(8): 833-835.
- [2] 王光强, 俞剑葵, 胡健, 等. 食品中生物胺的研究进展[J]. 食品科学, 2016, 37(1): 269-278.
- [3] ÖZOGUL Y, ÖZOGUL F. Biogenic amines formation, toxicity, regulations in food[M]. England: Royal Society of Chemistry publishing, 2019: 1-17.
- [4] 龚景龙. 发酵食品中的生物胺问题及控制对策[J]. 食品界, 2019(8): 57.
- [5] 肖洪, 丁晓雯, 梁苗峪, 等. 发酵食品中的生物胺及其控制研究进展[J]. 食品工业科技, 2012, 33(20): 346-350.
- [6] 景智波, 田建军, 杨明阳, 等. 食品中与生物胺形成相关的微生物菌群及其控制技术进展[J]. 食品科学, 2018, 39(15): 262-268.
- [7] 邓红梅, 卢士玲, 李开雄. 传统中式香肠中产生生物胺氧化酶菌的分离鉴定[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(2): 57-60.
- [8] 吴燕燕, 钱茜茜, 陈玉峰, 等. 咸鱼中生物胺降解菌的筛选与降解特性研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(18): 173-179.
- [9] 郝宇, 孙波, 张宇, 等. 高效液相色谱法测定东北农家酱中的 5 种生物胺[J]. 食品科学, 2019, 40(16): 343-349.
- [10] 曾雪晴, 李洪军, 袁琳娜, 等. 郫县豆瓣酱中生物胺含量和种类分析[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(19): 258-265.
- [11] 王丽芳, 王修俊, 郑君花, 等. 发酵辣椒中一株乳酸菌的分离鉴定及其生长特性的研究[J]. 中国调味品, 2014(6): 67-72.
- [12] 徐鑫, 王茜茜, 王晓蕊, 等. 传统农家大酱中耐盐性乳酸菌的分离与鉴定[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(11): 33-40.
- [13] 方祥, 胡文锋, 张辉华, 等. 乳酸菌的分离、鉴定及其生长特性[J]. 中国微生物学杂志, 2000, 12(5): 262-264.
- [14] 孙霞. 四川香肠中生物胺降解菌的筛选鉴定及其初步应用[D]. 成都: 四川农业大学, 2016: 23.
- [15] 张楠, 杨勇, 李彬彬, 等. 四川自然发酵香肠中组胺降解菌的筛选鉴定及初步应用[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(1): 72-79.
- [16] 刘玉晗, 卢士玲, 陆静, 等. 乳酸菌中生物胺氧化酶菌株的筛选[J]. 现代食品科技, 2016, 32(4): 106-113.
- [17] 张菁. 黄豆酱发酵过程中生物胺形成的影响因素研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2014: 31.
- [18] 毛顺, 黄笠原, 张惠超, 等. 不同条件对两株乳酸菌降解生物胺的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(16): 132-137.
- [19] 杨利昆, 付湘晋, 胡叶碧, 等. 鱼露中生物胺降解菌的筛选及其特性[J]. 食品科学, 2012, 33(11): 158-162.
- [20] FADDA S, VIGNOLO G, OLIVER G. Tyramine degradation and tyramine/histamine production by lactic acid bacteria and Kocuria strains[J]. Biotechnology Letters, 2001, 23(24): 2 015-2 019.
- [21] 张沁芳. 植物乳杆菌组胺分解酶的分离纯化及性质研究[D]. 烟台: 烟台大学, 2018: 4.
- [22] 谢翀. 应用植物乳杆菌降低发酵香肠中生物胺含量的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2015: 45.
- [23] 徐建芬, 毛杰琪, 魏晓璐, 等. 黄酒中不产生生物胺乳酸菌的筛选及应用[J]. 食品与机械, 2017, 33(9): 20-25.
- [24] ALVAREZ M A, MORENO-ARRIBAS M V. The problem of biogenic amines in fermented foods and the use of potential biogenic amine-degrading microorganisms as a solution[J]. Food Science & Technology, 2014, 39(2): 146-155.

(上接第 63 页)

- dation and antioxidant activity of a novel polysaccharide isolated from *Boletus speciosus* Forst[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2012, DOI: 10.1016/j.ijbio-mac.2012.01.021
- [22] OBAID ALDULAIMI A K, ABDUL AZZIZ S S S, BAKRI Y M, et al. Two new isoquinoline alkaloids from the bark of *Alphonsea cylindrica* King and their antioxidant activity[J]. Phytochemistry Letters, 2019, DOI: 10.1016/j.phytol.2018.11.022.
- [23] 刘艳灿, 袁杨, 翁艾慧, 等. 红葱头精油体外抗氧化及抑菌效果研究[J]. 中国食品学报, 2018, 18(11): 246-252.
- [24] 葛雪筠, 周德健, 王斌, 等. 响应面法优化中性蛋白酶提取

苦竹花多糖及多糖性质分析[J]. 食品科学, 2017, 38(14): 193-199.

- [25] 姜龙波, 王雷, 董吉林, 等. 小米糠水溶性非淀粉多糖抗氧化活性研究[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(12): 98-101.
- [26] 刘燕, 罗游, 魏岱岳, 等. 红曲菌固态发酵对燕麦多糖体外抗氧化及抑制淀粉酶活性的影响[J]. 现代食品科技, 2019, 35(5): 95-101, 130.
- [27] 韩晴. 不同来源水溶性大豆多糖功能特性及基本结构的比较研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2019: 22-23.
- [28] 杨文丽, 杨光, 杨波. 纳豆多糖发酵工艺的优化及清除自由基研究[J]. 工业微生物, 2018, 48(6): 39-45.
- [29] 赵佳佳. 3 种大米蛋白肽的制备及其抗氧化活性比较[J]. 食品科技, 2018, 43(12): 191-195.