几种糙米的营养成分及抗氧化活性对比

张文昊[1]，邓媛元[2]，魏振承[2]
（1. 广州市第二中学，广东广州 510530）（2. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所，广东广州 510610）

摘要：本文对比分析了萌芽半糙米、糙米、半糙米和精米共 4 种不同类型稻米的蛋白质、粗脂肪、维生素、矿物质等主要营养成分及其总酚、总黄酮、单体酚等活性物质含量和总抗氧化能力。结果表明，萌芽半糙米的 V_E、总酚、总黄酮、单体酚香豆酸和阿魏酸的含量及总抗氧化能力较糙米高出 40~100%，较半糙米高出 60~130%，较精米高出 120~440%，其中 V_A、VB_1、VB_2 和 V_E 的含量较精米提高 3~15 倍，总酚、总黄酮、香豆酸和阿魏酸含量及总抗氧化能力高于精米 1~4 倍，其蛋白质、粗脂肪、和矿质元素含量均较精米高 30~290%。由此可见，萌芽半糙米是一种营养价值较高的全谷物食品。

关键词：萌芽半糙米；糙米；半糙米；精米；营养成分；抗氧化活性
文章篇号：1673-9078(2013)5-1119-1122

Comparison of Nutrition Composition and Antioxidant Activity of Several Brown Rice

ZHANG Wen-hao[1], DENG Yuan-yuan[2], WEI Zhen-cheng[2]
(1.Guangzhou No.2 High School, Guangzhou 510530, China) (2.Sericultural and Agri-Food Research Institute Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510610, China）

Abstract: The main nutritional components of protein, crude fat, vitamins and minerals were compared and analyzed in four different rices , which were germinated semi-brown rice, brown rice, semin-brown rice and milled rice. Meanwhile, the content and total antioxidant capacity of active components of total phenolics, total flavonoids and monomeric phenolic contents were investigated. The results show that the contents of V_E, total phenolics and flavonoids, coumalic acid and ferulic acid and their total antioxidant capacity of germinated semi-brown rice are 40% to 100% higher than those in brown rice , 60~130 % higher than semi-brown rice and 120~440 % higher than milled rice. The contents of V_A, VB_1, VB_2 和 V_E in germinated semi-brown rice are increased 3 to 15 times than those of milled rice.. And the contents of total phenolics, flavonoids, coumalic acid and ferulic acid and their total antioxidant capacity are 1 to 4 times higher,than those of milled rice. Moreover, the contents of protein, crude fat, and minerals content are 30~290% higher in geminated semi-brown rice than those of milled rice. From those, it can be seen that the geminated semi-brown rice is a kind whole grain food .with high nutrition value.

Key words: germinated semi-brown rice; brown rice; semi-brown rice; milled rice; nutritional value; antioxidant capacity

随着人们生活水平的提高，全谷物糙米因其丰富的营养成分和生理活性物质收到广泛关注。但由于其含有致密的米糠层，造成吸水困难，蒸煮费时，米饭质构和食味品质较差，一直难以直接食用。糙米经过萌芽处理，米糠层中的部分纤维素被酶解，米粒皮层软化，能够在一定程度上改善糙米的蒸煮和食味品质[1,2]。此外，发芽处理还能够使糙米的营养成分增加，生理功能进一步增强[3,4]。事实上通过直接对糙米进行萌芽处理改善其食用品质的效果并不理想，发芽糙米仍然存在吸水困难、蒸煮费时等问题。笔者通过将新鲜糙米进行轻度碾磨，保留其米胚和部分米糠层，制成介于精米和糙米之间的半糙米，再通过萌芽和干燥处理，制备出一种萌芽半糙米。本文对比分析了萌芽半糙米、糙米、半糙米和精米的蛋白质、脂肪、维生素、矿物质等营养成分含量及其总酚、总黄酮、单体酚等活性物质含量和总抗氧化能力，旨在全面评价萌芽半糙米的营养价值，为其开发利用提供依据。

收稿日期：2012-12-28

1 材料与方法

1.1 原料

水稻品种为“粤香占”，广东省农业科学院水稻研究所提供。

1.2 主要仪器设备

UV-1800 型紫外可见分光光度计，日本岛津公司；Agilent 1200 高效液相色谱仪，美国 Agilent 公司；Agilent6890N 气相色谱质谱仪，美国 Agilent 公司；Eyelan-1100 旋转蒸发仪，东京理化器械株式会社；小

型砻谷机，日本 Kett 公司；碾米机，日本 Kett 公司；TA-XT plus 型质构分析仪，英国 Stable MicroSystems 公司；生化培养箱，上海福玛公司；鼓风干燥箱，上海福玛公司；多功能微孔板分析仪，瑞士 Tecan 公司；离心机，德国 Eppendorf 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品的制备

萌芽半糙米的制备工艺流程为：

稻谷→筛选→砻谷→筛选→碾米→浸泡→萌芽→干燥→包装

筛选：将新鲜稻谷过筛、除杂后，选取大小均匀一致的稻谷。砻谷：用砻谷机将稻谷的外壳剥去，将稻壳分离除去，获得糙米。碾米：用碾米机将糙米轻度碾磨 12 s，使糙米糊粉层部分被破坏，但其胚部仍然完整保留，得到半糙米，将糙米碾米 24 s 可获得普通精米。浸泡：将半糙米置于 25 ℃水浴中浸泡 8 h。萌芽：将浸泡过的萌芽半糙米置于发芽床上，在相对湿度 95%，30 ℃生化培养箱内培养 24 h。干燥：将萌芽半糙米在 50 ℃的烘箱中干燥 3 h。包装：将干燥好的萌芽半糙米用塑料袋抽真空包装即得到成品。萌芽糙米的发芽工艺条件基本一致。

1.3.2 稻米营养成分的测定

1.3.2.1 维生素含量测定

V_A、V_E、VB_1、VB_2 的测定分别参照 GB/T 5009.82-2003、GB/T 5009.84-2003、GB/T 5009.85-2003 中的方法。

1.3.2.2 矿物质含量测定

钙、钠、铁、锰、锌的测定分别参照 GB/T5009.92-2003、GB/T5009.91-2003、GB/T5009.90-2003、GB/T5009.14-2003 中的方法。

1.3.2.3 蛋白质含量测定

参照 GB/T5009.5-2003 中的方法。

1.3.2.4 粗脂肪含量测定

参照 GB/T5009.6-2003 中的方法。

1.3.3 酚类物质含量及抗氧化能力的测定

1.3.3.1 酚类物质的提取

参照 Adom 等方法[5]，并稍有改进。上述 4 种类型的稻米粉，经酸性甲醇溶液（95% 甲醇:1 M HCl = 85:15，*V/V*），冰浴均质后离心。沉淀物加入酸化甲醇，重复提取一次，合并两次离心得到的上清液，在 45 ℃ 条件下旋转蒸发至接近无水状态，再用甲醇定容至 10 mL，分装后冻存于-20 ℃ 冰箱，制得酚类物质提取物。重复 3 次。

1.3.3.2 总酚含量的测定

参照 Ayumi 等的方法[6]并稍有改进。上述 4 种类型稻米的酚类提取液，采用福林酚法测定 760 nm 波长下吸光值。不同浓度梯度没食子酸标准品制作标准曲线。总酚含量以干基每 100 g 稻米中所含没食子酸当量(mg gallic acid equivalents/100 g dry weight)表示，简写为 mg GAE/100 g DW。3 次重复。

1.3.3.3 总黄酮含量的测定

总黄酮含量的测定参考 Ayumi 等人的方法[6]并略加改动。上述 4 种类型稻米的酚类提取液采用 $NaNO_2$-$AlCl_3$-NaOH 比色法测定 510 nm 波长下吸光值。不同浓度梯度儿茶素标准品制作标准曲线。总黄酮含量结果以干基每 100 g 稻米中所含的儿茶素当量(mg catechin equivalents/100 g dry weight)表示，简写为 mg CE/100 g DW。重复 3 次。

1.3.3.4 单体酚含量的测定

单体酚类物质含量测定采用高效液相色谱分析法[7]，色谱仪为美国 Agilent 1200 高效液相色谱仪，配有 VWD 紫外检测器，色谱条件为：色谱柱型 ZORBAX SB-C18（4.6 mm×250 mm，5 μm）；流动相 A：乙腈，B：0.4%冰醋酸；流速 1.0 mL/min；柱温 30 ℃；检测波长 280 nm；梯度洗脱程序：0~40 min A 5~25%；40~45 min，A 25~35%；45~50 min A 35~50%。总运行时间为 50 min，后运行时间为 5 min，进样量 20 μL。根据样品保留时间与标准品对照定性，峰面积外标法定量。重复 3 次。

1.3.3.5 总抗氧化能力的测定

总抗氧化能力的测定参照 Adom 等的方法[5]，各提取液的总抗氧化能力指数值(oxygen radical absorbance capacit，ORAC)以干基每 g 稻米中所含 Trolox 当量（μM TE/g DW）表示。重复 3 次。

1.5 数据的分析

利用 SPSS 11.7 和 Excel 2010 软件进行数据统计分析及作图，数据以均值±标准差（Means ± SD）表示。显著水平为 $p < 0.05$。

2 结果与讨论

2.1 主要营养成分含量

从表 1 可见，萌芽半糙米中的蛋白质含量较精米增加了 32.9%。究其原因，其一为萌芽半糙米保留部分米糠层，其中含有较多的米糠蛋白；其二，糙米萌芽初期，可溶性蛋白被降解，随着萌芽时间的延长，蛋白酶开始将不溶性的储藏蛋白水解成可溶性的谷蛋白，同时新的可溶性蛋白（包括各种酶）合成，导致萌芽半糙米中蛋白质含量有所增加[8]。

相对于糙米而言，萌芽半糙米中 VB_2 和 V_E 得到

富集，分别增加了 100%和 39%，其余营养成分略有下降。相对于半糙米而言，萌芽半糙米中蛋白质、粗脂肪、V_A 和 VB_1 略有下降，其余营养成分均有增加。此外，萌芽半糙米的粗脂肪含量较精米增加了 120%。这是因为糙米在萌芽过程中，脂肪酶被激活，脂质的含量发生了变化。此外，糙米米糠层含有大量脂类物质。与精米相比，萌芽半糙米的维生素含量有了很大的提高。VB_1、VB_2、V_E 和 V_A 的含量分别是精米的 4.4 倍、14 倍、16 倍和 5 倍。萌芽半糙米中 Ca、Na、Fe、Mn、Zn 等矿物质元素含量较精米均有不同程度的提高，其中钙的变化最大，提高了 2.96 倍，变化最小的锰亦提高了 0.52 倍。

表 1 4 种稻米的营养成分比较

Table 1 Comparison of nutrition composition of four different rices

营养成分	萌芽半糙米	糙米	半糙米	精米
蛋白质/%	10.12	12.54	10.34	7.62
粗脂肪/%	0.88	1.31	0.92	0.43
维生素 A/(mg/kg)	0.12	0.33	0.23	0.02
维生素 B_1/(mg/kg)	3.12	3.81	3.34	0.73
维生素 B_2/(mg/kg)	2.82	1.41	0.94	0.23
维生素 E/(mg/kg)	12.82	9.24	7.62	0.84
钙/(mg/kg)	341.24	382.19	331.21	86.49
钠/(mg/kg)	86.34	110.12	74.38	55.29
铁/(mg/kg)	16.37	19.27	15.35	8.83
锰/(mg/kg)	14.27	17.36	13.44	9.22
锌/(mg/kg)	12.48	14.17	10.33	7.15

2.2 总酚和总黄酮含量

由表 2 可知，萌芽处理显著提高了稻米的总酚含量（$P<0.05$），4 种稻米总酚含量大小顺序为：萌芽半糙米＞糙米＞半糙米＞精米（$P<0.05$）。其中萌芽半糙米总酚含量相比于精米提高了 196%，相比于糙米提高了 50%。同样，萌芽处理亦显著提高了稻米的总黄酮含量（$P<0.05$），4 种稻米总黄酮含量大小顺序为：萌芽半糙米＞糙米＞半糙米＞精米（$P<0.05$）。萌芽半糙米相比于精米，总黄酮含量增加 218%，相比于糙米提高了 92%。

表 2 4 种稻米的的总酚和总黄酮含量比较

Table 2 Comparison of total phenolics and total flavonoids contents of four different rices

酚类物质含量	萌芽半糙米	糙米	半糙米	精米
总酚/(10^{-2} mg GAE/g DW)	254.92±8.91^d	169.54±7.62^c	142.93±8.22^b	86.12±6.34^a
总黄酮/(10^{-2} mg CE/g DW)	193.34±11.24^d	100.74±8.35^c	85.22±7.52^b	60.75±6.71^a

注：不同小写字母表示在 0.05 水平上存在显著差异。

2.3 主要单体酚含量

萌芽半糙米、糙米、半糙米、精米的单体酚含量见表 3。阿魏酸和香豆酸是稻米中一类具有重要生理活性的酚酸类化合物，萌芽处理显著提高了这两种酚酸含量。4 种稻米香豆酸和阿魏酸含量大小顺序都为：萌芽半糙米＞糙米＞半糙米＞精米。由于酚酸类化合物主要存在于稻米糊粉层，所以其在糙米中含量显著高于半糙米和精米。萌芽半糙米与糙米比较，香豆酸含量提高了 106%，阿魏酸提高了 90%，同精米相比，香豆酸和阿魏酸的含量分别高出 121%和 436%。

表 3 4 种稻米的单体酚含量比较

Table 3 Comparison of monomeric phenolic contents of four different rices

单体酚/(μg/g)	萌芽半糙米	糙米	半糙米	精米
香豆酸	70.53±1.13^c	34.21±0.92^b	32.15±0.84^a	31.96±0.92^a
阿魏酸	236.11±2.25^d	124.14±1.71^c	98.74±1.02^b	44.06±0.82^a

注：不同小写字母表示在 0.05 水平上存在显著差异。

2.4 总抗氧化能力

由图 1 可知，萌芽处理显著提高了稻米的抗氧化能力（$P<0.05$），4 种稻米抗氧化能力指数大小顺序为：萌芽半糙米＞糙米＞半糙米＞精米（$P<0.05$），其中萌芽半糙米的抗氧化能力指数分别是精米的 2.93 倍、糙米的 1.35 倍、半糙米的 1.61 倍。

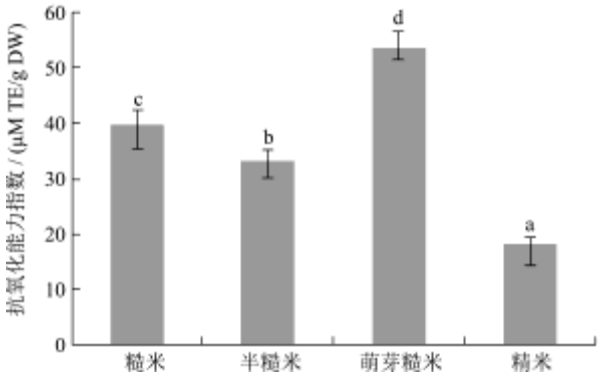


图 1 4 种稻米的总抗氧化能力比较

Fig.1 Comparison of total antioxidant activity of four different rices

3 结论

3.1 通过比较分析 4 种经过不同处理的稻米的蛋白质、脂肪、维生素和矿物质等主要营养成分，发现萌芽半糙米的 V_A、VB_1、VB_2 和 V_E 含量较精米提高 3~15

倍，其蛋白质、脂肪和矿质元素钙、铁和锌含量高于精米 30~290%。这可能是因为半糙米在发芽过程中各种生物活性酶被激活，催化一系列生化反应，释放出了更多的营养成分。这一结果同发芽糙米较糙米的营养特性得到提升的结论基本一致[9,10]。

3.2 发芽的实质是稻谷在一定的生理活化条件下，其所含有的大量内源酶，如淀粉酶、蛋白酶、植酸酶等被激活和释放，并从结合态转化为游离态的酶解过程。正是由于这一生理活化过程，萌芽半糙米的粗纤维外壳被酶解软化，部分蛋白质分解为氨基酸，淀粉转变为糖类，使食物的感官性能和风味得以改善；而且发芽过程中分布于米糠层里的酚类活性物质同时也被释放出来，从而增强其抗氧化活性[11]。

3.3 通过对比分析萌芽半糙米、糙米、半糙米及精米的主要营养成分和酚类物质含量及总抗氧化活性，发现萌芽半糙米由于保留了部分米糠层，并且经过萌芽处理，其维生素和酚类等生物活性物质含量显著提高，其 V_A、VB_1、VB_2 和 V_E 的含量较精米提高 3~15 倍，其总多酚、总黄酮、单体酚含量以及总抗氧化能力高于精米 1~4 倍，其蛋白质、粗脂肪、和矿质元素含量均较精米高 30~290%。此外，萌芽半糙米的 V_E、总多酚、总黄酮、单体酚的含量以及总抗氧化能力亦较糙米高出 40~100%，较半糙米高出 60~130%。由此可见，萌芽半糙米能较好地兼顾糙米的营养价值与蒸煮食味问题。

参考文献

[1] 胡秀娟,刘亚伟,刘洁,等.酶对发芽糙米皮层结构影响的研究[J].粮食与饲料工业,2012,5:30-36

[2] 杨慧萍,李常钰,唐培安,等.发芽对糙米理化特性的影响[J].粮食与饲料工业,2012,5:1-6

[3] Panatda J, Hataichanoke N, Saisamon L, et al. γ- Aminobutyric Acid (GABA) Accumulations in Rice During Germination [J]. Chiang Mai J. Sci, 2010, 37(1): 124-133

[4] 杨明毅,袁红奇,杨春华,等.发芽糙米的生理活性化工艺研究与控制[J].粮油食品科技,2003,5:24-25

[5] Adom K K, Liu R H. Antioxidant activity of grains [J]. Journal of Agricultural Food Chemistry, 2002, 50(21): 6182-6187

[6] Ayumi H, Masatsune M, Seiichi H. Analysis of free and bound phenolics in rice [J]. Food Science and Technology Research, 1999, 5: 74-79

[7] Rao M S, Muralikrishna G. Evaluation of the antioxidant properties of free and bound phenolic acids from native andmalted finger millet [J]. Journal of Agricultural Food Chemistry, 2001, 50(4): 889-892

[8] 曹晓虹,温焕斌,李翠娟,等.糙米发芽过程中蛋白酶活力及含氮物质的变化[J].南京农业大学学报,2010,33(2): 96-10

[9] 顾振新,陈志刚,汪志君,等.糙米与稻谷的萌芽活力期间主要营养物质含量比较[J].中国粮油学报,2004,19(2):8-10

[10] 陈志刚,顾振新,汪志君,等.糙米的营养成分及其在发芽过程中的变化[J].南京农业大学学报,2003,26(3):84-87

[11] Tian S, Nakamura K, Kayahara H. Analysis of Phenolic Compounds in White Rice, Brown Rice, and Germinated Brown Rice [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52: 4808-4813

现代食品科技