

符稳群,王 瑞,郑俊超,等. 亚铁盐对糙米发芽及其抗氧化活性的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(6):169-171.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.06.044

亚铁盐对糙米发芽及其抗氧化活性的影响

符稳群^{1,2}, 王 瑞¹, 郑俊超³, 郑艺梅^{1,2}

(1. 闽南师范大学生物科学与技术学院, 福建漳州 363000;

2. 漳州休闲食品与茶饮料研究所, 福建漳州 363000; 3. 漳州出入境检验检疫局, 福建漳州 363000)

摘要:以漳州龙海糙米为材料,经 0.6 g/L 硫酸亚铁浸泡并发芽后,探讨了硫酸亚铁对糙米发芽率及抗氧化活性的影响。结果表明,与对照组相比,硫酸亚铁处理对糙米发芽率无显著影响($P > 0.05$),但显著增加了发芽糙米中过氧化物酶(peroxidase, POD)、过氧化氢酶(catalase, CAT)和多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)活性($P < 0.05$),降低了超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性。以上结果证实,铁盐处理有利于增强发芽糙米的抗氧化能力。

关键词:发芽糙米;硫酸亚铁;过氧化物酶;多酚氧化酶;抗氧化

中图分类号: TS201.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)06-0169-03

发芽糙米(germinated brown rice, GBR)是在一定温度、湿度下将糙米进行培养,经发芽至一定芽长,所得到的由幼芽和带糠层的胚乳组成的糙米制品。糙米在发芽过程中,糠层纤维被软化,使糙米的蒸煮、口感和消化性都大大改善。此外,糙米内大量酶也被激活和释放,产生多种活性物质,使得发芽糙米具有更多生理功能。研究证实,发芽糙米营养丰富,富含维生素 A、B、E 和矿物元素钾、钠、铁、锌等,其营养价值超过糙米,更胜于精白米^[1-2]。此外,发芽糙米还含有多种促进人体健康和防治疾病的成分,如谷胱甘肽、谷维素、阿魏酸与 γ -氨基丁酸(γ -aminobutyric acid, GABA)^[3]。1996 年,发芽糙米最先在日本实现了商业化,多种发芽糙米食品,如发芽糙米酒、糙米芽酱汁、糙米发芽饮料、发芽糙米药膳、发芽糙米方便食品、糕点等众多系列已经在日本上市销售。在美国、西欧、我国台湾和香港地区,近年来也不断有发芽糙米及其制品上市。我国发芽糙米的研究及应用起步相对较晚,近 10 年来发芽糙米产品的研究与开发迅速升温,但国内实现产业化的糙米产品仍存在数量相对较少、品种单一等问题^[4]。

国外的研究证实,发芽糙米可改善胃肠道环境,提高营养物质的消化吸收效率^[5-7]。随着对发芽糙米重视度的提高,富含微量元素的发芽糙米开发也逐渐兴起。目前,富含钙、硒、锌、铁的发芽糙米已研制出来^[8-13]。其中,富含铁的发芽糙米尤其受到重视。铁是动物必需的微量元素之一,是构成血红蛋白、肌红蛋白、细胞色素酶体系的辅基和过氧化氢酶的组成成分,在组织呼吸与生物氧化过程中起重要作用^[14]。铁也是人体必需的微量营养元素,铁缺乏是全球三大隐性饥饿之首,2002 年的《世界健康报告》指出铁缺乏被列为全球十大可预防的健康危险因素之一^[15]。2002 年中国居民营养与健康

康调查结果显示,我国居民贫血患病率达 20.1%,其中男性为 15.8%,女性为 23.3%^[16]。但目前国内在食品中使用的铁元素主要以无机制剂形态添加,由于这些制剂在贮存中或消化过程中会被酸化,使 Fe^{2+} 变成难吸收的 Fe^{3+} 。因此,开发富含铁等微量元素的发芽糙米制品,对我国稻米加工产业及保障人民身体健康都具有重要意义。前期的试验已证实,0.6 g/L 硫酸亚铁处理发芽糙米后,糙米米色好, GABA 与铁含量均最高。

研究证实,植物体内的抗氧化系统内相关物质的活性对维持细胞正常代谢、提高植物的抗逆性发挥着重要作用^[17-18]。其中,超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)是清除活性氧(reactive oxygen species, ROS)最重要的抗氧化酶类,在植物抗氧化系统中发挥着重要作用^[19]。多酚氧化酶(PPO)是植物体内普遍存在的一种末端氧化还原酶,在有氧条件下,植物中的内源性多酚物质氧化为醌类物质,醌类物质聚合产生黑色素^[20]。这类反应不但影响产品感官性质,而且降低了产品的经济价值。本试验以漳州龙海糙米为材料,采用 0.6 g/L 硫酸亚铁浸泡并促其发芽,探讨研究硫酸亚铁对发芽糙米在不同时间内抗氧化酶活性变化的影响,为具有生物活性的发芽糙米的生产提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

糙米,漳州龙海糙米(福建漳州);硫酸亚铁(食品级);恒温水浴锅,恒温恒湿培养箱(国产),冷冻离心机,电子天平。磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、邻苯二酚、愈创木酚、过氧化氢、核黄素、氮蓝四唑和无水乙醇等试剂均为分析纯,均购自国药集团化学试剂有限公司。

1.2 方法

1.2.1 糙米发芽工艺流程 (1)原料准备:除去杂质及嫩、瘦等成熟度差的糙米颗粒,选取大小均匀一致的糙米粒。用自来水洗去糙米表面灰尘,再用蒸馏水清洗,沥干。(2)浸泡:35℃ 恒温恒湿培养箱中浸泡于 0.6 g/L 硫酸亚铁溶液中。(3)发芽:将吸水胀润的糙米放入 35℃ 恒温恒湿培养箱

收稿日期:2016-01-24

基金项目:福建省自然科学基金(编号:2014J01134);福建省教育厅科技项目(编号:JA12212);福建省大学生创新创业项目(编号:2012101);闽南师范大学教育教学改革项目(编号:JG201209);漳州师范学院新世纪优秀人才支持计划(编号: SX1106)。

作者简介:符稳群(1976—),女,湖南宁乡人,博士,副教授,主要从事食品生物技术方面的研究。E-mail: wenqunfu@126.com。

中进行催芽(相对湿度为 95%)。

1.2.2 糙米发芽率的测定 将 100 g 糙米置于 35 ℃、相对湿度为 95% 的恒温培养箱中浸泡并发芽,分别于 6、12、24、36、48、60、72 h 测定糙米发芽率,观察不同浸泡时间发芽率的变化,每组 3 个重复,每个重复 6 个平行样品。发芽率 = 发芽糙米粒数/总糙米粒数 × 100%。

1.2.3 硫酸亚铁对发芽糙米过氧化物酶的影响 过氧化物酶(POD)采用愈创木酚法测定^[21],以 1 min 470 nm 处吸光度上升 0.01 作为 1 个酶活单位(U),酶活性以 U/(g · min) 表示。超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑(NBT)法测定^[15],利用 SOD 抑制氮蓝四唑在荧光下的还原作用,酶活性以抑制 NBT 还原 50% 为 1 个酶活性单位,用 U/g 表示。过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外分光光度法测定^[14],以 1 min 240 nm 处吸光度变化 0.01 表示 1 个酶活力单位,以 U/(g · min) 表示。

1.2.4 硫酸亚铁对发芽糙米多酚氧化酶(PPO)活性的影响 多酚氧化酶活性测定参照邻苯二酚测定法^[21]。测定 420 nm 处吸光度的变化,以 30 s 420 nm 处吸光度变化 0.001 定义为 1 个酶活性单位。

1.2.5 数据处理 采用 SPSS 17.0 软件对数据进行统计分析,数据处理间差异显著性检验采用 Duncan's 法。采用 Excel 2010 软件对统计的数据作图,所有数据为 3 次以上重复,表示为平均值 ± 标准误差。 $P < 0.05$ 表示差异性显著。

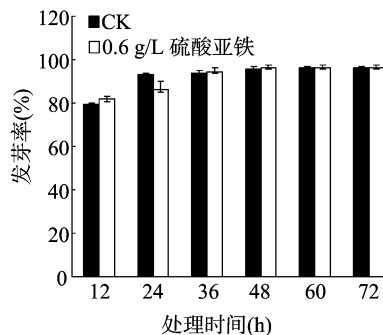


图1 硫酸亚铁对糙米发芽率的影响

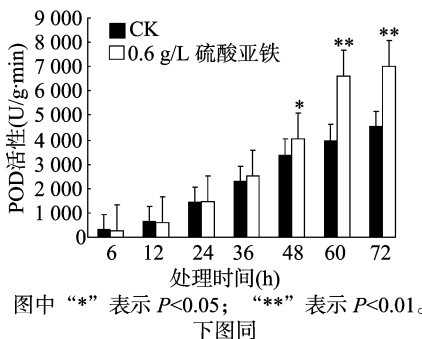


图2 硫酸亚铁对发芽糙米 POD 活性的影响
图中“*”表示 $P < 0.05$; “**”表示 $P < 0.01$ 。

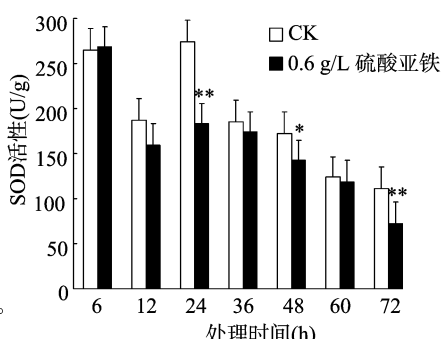


图3 硫酸亚铁对发芽糙米 SOD 活性的影响

对照组,但无显著性差异($P > 0.05$)。硫酸亚铁处理 24、48、72 h 时,糙米 SOD 活性显著或极显著低于对照组。

2.4 硫酸亚铁对发芽糙米过氧化氢酶活性的影响

由图 4 可知,糙米培养 6 ~ 72 h,硫酸亚铁处理组与对照组糙米的 CAT 活性均随着培养时间的延长而逐渐升高。在培养 6、12、48 h 后,硫酸亚铁处理组发芽糙米的 CAT 活性显著低于对照组($P < 0.05$)。在培养 60、72 h 后,硫酸亚铁处理组发芽糙米的 CAT 活性显著高于对照组($P < 0.05$)。

2.5 硫酸亚铁对发芽糙米多酚氧化酶活性的影响

由图 5 可知,硫酸亚铁处理组与对照组 PPO 活性皆随着处理时间的延长而逐渐升高。培养 6、12 h 时,硫酸亚铁处理组的发芽糙米 PPO 活性与对照组之间差异不显著($P > 0.05$)。培养 24 ~ 72 h,硫酸亚铁处理组发芽糙米的 PPO 活性均显著高于对照组($P < 0.05$)。

3 讨论

发芽糙米产品符合我国食品工业营养、卫生、方便的发展

2 结果与分析

2.1 硫酸亚铁溶液对糙米发芽率的影响

在 35 ℃ 条件下,糙米经硫酸亚铁溶液浸泡并发芽,再于 35 ℃ 保湿培养。分别于 12、24、36、48、60、72 h 检测糙米的发芽率。结果如图 1 所示,培养 12 h 时,糙米的发芽率维持在 80% 左右。培养 24 h 检测结果显示,硫酸亚铁处理的糙米发芽率略低于对照组(未经硫酸亚铁处理组),但差异不显著($P > 0.05$)。培养 60 h 后,糙米发芽率均大于 96%,且随培养时间的延长变化较小。总体而言,与对照组相比,硫酸亚铁浸泡的糙米发芽率无明显差异。

2.2 硫酸亚铁对发芽糙米过氧化物酶活性的影响

糙米经 0.6 g/L 硫酸亚铁溶液浸泡并发芽培养 6 ~ 72 h 后,检测过氧化物酶 POD 的活性,结果如图 2 所示,发芽糙米的 POD 活性随着培养时间的延长迅速增强。培养 48 h 前,硫酸亚铁处理组糙米 POD 活性与对照组无显著差异($P > 0.05$)。培养 48 ~ 72 h,硫酸亚铁处理组糙米 POD 活性显著或极显著高于对照组。

2.3 硫酸亚铁对发芽糙米超氧化物歧化酶活性的影响

由图 3 可知,0.6 g/L 硫酸亚铁溶液培养 24 ~ 72 h 后,发芽糙米的 SOD 活性随着培养时间的延长逐渐降低。硫酸亚铁处理 6 h 后,糙米 SOD 活性与对照组无显著性差异($P > 0.05$)。硫酸亚铁处理 12、36、60 h 时,糙米 SOD 活性低于对

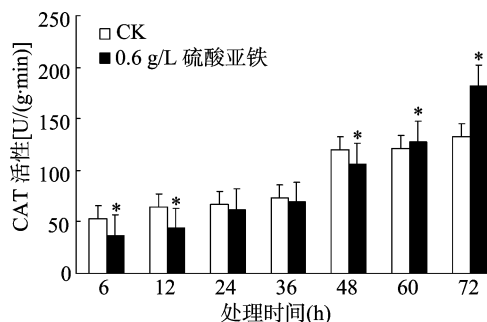


图4 硫酸亚铁对发芽糙米 CAT 活性的影响

趋势,能提高生物利用度和附加值,具有广泛的应用前景^[1-2]。已有研究表明,富集微量元素的发芽糙米使用硫酸亚铁进行发芽时,其浓度不宜超过 1.0 g/L^[13]。本研究中使用 0.6 g/L 硫酸亚铁浸泡糙米并促其发芽,发现糙米发芽率高达 96%。此外,发芽糙米少量褐色,感官品质良好,与江湖等的研究结果^[9-10]相一致。

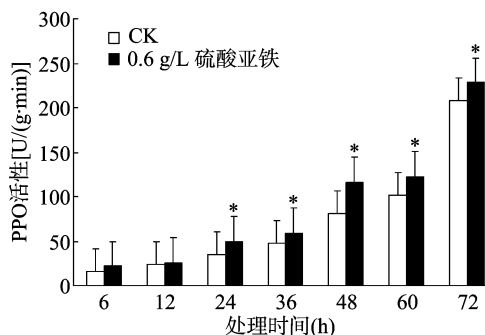


图5 硫酸亚铁对发芽糙米 PPO 活性的影响

抗氧化系统是植物主要的防御体系之一, SOD、POD、CAT 是植物体内活性氧清除系统的 3 种关键酶, 在维持活性氧产生与清除过程中起到关键作用。逆境中高酶活性使植物体内活性氧保持较低水平, 减少其对膜结构的破坏^[22]。SOD 是植物体内活性氧清除系统中的一种重要的防御酶, 可催化超氧阴离子快速歧化成 H_2O_2 和 O_2 , 在减轻脂质过氧化作用和膜伤害方面起重要作用^[23-24]。CAT 是以 H_2O_2 为底物的酶, 分解细胞内的 H_2O_2 , 是抗氧化酶系统的重要组成部分^[25]。POD 能清除胁迫因子诱导产生的活性氧, 是活性氧胁迫下植物体内有毒物质 H_2O_2 的重要清除剂^[26]。国内研究证实, 发芽糙米液化汁清除羟基自由基、超氧阴离子与亚硝酸根离子的能力, 以及还原能力均高于原料糙米液化汁^[27]。本试验结果表明, 0.6 g/L 硫酸亚铁浸泡糙米并发芽, 可显著提高 POD 的活性, CAT 的活性逐渐增强, 而 SOD 活性逐渐降低, 它们相互协作可以控制细胞内活性氧的平衡。在清除活性氧方面 POD 占有优势。

PPO 是动物、植物、真菌体内普遍存在的一类铜结合酶。在有氧条件下, 果蔬原料中的内源性多酚物质氧化为醌类物质, 醌类物质聚合产生黑色素。多酚氧化酶在植物生理方面都有着非常重要的作用^[20]。多酚氧化酶是大部分植物中都存在的含 Cu 元素的氧化还原酶, 参与呼吸末端氧化还原反应, 易催化各种酚类(儿茶酚等)使之氧化成醌, 从而进一步氧化成黑色素^[28]。本研究发现, 硫酸亚铁浸泡的发芽糙米呈褐色, 可能是铁氧化成铁锈色, 也可能是激活发芽糙米中多酚氧化酶加快了变褐的速率。

参考文献:

- [1] 郑连姬, 周令国, 冯 璨, 等. 糙米发芽的制备技术研究[J]. 粮食加工, 2011, 36(1): 21-25.
- [2] 张 珺, 何义雁, 朱香燕, 等. 富含 γ -氨基丁酸的发酵糙米米粉工艺研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(9): 239-242.
- [3] 张 泓, 刘玉芳, 许 杨. 发芽糙米的开发价值[J]. 食品工业科技, 2009, 30(6): 368-370.
- [4] 钟国才, 陈 威, 陈嘉东. 发芽糙米产品开发与应用前景[J]. 粮食与油脂, 2014(3): 7-9.
- [5] Nemoto H, Ikata K, Arimochi H, et al. Effects of fermented brown rice on the intestinal environments in healthy adult[J]. Journal of Medical Investigation, 2011, 58(3/4): 235-245.
- [6] Kataoka K, Kibe R, Kuwahara T, et al. Modifying effects of fermented brown rice on fecal microbiota in rats[J]. Anaerobe, 2007, 13(5/6): 220-227.

- [7] Katayama M, Yoshimi N, Yamada Y, et al. Preventive effect of fermented brown rice and rice bran against colon carcinogenesis in male F344 rats[J]. Oncology Reports, 2002, 9(4): 817-822.
- [8] 何 荣, 李 倩, 刘俊飞, 等. 发芽糙米的富硒及其微波干燥与挤压膨化工艺优化[J]. 食品科学, 2015, 36(6): 82-85.
- [9] 江 湖, 付金衡, 苏 虎, 等. 富钙发芽糙米的生产工艺研究[J]. 食品科学, 2009, 30(16): 83-85.
- [10] 江 湖, 付金衡, 苏 虎, 等. 富硒发芽糙米生产工艺的优化[J]. 食品科学, 2010, 31(4): 90-94.
- [11] 李 涛, 梁建芬, 方 坚, 等. 富锌发芽糙米的研制及其锌的 HCl 提取率的变化研究[J]. 食品科技, 2007, 32(10): 64-67.
- [12] 姜晓坤, 范杰英, 王 昱, 等. 富锌发芽糙米的研制[J]. 吉林农业科学, 2014(3): 94-96.
- [13] 江 湖, 付金衡, 苏 虎, 等. 富铁发芽糙米生产工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(26): 12703-12704.
- [14] 李淑敏. 酵母作为微量元素载体的研究及应用前景[J]. 微生物学通报, 1999, 26(3): 220-222.
- [15] 朴建华, 赖建强, 蒯士安, 等. 中国居民贫血状况研究[J]. 营养学报, 2005, 27(4): 268-271.
- [16] World Health Organization. 2002 年世界健康报告 [EB/OL]. [2016-01-24]. <http://www.who.int/whr/2002/en/index.html>.
- [17] Horemans N, Foyer C H, Asard H. Transport and action of ascorbate at the plant plasma membrane[J]. Trends in Plant Science, 2000, 5(6): 263-267.
- [18] Balestrasse K B, Noriega G O, Batlle A, et al. Involvement of heme oxygenase as antioxidant defense in soybean nodules[J]. Free Radical Research, 2005, 39(2): 145-151.
- [19] 周红卫, 施国新, 陈景耀, 等. 6-BA 对水生抗氧化酶系 Hg^{2+} 毒害的缓解作用[J]. 生态学报, 2003, 23(2): 387-392.
- [20] 刘 芳, 赵金红, 朱明慧, 等. 多酚氧化酶结构及褐变机理研究进展[J]. 食品研究与开发, 2015(6): 113-119.
- [21] 裴 斌, 张光灿, 张淑勇, 等. 土壤干旱胁迫对沙棘叶片光合作用和抗氧化酶活性的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(5): 1386-1396.
- [22] 王 芳, 刘 鹏, 史 锋, 等. 镁对大豆叶片细胞膜透性和保护酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(5): 659-664.
- [23] 杨根平, 高爱丽, 荆家海. 钙与渗透胁迫下大豆细胞透性的关系[J]. 植物生理学报, 1993, 29(3): 179-181.
- [24] Aliaga M E, Sandoval - Acuña C, López - Alarcón C, et al. P86 - Cu(II) - disulfide complexes with superoxide dismutase - and catalase - like activities protect mitochondria and whole cells against oxidative stress[J]. Free Radical Biology & Medicine, 2014, 75(S1): S50.
- [25] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [26] Kim M C, Lee S Y. Peroxidase - like oxidative activity of a manganese - coordinated histidyl bolaamphiphile self - assembly [J]. Nanoscale, 2015, 7(40): 17063-17070.
- [27] 樊秀花, 范志华, 何新益. 糙米发芽前后液化汁抗氧化性比较[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(12): 1-4.
- [28] Sukhonthara S, Kaewka K, Theerakulkait C. Inhibitory effect of rice bran extracts and its phenolic compounds on polyphenol oxidase activity and browning in potato and apple puree[J]. Food Chemistry, 2016, 190: 922-927.