

不同品种糙米营养品质和理化特性比较

隋勇, 施建斌, 蔡沙, 熊添, 梅新*

(湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 湖北武汉 430068)

摘要: 以7个来源于湖北省的不同品种糙米为原料, 以营养组分含量、阳离子交换能力、胆固醇吸附能力、亚硝酸根吸附能力、淀粉消化特性为评价指标, 研究比较糙米品种间营养品质和理化特性的差异性, 旨在为糙米加工原料选择提供参考。结果表明: 不同品种糙米的粗蛋白、直链淀粉、氨基酸和总酚含量差异较大, 广两优香66的粗蛋白和必需氨基酸含量均最高, 而罗田贡米的直链淀粉和总酚含量最高, 分别为15.90% (m/m) 和196.54 mg GAE/100 g DW。罗田贡米的胆固醇吸附能力和亚硝酸根吸附能力分别为55.05 mg/g 和0.20 mg/g, 均显著高于其它品种糙米 ($P<0.05$), 广两优香66和鄂中5号也展现出较强的阳离子交换能力和亚硝酸根吸附能力; 巨两优60和罗田贡米的快速消化淀粉含量最低, 慢速消化淀粉含量最高, 具有明显延缓淀粉消化的作用。比较筛选出广两优香66 (高蛋白、高赖氨酸) 和罗田贡米 (高总酚、胆固醇和亚硝酸根吸附能力强、延缓淀粉消化作用强) 的高营养和高功能性质的品种。该研究为糙米加工及产品开发提供了数据支撑。

关键词: 糙米; 营养品质; 理化特性; 淀粉消化

文章编号: 1673-9078(2023)06-37-43

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.6.0680

Comparison of Nutritional Quality and Physicochemical Properties of Different Varieties of Brown Rice

SUI Yong, SHI Jianbin, CAI Sha, XIONG Tian, MEI Xin *

(Institute for Farm Products Processing and Nuclear-Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Science, Wuhan 430068, China)

Abstract: Taking seven different varieties of brown rice from Hubei Province as the raw materials, and taking the content of nutrient components, cation exchange capacity, cholesterol adsorption capacity, nitrite adsorption capacity and starch digestion characteristics as the evaluation indicators, this study compared the nutritional quality and physicochemical properties of brown rice varieties, to provide a reference for selecting brown rice raw materials for processing. The results showed that the contents of crude protein, amylose, amino acids and total phenolics of different varieties of brown rice were quite different. Guangliang Youxiang 66 had the highest content of crude protein and essential amino acids, whilst Luotian Gongmi had the highest contents of amylose and total phenolics, which were 15.90% and 196.54 mg GAE/100 g DW, respectively. The cholesterol adsorption capacity and nitrite adsorption capacity of Luotian Gongmi were 55.05 mg/g and 0.20 mg/g, respectively, which were significantly higher than those of other varieties of brown rice ($P<0.05$). Guangliang Youxiang 66 and Ezhong NO.5 also showed strong cation exchange capacity and nitrite adsorption capacity, whilst Juliangyou 60 and Luotian Gongmi had the lowest content of rapidly digestible starch and the highest content slowly digestible starch, exhibiting significant ability to delay starch digestion. Guangliang Youxiang 66 (high protein and lysine contents) and Luotian Gongmi (high total phenolic content, strong cholesterol and nitrite adsorption capacities, and high ability to delay starch digestion) were screened out due to their high nutritional quality and strong functional properties. The

引文格式:

隋勇,施建斌,蔡沙,等.不同品种糙米营养品质和理化特性比较[J].现代食品科技,2023,39(6):37-43.

SUI Yong, SHI Jianbin, CAI Sha, et al. Comparison of nutritional quality and physicochemical properties of different varieties of brown rice [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(6): 37-43.

收稿日期: 2022-05-30

基金项目: 湖北省揭榜制粮食科技项目(2021KJ CX-06); 武汉市知识创新专项曙光计划项目(2022020801020344); 大宗粮油精深加工教育部重点实验室开放课题(2018JYBQGDKFA03)

作者简介: 隋勇(1987-), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向: 粮食加工, E-mail: suiyong0429@foxmail.com

通讯作者: 梅新(1978-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 粮食加工, E-mail: meixin0898@163.com

study provides data support for brown rice processing and associated product development.

Key words: brown rice; nutritional quality; physicochemical properties; starch digestion

随着饮食结构和习惯的改变, 营养健康食品越来越受到居民的青睐。相比于精白谷物食品, 全谷物食品的营养满足了人们的健康需求, 符合谷物食品营养化的趋势^[1]。2022年版《中国居民膳食指南》明确提出成人每天应摄入谷类食物 200~300 g, 其中全谷物和杂豆类 50~150 g。糙米是稻谷经脱壳后不加工或少量加工制成的全谷物, 富含酚类化合物、植物甾醇、谷维素、功能性脂质、生育酚和 γ -氨基丁酸等活性成分^[2,3], 研究表明, 经常食用糙米具有降低炎症、心血管疾病、肥胖、II 型糖尿病和结肠癌等非传染慢性病风险的作用^[4-6]。

我国稻米资源丰富, 品种、区域、种植、自然条件等因素导致其品质存在较大差异。研究表明, 不同品种稻米的营养组成、食味品质、糊化特性、消化特性等存在差异^[7-12], 直接影响稻米的加工与应用。不同品种糙米直链淀粉和蛋白质含量的差异影响了其糊化及挤压膨化特性^[13]。通过对我国粳型和籼型共 24 个不同品种糙米的营养组成和糊化特性进行测定, 发现不同品种糙米蛋白质、直链淀粉、脂肪和氨基酸含量, 以及峰值黏度、最低黏度和最终黏度等指标差异较大, 通过聚类分析可筛选出蛋白质、赖氨酸和游离酚含量高的品种^[14]。Ti 等^[15]比较了中国南方种植的 5 种糙米中多酚组成及抗氧化活性, 结果表明不同品种糙米的总酚含量和清除自由基能力均存在明显差异, 且糙米多酚主要分布在糠层, 含量显著高于精米。对不同品种糙米营养品质和理化特性进行研究, 筛选营养品质较高和功能活性较强的品种, 可为糙米加工及其产品特性研究提供参考依据。

目前已有相关研究主要通过测定不同品种糙米淀粉和蛋白质等组分含量, 并建立与糊化特性、加工品质之间的相关性, 但对糙米胆固醇吸附能力、消化特性等功能特性评价及与营养组成关系研究相对较少。基于此, 本研究以 7 个湖北省主产和特色糙米品种为研究对象, 通过测定其淀粉、直链淀粉、蛋白质、脂肪、氨基酸、总酚等营养组成, 以及胆固醇吸附能力、亚硝酸根吸附能力、消化特性等理化性质, 分析糙米理化性质与营养组成的关系, 以期为糙米适宜性加工提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

7 个湖北省主产和特色糙米品种由湖北省农业科学院粮食作物研究所提供, 糙米名称及类型如表 1 所示。糙米原料均为晚稻品种, 种植时间为 2020 年 6 月中旬, 由于种植试验区和田间管理水平不同, 7 个品种糙米的生长条件存在差异。水稻成熟收获后, 经砻谷得到糙米, 糙米经磨粉机进行粉碎, 过 80 目筛, 4 °C 保存备用。

表 1 糙米的品种与类型

Table 1 Varieties of brown rice samples

品种	类型
广两优香 66	籼型两系杂交水稻
兆优 5431	籼型三系杂交水稻
鄂中 5 号	籼型常规水稻
巨两优 60	籼型三系杂交水稻
Y 两优 900	籼型两系杂交水稻
中浙优 8 号	籼型三系杂交水稻
罗田贡米	籼型常规水稻

α -淀粉酶、淀粉葡萄糖苷酶、胰蛋白酶, 美国 Sigma 公司; 直链淀粉试剂盒, 爱尔兰 Megazyme 公司; DNS 试剂, 上海源叶生物科技有限公司; 无水乙醇、氢氧化钠、硫酸铜、硫酸锌、酒石酸钾钠、乙酸锌、硫酸、葡萄糖、胆固醇、亚硝酸钠等分析纯试剂, 国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

722N 可见分光光度计, 上海仪电分析仪器有限公司; LXJ-IIB 离心机, 上海安亭科学仪器厂; SHA-B 恒温水浴振荡器, 国华仪器制造有限公司; K9840 自动凯氏定氮仪, 济南海能仪器股份有限公司; FG2 便携式 pH 计, 梅特勒-托利多仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 糙米营养成分测定

水分含量测定参照 GB 5009.3-2016, 采用直接干燥法; 灰分含量测定参照 GB 5009.4-2016, 采用灼烧法; 淀粉含量测定参照 GB 5009.9-2016, 采用酸水解法; 粗蛋白含量测定参照 GB 5009.5-2016, 采用凯氏定氮法; 粗脂肪含量测定参照 GB 5009.6-2016, 采用索氏抽提法; 直链淀粉含量测定参照 Megazyme 试剂盒方法; 氨基酸含量测定参照 GB 5009.124-2016。

1.3.2 糙米多酚含量测定

参考 Zhao 等^[16]的方法, 并做适当修改。将 2.0 g

糙米样品与 30 mL 酸化甲醇溶液($\varphi=95\%$ 甲醇:1 mol/L HCl=90:10)混合,然后在恒温振荡器中振动 1 h,离心 10 min (4 °C, 8 000 r/min),重复提取两次,合并上清液,即为游离酚提取液;收集游离多酚提取后的残渣,加入 20 mL 4 mol/L NaOH,摇床振荡水解 2 h,然后用浓盐酸调整水解产物的 pH 值 2,离心,将上清液用乙酸乙酯萃取 5 次,合并上清液,即为结合酚提取液。

多酚含量测定采用 Folin-Ciocalteu 比色法^[17],结果以每 100 g 糙米干重样品没食子酸当量 (mg GAE/100 g DW) 表示。

1.3.3 糙米阳离子交换能力测定

参照苗宇叶等^[18]的方法,并做适当修改。称取 0.5 g 样品于离心管中,加入 20 mL 0.1 mol/L HCl,磁力搅拌 12 h 后再浸泡 12 h,然后加入 20 mL 0.3 mol/L NaCl 溶液,4 000 r/min 离心 5 min,弃上清,加 20 mL 蒸馏水,重复离心操作,洗到不含氯离子为止(用 10% 硝酸银溶液滴定无白色沉淀),磁力搅拌 30 min,使用 0.01 mol/L NaOH 溶液滴定,以酚酞做指示剂,滴定终点记录消耗 NaOH 体积,按式(1)计算糙米阳离子交换能力:

$$CEC = \frac{C \times V}{m} \quad (1)$$

式中:

CEC—阳离子交换能力, mmol/g;

C—NaOH 溶液浓度, mol/L;

V—滴定消耗 NaOH 溶液体积, mL;

m—糙米样品质量, g。

1.3.4 糙米胆固醇吸附能力测定

参照施建斌等^[19]的方法,并做适当修改。取适量新鲜鸡蛋黄,用去离子水充分打成乳液备用,称取 2.0 g 糙米样品于离心管中,加入 20 g 蛋黄液,37 °C 磁力搅拌 2 h,然后 4 000 r/min 离心 20 min,取 1 mL 上清,用冰醋酸稀释至 5 mL,取 0.1 mL 加 0.4 mL 冰醋酸摇匀,加入 0.5 mL 邻苯二甲醛溶液,混匀,550 nm 波长处测定吸光值。采用上述方法绘制胆固醇标准曲线,对照标准曲线得到吸附前后胆固醇含量,按式(2)计算糙米的胆固醇吸附能力:

$$CAC = \frac{m_1 - m_2}{m} \quad (2)$$

式中:

CAC—胆固醇吸附能力, mg/g;

m_1 —吸附前胆固醇质量, mg;

m_2 —吸附后胆固醇质量, mg;

m—糙米样品质量, g。

1.3.5 糙米亚硝酸根吸附能力测定

参照苗宇叶等^[18]的方法,并做适当修改。准确称取 2.0 g 糙米样品于离心管中,加入 20 mL 亚硝酸钠标准溶液,搅拌均匀,于 37 °C 磁力搅拌 2 h,于 3 500 r/min 下离心 20 min,吸取 2 mL 上清液,加入 2 mL 对氨基苯甲酸溶液,混匀,静置 3~5 min 后各加入 1 mL 盐酸萘乙二胺溶液,混匀后避光静置 15 min,538 nm 波长测定吸光值。采用上述方法绘制亚硝酸根标准曲线,对照标准曲线得到吸附前后亚硝酸根含量,按式(3)计算糙米的亚硝酸根吸附能力:

$$NAC = \frac{m_1 - m_2}{m} \quad (3)$$

式中:

NAC—亚硝酸根吸附能力, mg/g;

m_1 —吸附前亚硝酸根质量, mg;

m_2 —吸附后亚硝酸根质量, mg;

m—糙米样品质量, g。

1.3.6 糙米淀粉消化特性测定

参照 Lv 等^[20]的方法,称取 0.5 g 样品于离心管中,加入 0.1 mol/L 的醋酸钠缓冲液 15 mL,沸水浴糊化 40 min,待样品冷却至室温后,加入 10 mL、280 U/mL 的 α -淀粉酶溶液和 1 mL、2 500 U/mL 的糖化酶溶液。置于 37 °C 水浴振荡 120 min。分别在 0、20 和 120 min 取样液 0.5 mL,加入 4 mL $\varphi=95\%$ 乙醇灭酶,6 000 r/min 离心 10 min,取 0.4 mL 上清液于比色管,加入 0.6 mL DNS 试剂,沸水浴 5 min,冷却后加水定容至 10 mL,540 nm 下比色,测定吸光值。对照葡萄糖标准曲线计算消化液中葡萄糖含量,快速消化淀粉(RDS)、慢速消化淀粉(SDS)和抗性淀粉(RS)含量按式(4)~(6)计算:

$$RDS = \frac{(G_{20} - G_0) \times 0.9}{TS} \times 100\% \quad (4)$$

$$SDS = \frac{(G_{120} - G_{20}) \times 0.9}{TS} \times 100\% \quad (5)$$

$$RS = (1 - RDS\% - SDS\%) \times 100\% \quad (6)$$

式中:

RDS—快速消化淀粉含量, %;

SDS—慢速消化淀粉含量, %;

RS—抗性淀粉含量, %;

G_0 —糙米酶解消化前游离葡萄糖质量, mg;

G_{20} —糙米酶解消化 20 min 产生葡萄糖质量, mg;

G_{120} —糙米酶解消化 120 min 产生葡萄糖质量, mg;

TS—糙米中总淀粉质量, mg。

1.3.7 数据处理与统计分析

试验数据采用 SPSS 16.0 软件进行统计分析,结

果以平均值±标准差表示,通过一元方差分析(One-way ANOVA)进行多个组间平均数的比较,如果组间存在显著性差异($P<0.05$),则采用Duncan检验进行组间多重比较。

2 结果与讨论

2.1 不同品种糙米的营养品质

不同品种糙米的基本营养品质如表2所示,7种糙米的水分含量为8.60%~12.64%,灰分含量为1.41%~1.61%,品种之间差异不大;不同品种糙米粗蛋白和粗脂肪含量差异明显,其含量分别在7.59%~10.38%和0.83%~3.41%之间,广两优香66和鄂中5

号的粗蛋白含量较高,罗田贡米和兆优5431的粗蛋白含量较低,而罗田贡米的粗脂肪含量最高,广两优香66的粗脂肪含量最低;糙米的总淀粉含量为70.72%~75.71%,品种间没有太大差异性,鄂中5号的总淀粉含量最高,为75.71%,而其直链淀粉含量最低,仅为12.92%,显著低于其它品种($P<0.05$),罗田贡米的直链淀粉含量最高,为15.90%。叶玲旭等^[14]比较了全国24个糙米的营养品质,灰分和总淀粉含量品种间差距较小,粗蛋白、粗脂肪和直链淀粉含量品种间差异较大;李莎莎等^[21]比较了5种直链淀粉含量差异较大的糙米粉营养组成,总淀粉、直链淀粉、粗蛋白和粗脂肪的含量分别为77%~82%、15%~22%、8%~11%和2.38%~3.00%,本研究与上述文献结果基本一致。

表2 不同品种糙米的基本营养品质

Table 2 The nutritional qualities of different brown rice

糙米品种	水分/%	灰分/%	粗蛋白/%	粗脂肪/%	总淀粉/%	直链淀粉/%
广两优香66	12.09±0.05 ^b	1.51±0.00 ^c	10.38±0.09 ^a	0.83±0.04 ^d	73.95±1.81 ^a	14.91±0.15 ^{bc}
兆优5431	11.80±0.03 ^c	1.57±0.01 ^b	7.89±0.12 ^d	2.28±0.19 ^b	71.29±1.45 ^b	14.22±0.28 ^{ab}
鄂中5号	12.64±0.04 ^a	1.41±0.02 ^c	9.74±0.19 ^b	1.68±0.21 ^c	75.71±1.21 ^a	12.92±0.53 ^a
巨两优60	11.67±0.07 ^c	1.53±0.01 ^c	8.91±0.10 ^c	2.03±0.22 ^b	75.32±1.66 ^a	14.84±0.73 ^{bc}
Y两优900	11.82±0.24 ^c	1.61±0.01 ^a	8.88±0.10 ^c	1.69±0.09 ^c	71.71±1.16 ^b	14.45±0.82 ^{bc}
中浙优8号	11.77±0.04 ^c	1.47±0.01 ^d	8.95±0.02 ^c	1.56±0.16 ^c	70.72±0.60 ^b	15.53±1.38 ^{bc}
罗田贡米	8.60±0.22 ^d	1.54±0.04 ^c	7.59±0.13 ^e	3.41±0.17 ^a	74.04±0.88 ^{ab}	15.90±0.91 ^c

注:每一列值后的不同字母表示有显著性差异($P<0.05$)。

表3 不同品种糙米的氨基酸组成及含量

Table 3 The compositions and contents of amino acids in different brown rice

氨基酸组成/%	广两优香66	兆优5431	鄂中5号	巨两优60	Y两优900	中浙优8号	罗田贡米
必需							
赖氨酸	0.33±0.01 ^c	0.28±0.01 ^a	0.28±0.01 ^a	0.30±0.01 ^b	0.31±0.01 ^b	0.31±0.01 ^b	0.29±0.01 ^a
苏氨酸	0.32±0.01 ^e	0.25±0.01 ^a	0.27±0.02 ^b	0.29±0.01 ^{bc}	0.31±0.01 ^{de}	0.30±0.01 ^{cd}	0.27±0.01 ^{ab}
蛋氨酸	0.06±0.01 ^a	0.08±0.01 ^a	0.06±0.01 ^a	0.08±0.01 ^a	0.12±0.02 ^b	0.07±0.01 ^a	0.11±0.02 ^b
亮氨酸	0.69±0.02 ^c	0.51±0.01 ^a	0.60±0.03 ^b	0.59±0.02 ^b	0.68±0.01 ^c	0.61±0.02 ^b	0.59±0.02 ^b
异亮氨酸	0.31±0.01 ^d	0.21±0.01 ^a	0.27±0.01 ^c	0.25±0.01 ^{bc}	0.26±0.01 ^{bc}	0.25±0.01 ^b	0.22±0.01 ^a
苯丙氨酸	0.50±0.02 ^c	0.39±0.02 ^a	0.43±0.02 ^{ab}	0.43±0.03 ^{ab}	0.44±0.01 ^b	0.48±0.02 ^c	0.41±0.03 ^{ab}
缬氨酸	0.49±0.02 ^c	0.34±0.00 ^a	0.42±0.02 ^b	0.40±0.01 ^b	0.41±0.01 ^b	0.40±0.01 ^b	0.34±0.01 ^a
半必需							
精氨酸	0.67±0.02 ^d	0.50±0.02 ^a	0.52±0.02 ^a	0.56±0.02 ^b	0.64±0.02 ^{cd}	0.61±0.02 ^c	0.56±0.02 ^b
半胱氨酸	0.18±0.01 ^c	0.14±0.02 ^{ab}	0.13±0.01 ^a	0.18±0.02 ^c	0.16±0.01 ^b	0.18±0.01 ^c	0.14±0.02 ^{ab}
甘氨酸	0.39±0.01 ^d	0.30±0.01 ^a	0.32±0.02 ^b	0.34±0.01 ^c	0.38±0.01 ^d	0.35±0.01 ^c	0.34±0.01 ^c
丝氨酸	0.42±0.01 ^e	0.33±0.01 ^a	0.36±0.02 ^b	0.38±0.01 ^c	0.44±0.01 ^f	0.40±0.01 ^{de}	0.39±0.02 ^{cd}
酪氨酸	0.27±0.01 ^c	0.20±0.02 ^a	0.18±0.01 ^a	0.23±0.01 ^b	0.27±0.03 ^c	0.26±0.01 ^c	0.24±0.02 ^{bc}
非必要							
谷氨酸	1.50±0.04 ^d	1.09±0.02 ^a	1.27±0.06 ^{bc}	1.27±0.04 ^{bc}	1.49±0.03 ^d	1.33±0.03 ^c	1.23±0.04 ^b
组氨酸	0.23±0.01 ^d	0.18±0.01 ^a	0.19±0.01 ^a	0.20±0.01 ^{bc}	0.20±0.01 ^{bc}	0.21±0.00 ^c	0.19±0.01 ^{ab}
天冬氨酸	0.76±0.02 ^d	0.61±0.02 ^a	0.64±0.03 ^{ab}	0.67±0.02 ^{bc}	0.76±0.01 ^d	0.70±0.02 ^c	0.67±0.02 ^{bc}
丙氨酸	0.51±0.03 ^c	0.39±0.04 ^a	0.45±0.02 ^b	0.49±0.01 ^c	0.49±0.01 ^c	0.50±0.01 ^c	0.44±0.02 ^b
脯氨酸	0.39±0.05 ^b	0.29±0.04 ^a	0.28±0.00 ^a	0.33±0.05 ^{ab}	0.39±0.07 ^b	0.35±0.05 ^{ab}	0.34±0.05 ^{ab}

注:每一行值后的不同字母表示有显著性差异($P<0.05$)。

2.2 不同品种糙米的氨基酸组成

不同品种糙米的氨基酸组成及含量如表 3 所示,糙米中共检出 17 种氨基酸,组成丰富,含量较高的是谷氨酸、天冬氨酸、亮氨酸等,含量较低的是蛋氨酸、半胱氨酸、组氨酸等,与文献报道一致^[22]。赖氨酸是谷物的第一限制性氨基酸,稻米中赖氨酸含量明显高于小麦、玉米、高粱等谷物^[4]。无论是必需氨基酸,还是半必需和非必需氨基酸,广两优香 66 大都显著高于其它品种糙米 ($P<0.05$),而罗田贡米各种氨基酸含量大都最低。广两优香 66 中赖氨酸含量达到 0.33%,显著高于其它品种糙米 ($P<0.05$),Y 两优 900 和中浙优 8 号中赖氨酸含量也相对较高。刘昆仑等^[23]比较了糙米及对应精白米的氨基酸组成,糙米中必需氨基酸和非必需氨基酸的含量均显著高于精白米,其中白米的中限制性氨基酸半胱氨酸、蛋氨酸和赖氨酸的含量分别为 0.04%、0.14% 和 0.26%,而在糙米中的含量分别为 0.05%、0.17% 和 0.35%,本研究与上述文献结果基本一致。

2.3 不同品种糙米的总酚含量

不同品种糙米的游离酚、结合酚和总酚含量如表 4 所示。结果表明,7 个品种糙米游离酚含量在 63.15~116.92 mg GAE/100 g DW 之间,结合酚在 5.77~79.62 mg GAE/100 g DW 之间,结合酚含量占总酚含量的 6.25%~41.86%。罗田贡米的总酚含量显著高于其他品种 ($P<0.05$),为其他品种的 1.49~2.13 倍。Gao 等^[24]比较了 4 种糙米的多酚含量,游离酚、结合酚和总酚含量分别为 83.1~95.9、142.6~180.2 和 237.9~264.0 mg GAE/100 g DW,游离酚含量与本研究基本一致,但结合酚含量明显高于本研究结果,而 Ti 等^[15]研究显示糙米中米糠和精米总酚都是以游离酚为主,

结合酚仅占总酚的 10.8%~59.7%,本研究中巨两优 60 结合酚含量显著低于其他品种,这些差异主要由于糙米种类及生长条件不同导致。糙米多酚作为一种天然抗氧化剂,是糙米发挥降糖、降脂、改善心血管疾病等生理功效的主要成分^[25,26],游离酚由于更高的生物利用率和更好的活性而广受关注,事实上糙米结合酚也具有抗氧化和改善肠道菌群活性^[27],能够激活胰岛素信号通路发挥降糖作用^[28]。因此,研究不同品种糙米多酚含量与组成,可为糙米功能特性的研究提供参考。

2.4 不同品种糙米的功能特性

不同品种糙米的功能特性如表 5 所示,阳离子交换能力最高的是鄂中 5 号和 Y 两优 900,分别达到 1.11 mmol/g 和 1.10 mmol/g,显著大于其它品种糙米 ($P<0.05$),而巨两优 60 的阳离子交换能力最小,仅为 0.63 mmol/g;罗田贡米的胆固醇吸附能力最大,达到 55.05 mg/g,其次是巨两优 60,二者显著大于其它品种糙米 ($P<0.05$),其它糙米间无显著差异 ($P>0.05$);罗田贡米的亚硝酸根吸附能力也最大,达到 0.20 mg/g,显著高于其它品种糙米 ($P<0.05$),广两优香 66、鄂中 5 号和巨两优 60 亚硝酸根吸附能力也较强。研究表明,天然产物对亚硝酸盐和胆固醇的吸附能力与其多酚含量呈正相关^[29,30]。全谷物阳离子交换能力不仅与膳食纤维中的羧基、羟基等活性官能团数量有关,而且也受多酚、矿物质等因素的影响^[31],糙米中的结合酚多与膳食纤维通过醚键共价结合^[32],膳食纤维结合的多酚含量越高,阳离子交换和胆固醇吸附能力越强^[33,34]。本研究显示,罗田贡米的胆固醇吸附能力和亚硝酸根吸附能力均最强,广两优香 66 和鄂中 5 号也展现出较强的阳离子交换能力和亚硝酸根吸附能力,这可能与其较高的多酚含量密切相关。

表 4 不同品种糙米的多酚含量

Table 4 The contents of polyphenols in different brown rice

糙米品种	多酚含量/(mg GAE/100 g DW)		
	游离/%	结合/%	总多酚/%
广两优香 66	79.54±1.07 ^{cd} (61.47)	49.87±0.40 ^c (38.53)	129.41±1.14 ^b
兆优 5431	76.90±2.25 ^d (58.14)	55.38±2.80 ^b (41.86)	132.28±3.71 ^b
鄂中 5 号	77.55±2.28 ^d (75.81)	24.74±0.50 ^f (24.19)	102.29±2.04 ^e
巨两优 60	86.54±1.61 ^b (93.75)	5.77±0.61 ^g (6.25)	92.32±1.77 ^f
Y 两优 900	82.29±1.22 ^c (71.96)	32.06±0.38 ^e (28.04)	114.35±1.18 ^c
中浙优 8 号	63.15±0.81 ^e (59.59)	42.82±0.52 ^d (40.41)	105.97±0.84 ^d
罗田贡米	116.92±2.68 ^a (59.49)	79.62±2.30 ^a (40.51)	196.54±2.30 ^a

注: 每一列值后的不同字母表示有显著性差异 ($P<0.05$), 下同; (%) 表示游离酚和结合酚分别占糙米总多酚的比例。

表 5 不同品种糙米的功能特性

Table 5 The functional properties of different brown rice

糙米品种	阳离子交换能力/(mmol/g)	胆固醇吸附能力/(mg/g)	亚硝酸根吸附能力/(mg/g)
广两优香 66	0.97±0.07 ^c	46.67±0.53 ^a	0.14±0.00 ^d
兆优 5431	0.82±0.05 ^b	47.00±1.20 ^a	0.11±0.00 ^b
鄂中 5 号	1.11±0.03 ^d	46.66±0.71 ^a	0.14±0.00 ^c
巨两优 60	0.63±0.06 ^a	51.80±0.09 ^b	0.14±0.00 ^{cd}
Y 两优 900	1.10±0.07 ^d	44.67±0.93 ^a	0.09±0.01 ^a
中浙优 8 号	0.93±0.04 ^c	46.06±2.83 ^a	0.09±0.00 ^a
罗田贡米	0.97±0.06 ^c	55.05±1.40 ^c	0.20±0.00 ^e

2.5 不同品种糙米的消化特性

不同品种糙米的淀粉消化特性如表 6 所示, 7 种糙米的 RDS 和 SDS 含量差异明显 ($P<0.05$), 而 RS 含量无显著差异 ($P>0.05$), 巨两优 60 和罗田贡米的 RDS 含量最低, 分别为 45.15% 和 45.66%, SDS 含量相对较高, 达到 9.87% 和 13.29%, 具有明显延缓淀粉消化的作用, 而兆优 5431、广两优香 66 和鄂中 5 号的 RDS 含量较高, 而 SDS 含量相对较低, 延缓淀粉消化作用效果明显不及罗田贡米和巨两优 60 ($P<0.05$)。吴娜娜等^[35]以 5 种不同直链淀粉含量的糙米为原料制作面包, 比较了其体外消化性质, 结果显示 5 种糙米直链淀粉含量在 15.96%~21.88% 之间, 不同糙米面包淀粉体外消化率和快速消化淀粉含量均随着直链淀粉含量的升高而减低, 表明直链淀粉高的糙米能够更显著的延缓淀粉消化。李欢欢^[36]研究了糙米多酚对大米淀粉体外消化特性的影响, 结果表明不同品种糙米的游离酚和结合酚均能降低快速消化淀粉含量, 降低淀粉的水解指数。本实验中, 罗田贡米的直链淀粉与总酚含量均显著高于其它品种糙米 ($P<0.05$), 巨两优 60 的游离酚含量和直链淀粉也相对较高, 2 种糙米具有更好的延缓淀粉体外消化速率的作用。

表 6 不同品种糙米的淀粉消化特性

Table 6 The starch digestion of different brown rice

糙米品种	RDS/%	SDS/%	RS/%
广两优香 66	50.36±0.52 ^{ab}	4.80±0.72 ^a	44.84±1.22 ^a
兆优 5431	52.04±1.54 ^b	6.47±3.91 ^{ab}	41.50±3.69 ^a
鄂中 5 号	49.70±0.72 ^{ab}	7.13±0.88 ^{ab}	43.18±0.36 ^a
巨两优 60	45.15±3.18 ^a	9.87±0.52 ^{bc}	44.98±0.80 ^a
Y 两优 900	49.60±1.15 ^{ab}	8.08±0.49 ^{ab}	42.32±1.17 ^a
中浙优 8 号	49.50±6.27 ^{ab}	10.00±3.96 ^{bc}	40.51±4.40 ^a
罗田贡米	45.66±1.06 ^a	13.29±1.18 ^c	41.05±0.12 ^a

3 结论

通过对 7 种湖北省主产和特色糙米品种的营养品

质及理化特性进行测定, 分析品质间的差异性, 旨在为糙米加工及产品开发提供数据支撑。结果显示: 广两优香 66 的粗蛋白和必需氨基酸含量均最高, 而罗田贡米的直链淀粉和总酚含量最高; 罗田贡米的胆固醇和亚硝酸根吸附能力均显著高于其它品种糙米 ($P<0.05$), 巨两优 60 和罗田贡米的 RDS 含量最低, SDS 含量最高, 具有明显延缓淀粉消化的作用, 糙米功能特性及抗消化性的发挥, 与其直链淀粉和总酚含量密切相关。研究筛选出广两优香 66 (高蛋白、高赖氨酸) 和罗田贡米 (高总酚、胆固醇和亚硝酸根吸附能力强、延缓淀粉消化作用强) 的高营养和高功能性质的品种, 为糙米加工及其产品特性提供了理论支撑。

参考文献

- [1] 徐明浩, 李洪岩, 王静. 糙米加工方式对品质特性的影响[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(8): 177-184.
- [2] Cho D H, Lim S T. Germinated brown rice and its bio-functional compounds [J]. Food Chemistry, 2016, 196: 259-271.
- [3] Ahmad Mir S, Ahmad Shah M, Bosco S J D, et al. A review on nutritional properties, shelf life, health aspects, and consumption of brown rice in comparison with white rice [J]. Cereal Chemistry, 2020, 97(5): 895-903.
- [4] Gunaratne A, Wu K, Li D, et al. Antioxidant activity and nutritional quality of traditional red-grained rice varieties containing proanthocyanidins [J]. Food Chemistry, 2013, 138(2-3): 1153-1161.
- [5] Callcott E T, Blanchard C L, Snell P, et al. The anti-inflammatory and antioxidant effects of acute consumption of pigmented rice in humans [J]. Food & Function, 2019, 10(12): 8230-8239.
- [6] Reynolds A, Mann J, Cummings J, et al. Carbohydrate quality and human health: a series of systematic reviews and meta-analyses [J]. The Lancet, 2019, 393(10170): 434-445.
- [7] 许砚杰. 稻米品质及淀粉理化特性的影响因素研究[D]. 杭

- 州:浙江大学,2019.
- [8] Sinh C, Mitchell J, Sangeeta P, et al. Effect of germination level on properties of flour paste and cooked brown rice texture of diverse varieties [J]. *Journal of Cereal Science*, 2021, 102: 103345.
- [9] Ma Z H, Wang Y B, Cheng H T, et al. Biochemical composition distribution in different grain layers is associated with the edible quality of rice cultivars [J]. *Food Chemistry*, 2020, 311: 125896.
- [10] Adil Farooq M, Anjum Murtaza M, Muhammad Aadil R, et al. Investigating the structural properties and *in vitro* digestion of rice flours [J]. *Food Science & Nutrition*, 2021, 9(5): 2668-2675.
- [11] 李枝芳,姚轶俊,张磊,等.不同品种大米组分含量与米饭加工品质特性的关系[J]. *食品科学*,2020,41(23):35-41.
- [12] Khatun A, Waters D L E, Liu L. The impact of rice protein on *in vitro* rice starch digestibility [J]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 109: 106072.
- [13] 白晓蓉.不同品种糙米的挤压膨化特性研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2019.
- [14] 叶玲旭,周闲容,马晓军,等.不同品种糙米营养品质与糊化特性分析[J].*中国食品学报*,2018,18(2):280-287.
- [15] Ti H, Li Q, Zhang R, et al. Free and bound phenolic profiles and antioxidant activity of milled fractions of different indica rice varieties cultivated in southern China [J]. *Food Chemistry*, 2014, 159: 166-174.
- [16] Zhao G, Zhang R, Dong L, et al. A comparison of the chemical composition, *in vitro* bioaccessibility and antioxidant activity of phenolic compounds from rice bran and its dietary fibres [J]. *Molecules*, 2018, 23(1): 202.
- [17] Chen Z, Yu L, Wang X, et al. Changes of phenolic profiles and antioxidant activity in canaryseed (*Phalaris canariensis* L.) during germination [J]. *Food Chemistry*, 2016, 194: 608-618.
- [18] 苗宇叶,姚亚亚,刘阳星月,等.超高静压改性麦麸对其功能性质的影响[J].*食品科学*,2019,40(19):164-171.
- [19] 施建斌,隋勇,蔡沙,等.麦麸及麦麸膳食纤维常规粉碎和超微粉碎物化特性比较[J].*现代食品科技*,2021,37(1):150-156.
- [20] Lv Y, Zhang L, Li M, et al. Physicochemical properties and digestibility of potato starch treated by ball milling with tea polyphenols [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2019, 129: 207-213.
- [21] 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.
- [22] 高慢慢,张旭普,白俊岩,等.不同发酵工艺糙米酵素中游离氨基酸、 γ -氨基丁酸及挥发性香气成分分析[J].*食品工业科技*,2019,40(23):36-41.
- [23] 刘昆仑,李央,陈复生.糙米、白米和米糠营养成分分析与评价[J].*河南工业大学学报(自然科学版)*,2016,37(3):7-12.
- [24] Gao Y, Guo X, Liu Y, et al. Comparative assessment of phytochemical profile, antioxidant capacity and anti-proliferative activity in different varieties of brown rice (*Oryza sativa* L.) [J]. *Lwt - Food Science and Technology*, 2018, 96: 19-25.
- [25] Shao Y, Bao J. Polyphenols in whole rice grain: genetic diversity and health benefits [J]. *Food Chemistry*, 2015, 180: 86-97.
- [26] Xiao J, Zhang R, Wu Y, et al. Rice bran phenolic extract protects against alcoholic liver injury in mice by alleviating intestinal microbiota dysbiosis, barrier dysfunction, and liver inflammation mediated by the endotoxin-TLR4-NF- κ B pathway [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2020, 68(44): 1237-1247.
- [27] Zhang B, Zhang Y, Li H, et al. A review on insoluble-bound phenolics in plant-based food matrix and their contribution to human health with future perspectives [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, 105: 347-362.
- [28] Zhang X, Dong L, Jia X, et al. Bound phenolics ensure the antihyperglycemic effect of rice bran dietary fiber in db/db mice via activating the insulin signaling pathway in skeletal muscle and altering gut microbiota [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2020, 68(15): 4387-4398.
- [29] 张灵帮,邵玲,胡隼,等.两种火龙果果皮红色素提取工艺优化及其抗氧化活性[J].*食品工业科技*,2019,40(5):163-169.
- [30] 来思彤,刘金龙,刘俊丽,等.粉碎粒度对苜蓿不同部位茎叶营养物质及功能性质的影响[J].*食品工业科技*,2020,41(2):27-32.
- [31] 王博,姚轶俊,李枝芳,等.超微粉碎对4种杂粮粉理化性质及功能特性的影响[J].*食品科学*,2020,41(19):111-117.
- [32] 赵广河,张瑞芬,苏东晓,等.全谷物酚类物质及其抗氧化活性研究进展[J].*中国食品学报*,2017,17(8):183-196.
- [33] Li S, Li J, Zhu Z, et al. Soluble dietary fiber and polyphenol complex in lotus root: Preparation, interaction and identification [J]. *Food Chemistry*, 2020, 314: 126219.
- [34] 雷丹,李军胜,李书艺,等.莲藕可溶性膳食纤维与多酚复合物的稳定性及脂肪吸附活性研究[J].*中国食品学报*,2022,22(2):31-39.
- [35] 吴娜娜,李莎莎,谭斌,等.糙米直链淀粉含量对其面包质构和体外消化性质的影响[J].*中国粮油学报*,2018,33(4):33-37.
- [36] 李欢欢.糙米多酚对大米淀粉消化特性的影响[D].沈阳:沈阳师范大学,2018.