University of Guilan
Faculty of Agricultural Sciences

Cereal Research
Vol. 15, No. 1, Spring 2025 (1-11)
doi: 10.22124/CR.2025.28592.1837
pISSN: 2252-0163 eISSN: 2538-6115

RESEARCH PAPER OPEN ACCESS

Effect of soaking temperature and germination time on minerals and cooking quality of Hashemi brown rice variety

Sobhe Dadashi[1], Mandana Tayefe[2*] and Fatemeh Habibi[3]

1. M. Sc. Graduate, Department of Food Science and Technology, La. C., Islamic Azad University, Lahijan, Iran
2. Assistant Proffesor, Department of Food Science and Technology, La. C., Islamic Azad University, Lahijan, Iran (* Corresponding author: ma.tayefe@iau.ac.ir)
3. Research Assistant Proffesor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran

Comprehensive abstract

Introduction

Brown rice has a higher nutritional value than white rice, but due to its harder texture and longer cooking time, it is often less accepted by consumers. It seems that germination time than white rice effects on textural and nutritional parameters improvement. In this research, in order to improving the nutritional value and cooking quality of brown rice, the germination process was used.

Materials and methods

Rough rice and brown rice samples of Hashemi variety were soaked at temperatures of 30°C and 45°C for 24 and 48 hours for germination. So the samples were dried. In order to check the nutritional value of germinated brown rice samples and germinated peeled paddy (8 samples) and control sample (untreated brown rice), minerals such as iron, copper, zinc and manganese, and the cooking quality included solids loss factors, water absorption ratio, Volume expansion ratio and Alkali digestion were measured in the form of a randomized complete design with three replications. For data statistical analysis, analysis of variance was performed using SPSS software and comparison of means by Duncan test at 5% probability level.

Research findings

The highest amount of grain iron in the rough rice germination process was related to the sample with a soaking temperature of 45°C for 24 hours (65.8 ppm) and the highest concentration of iron in brown rice germination processing belonged to the sample with soaking temperature of 30°C for 24 hours (65.8 ppm). According to the results of this research, germination of brown rice in Hashemi variety had a negative effect on the amount of manganese in the seeds and in the studied samples, manganese was lower than the control sample. The highest concentration of zinc was observed by germinating rough rice at 45°C at 24 and 48 hours (30.8 ppm, 30.29 ppm, respectively). By germinating rough rice, no significant difference was observed in the amount of copper in the grain compared to the control sample. However, the highest amount of copper was found in brown rice germination at 30°C for 48 hours (13.5 ppm), which was significantly different from the control sample. The highest amount of water absorption during cooking was related to the germinated brown rice sample with a soaking temperature of 45°C for 48 hours (3.5 times) and the highest percentage of solids loss belonged to the sample of brown rice germinated at 45°C for soaking temperature of 24 hours with an average of 14.2%. Also, the highest amount of alkali digestion was observed for brown rice sprouted at 45°C for 24 and 48 hours.

Conclusion

The results showed that germination caused to increase mineral elements, especially iron, zinc and cooking quality and reduce cooking time in brown rice. Among the samples, the best conditions for germination in order to increase minerals were observed in brown rice germinated with rough rice raw material at a soaking temperature of 45°C for 24 hours. And the best cooking quality was belong to germinated brown rice with rough rice at soaking time of 48 hours at temperature of 45°C. The lowest cooking time belonged to sprouted brown rice at 45°C. Therefore, by choosing the optimal conditions in the germinating process, it is possible to create a positive effect in increasing the nutritional properties and cooking quality of the desired variety.

Keywords: Alkali digestion score, Iron, Nutritional value, Paddy, Solids lost, Zinc

Received: October 1, 2024 Accepted: March 09, 2025

Cite this article:

Dadashi, S., Tayefe, M., & Habibi, F. (2025). Effect of soaking temperature and germination time on minerals and cooking quality of brown rice, variety Hashemi. *Cereal Research*, *15*(1), 1-11. doi: 10.22124/CR.2025.28592.1837.

تحقیقات غلات
دوره پانزدهم، شماره اول، بهار ۱۴۰۴ (۱۱-۱)
doi: 10.22124/CR.2025.28592.1837

مقاله پژوهشی
دسترسی آزاد

تاثیر دمای آب و مدت زمان جوانه‌دار کردن بر غلظت مواد معدنی و کیفیت پخت برنج قهوه‌ای رقم هاشمی

سبحه داداشی[۱]، ماندانا طایفه[۲*] و فاطمه حبیبی[۳]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران
۲- استادیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاداسلامی، لاهیجان، ایران (* نویسنده مسئول: ma.tayefe@iau.ac.ir)
۳- استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

چکیده جامع

مقدمه: برنج قهوه‌ای ارزش تغذیه‌ای بالاتری نسبت به برنج سفید دارد، ولی به‌سبب داشتن بافت محکم‌تر و طولانی‌تر بودن مدت زمان پخت ان نسبت به برنج سفید، اغلب کم‌تر مورد پذیرش مصرف کننده قرار می‌گیرد. نتایج آزمایش‌های مختلف نشان داده است که جوانه‌زنی با فعال کردن سیستم‌های آنزیمی، باعث بهبود بافت و ویژگی‌های تغذیه‌ای دانه برنج می‌شود. به این ترتیب، در این تحقیق به‌منظور بهبود ارزش تغذیه‌ای و کیفیت پخت برنج قهوه‌ای رقم هاشمی، از فرآیند جوانه‌دارکردن استفاده شد و تأثیر درجه حرارت و مدت زمان جوانه‌دار کردن بر کیفیت تغذیه‌ای و پخت برنج مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: در این آزمایش از نمونه‌های شلتوک و برنج قهوه‌ای رقم هاشمی استفاده شد. برای این منظور، هر دو نمونه جهت جوانه‌دار شدن به‌مدت ۲۴ و ۴۸ ساعت در دو درجه حرارت ۳۰ و ۴۵ درجه سلسیوس خیسانده و پس از طی دوره جوانه‌زنی، خشک شدند. ویژگی‌های اندازه‌گیری شده شامل غلظت مواد معدنی نظیر آهن، مس، روی و منگنز و ویژگی‌های مرتبط با کیفیت پخت شامل میزان مواد جامد از دست رفته، نسبت جذب آب، نسبت انبساط حجمی و نمره هضم قلیا بود که تغییرات آن‌ها در نمونه‌های برنج قهوه‌ای جوانه‌دار شده، برنج قهوه‌ای حاصل از شلتوک جوانه‌دار شده و نمونه شاهد (برنج قهوه‌ای فرآوری نشده) مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با نه تیمار (دو نمونه برنج، دو زمان و دو دما به‌همراه تیمار شاهد) و سه تکرار اجرا شد. برای تجزیه آماری داده‌ها، تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SPSS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد و رسم نمودارها نیز با نرم‌افزار Excel انجام شد.

یافته‌های تحقیق: نتایج این آزمایش نشان داد که بالاترین میزان آهن دانه در فرآوری جوانه‌دار کردن شلتوک، مربوط به تیمار با دمای خیساندن ۴۵ درجه سلسیوس در مدت زمان ۲۴ ساعت (۶۵/۸ ppm) و بالاترین میزان آهن در فرآوری جوانه‌دار کردن برنج قهوه‌ای، متعلق به تیمار با دمای خیساندن ۳۰ درجه سلسیوس در مدت زمان ۲۴ ساعت (۶۵/۸ ppm) بود. بر اساس نتایج این تحقیق، جوانه‌دار کردن برنج قهوه‌ای رقم هاشمی، تاثیر منفی بر میزان منگنز دانه داشت و در تیمارهای مورد بررسی، منگنز کم‌تری نسبت به نمونه شاهد مشاهده شد. در مقابل، بالاترین میزان عنصر روی دانه با جوانه‌دارکردن شلتوک در دمای ۴۵ درجه سلسیوس در زمان‌های ۲۴ و ۴۸ ساعت (به‌ترتیب ۳۰/۸ ppm و ۳۰/۲۹ ppm) مشاهده شد. همچنین، تفاوت معنی‌داری در میزان مس دانه با جوانه‌دار کردن شلتوک رقم هاشمی نسبت به نمونه شاهد مشاهده نشد، اما بالاترین میزان

مس در جوانه‌دارکردن برنج قهوه‌ای در درجه حرارت ۳۰ درجه سلسیوس به‌مدت ۴۸ ساعت (۱۳/۵ ppm) مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد داشت. علاوه بر این، بیش‌ترین میزان جذب آب طی فرایند پخت مربوط به نمونه‌های برنج قهوه‌ای جوانه‌دار شده در دمای خیساندن ۴۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۴۸ ساعت (۳/۵ برابر) و بیش‌ترین میزان مواد جامد از دست رفته با میانگین ۱۴/۲ درصد متعلق به نمونه برنج قهوه‌ای جوانه‌دار شده در دمای خیساندن ۴۵ درجه به‌مدت ۲۴ ساعت بود. بیش‌ترین میزان هضم قلیا نیز در نمونه برنج قهوه‌ای جوانه‌دار شده در درجه حرارت ۴۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۲۴ و ۴۸ ساعت مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان داد که جوانه‌زنی سبب افزایش عناصر معدنی به‌ویژه آهن و روی و بهبود کیفیت پخت برنج قهوه‌ای رقم هاشمی شد، اما مدت زمان پخت را کاهش داد. مقایسه تیمارها نیز نشان داد که بهترین شرایط جوانه‌زنی به‌منظور افزایش مواد معدنی در نمونه برنج قهوه‌ای جوانه‌دار شده با ماده اولیه شلتوک در دمای خیساندن ۴۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۲۴ ساعت مشاهده شد، در حالی‌که بهترین کیفیت پخت متعلق به برنج قهوه‌ای جوانه‌دار شده با ماده اولیه شلتوک در دمای خیساندن ۴۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۴۸ ساعت بود. در مقابل، کم‌ترین زمان پخت در نمونه برنج قهوه‌ای جوانه‌دار شده در دمای خیساندن ۴۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۴۸ ساعت مشاهده شد. در مجموع بر اساس نتایج این آزمایش به‌نظر می‌رسد با انتخاب شرایط بهینه در فرایند جوانه‌دار کردن، می‌توان ارزش غذایی و کیفیت پخت رقم مورد نظر را افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: آهن، ارزش تغذیه‌ای، روی، شلتوک، مواد جامد از دست رفته، نمره هضم قلیا

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۹

نحوه استناد به این مقاله:

داداشی، سبحه، طایفه، ماندانا، و حبیبی، فاطمه. (۱۴۰۴). تاثیر دمای آب و مدت زمان جوانه‌دار کردن بر غلظت مواد معدنی و کیفیت پخت برنج قهوه‌ای رقم هاشمی. *تحقیقات غلات*، *۱۵*(۱)، ۱۱-۱. doi: 10.22124/CR.2025.28592.1837

مقدمه

برنج قهوه‌ای که طی حذف لایه نخست شلتوک حاصل می‌شود، به‌سبب دارا بودن سبوس و جوانه در ساختار خود، از ارزش تغذیه‌ای بالایی برخوردار است و در مقایسه با برنج سفید حاوی فیبر رژیمی، پروتئین، ویتامین و مواد معدنی بالاتری است. پروتئین دانه، بیش‌تر در لایه زیرین آلئورون حضور دارد و محتوای آن با افزایش درجه سفید شدن برنج کاهش می‌یابد (Mohapatra & Bal, 2010; Paiva *et al*., 2014). همچنین، بیش‌تر ویتامین‌ها و مواد معدنی در سبوس برنج حضور دارند و فرایند حذف سبوس سبب کاهش میزان آن‌ها می‌شود (Juliano & Bechtel, 1985; Reddy *et al*., 2017). عناصر معدنی میکرو نظیر مس، آهن، منگنز و روی به‌طور یکنواخت در دانه توزیع شده‌اند، ولی عناصر معدنی ماکرو نظیر فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم، بیش‌تر در لایه‌های خارجی (آلئورون و پریکارپ) غلات حضور دارند و هر چه میزان حذف سبوس هنگام پرداخت و سفید کردن برنج بیش‌تر باشد، میزان مواد معدنی بیش‌تری نیز از بین می‌رود (Rivero-Huguet, 2007). با وجود بالا بودن ارزش تغذیه‌ای برنج قهوه‌ای، مصرف آن در مقایسه با برنج سفید کم‌تر است، زیرا این نوع برنج به‌دلیل دارا بودن بافت نامطلوب و سخت و نیز زمان پخت نسبتاً زیاد، کیفیت پخت پایینی دارد.

جوانه‌زنی، فرآیندی است که جهت بهبود ویژگی‌های نامطلوب برنج قهوه‌ای به‌کار برده می‌شود. جوانه‌زنی یک فرآیند زیستی است و سبب فعال شدن آنزیم‌های هیدرولیتیک می‌شود. این آنزیم‌ها، سبب تجزیه نشاسته، پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای و پروتئین‌ها می‌شوند و در نتیجه تعداد قندها، الیگوساکاریدها و آمینواسیدها در دانه افزایش می‌یابد (Ohtsubo *et al*., 2005). جوانه‌زنی سبب افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی برنج (Lin *et al*., 2015)، بهبود طعم و نرم‌تر شدن بافت برنج قهوه‌ای بعد از پخت می‌شود و میزان قند آن را کاهش می‌دهد (Trachoo *et al*., 2006; Watchararparpaiboon *et al*., 2010) و همچنین سبب افزایش چشم‌گیر مواد مغذی مانند گاما آمینوبوتیریک اسید (GABA)، فیبر رژیمی، اینوزیتول، فرولیک اسید، توکوتریانول، پتاسیم، منیزیم، روی، گاما-اوریزانول (Kayahara *et al*., 2001)، ویتامین B و پروتئین کل در برنج قهوه‌ای می‌شود. طی فرآیند جوانه‌زنی، میزان مواد معدنی در دانه افزایش می‌یابد. همچنین، به‌دنبال فعال شدن آنزیم فیتاز طی فرآیند جوانه‌زنی و تجزیه اسید فیتیک، عناصری مانند آهن، روی، کلسیم و منیزیم که به‌صورت کمپلکس با اسید فیتیک در دانه حضور دارند، آزاد می‌شوند و میزان آن‌ها افزایش می‌یابد (Shallan *et al*., 2010).

عناصر معدنی تاثیر بسیار زیادی بر سلامت بدن دارند و افزایش میزان دریافت آن‌ها از طریق یک رژیم غذایی سالم، از اهمیت بالایی برخوردار است. منگنز یک ماده معدنی مهم برای بدن می‌باشد که به جذب کلسیم کمک می‌کند و از این‌رو در تشکیل و استحکام استخوان‌ها موثر است. این ماده معدنی برای رشد و سلامت مغز و بافت عصبی نیز ضروری است (Ghosh *et al*., 2016). آهن (Fe) تقریباً برای همه موجودات زنده یک عنصر ضروری است، زیرا در طیف گسترده‌ای از فرآیندهای متابولیک از جمله انتقال اکسیژن، سنتز DNA و انتقال الکترون نقش دارد. کمبود آهن شدید یا طولانی‌مدت، به کم‌خونی فقر آهن منجر می‌شود. فقر آهن می‌تواند سبب عواقب جدی مانند عقب ماندگی ذهنی، کاهش ایمنی بدن و افزایش میزان مرگ مادر و کودک در هنگام تولد شود. بنابراین، دریافت آهن از طریق رژیم غذایی بسیار مهم است. دانه برنج، آهن قابل توجهی ندارد، ولی از آنجایی که به‌عنوان رژیم غذایی روزانه بسیاری از مردم آسیا است، افزایش میزان آهن حتی به‌میزان کم در برنج اهمیت دارد. فسفر (P) و پتاسیم (K)، بیش‌ترین میزان مواد معدنی موجود در برنج قهوه‌ای را شامل می‌شوند. فسفر از لحاظ فیزیولوژیک برای بدن انسان حائز اهمیت است. ترکیبات دارای فسفر، در متابولیسم کربوهیدرات‌ها، تشکیل نوکلئوتیدها و استروئیدها نقش دارند (Majoral, 2005). پتاسیم در کاهش فشار خون و کاهش بیماری‌های کرونری قلب و سکته مغزی تاثیرگذار است و به سلامت استخوان‌ها کمک می‌کند (Weaver, 2013). عنصر روی (Zn) در رشد بافت‌های بدن، ترمیم زخم، حفظ و رشد بافت‌های پیوندی، عملکرد سیستم ایمنی، رشد جنین و بهبود عملکرد تیروئید موثر است (Bhowmik *et al*., 2010). مس (Cu) نیز یک ماده معدنی کمیاب و در عین حال ضروری است که به‌عنوان یک کوفاکتور عمل می‌کند و در ساختار و فعالیت بسیاری از آنزیم‌های بدن نقش دارد (Gaetke & Chow, 2003). در انسان کمبود مس شایع نیست، زیرا به‌سهولت در دستگاه گوارش جذب می‌شود (Uauy *et al*., 1998)، ولی به‌سبب کم بودن میزان مس

در بیش‌تر منابع غذایی، تلاش برای افزایش آن در رژیم غذایی بسیار مهم است.

برنج قهوه‌ای جوانه‌دار پخته شده نسبت به برنج قهوه‌ای پخته، بافت نرم‌تر، منسجم‌تر و متورم‌تر و طعم شیرین‌تری دارد (Jiamyangyuen & Ooraikul, 2008). پژوهش‌های بسیاری ایجاد بافت نرم را بعد از فرآیند جوانه‌زنی در برنج قهوه‌ای تایید کرده‌اند. نرم‌تر شدن بافت طی فرآیند جوانه‌زنی به‌سبب تغییرات فیزیولوژیک برنج و فعالیت آنزیمی صورت می‌گیرد (Watchararparpaiboon *et al*., 2010). جوانه‌زنی به‌عنوان یک روش موثر برای افزایش ترکیبات عملکردی در برنج قهوه‌ای استفاده می‌شود. این فرایند، با انجام واکنش‌های بیوشیمیایی منجر به تغییر در پروتئین‌ها، گاما آمینو بوتیریک اسید، ترکیبات فنولیک، اسید فیتیک و ویتامین‌ها می‌شود. واکنش‌های بیوشیمیایی مذکور ممکن است بر آزاد شدن و جذب عناصر مغذی میکرو مانند مواد معدنی و قابلیت هضم ترکیبات درشت‌مولکول مانند نشاسته و پروتئین، به‌دلیل ویژگی‌های هم‌افزایی یا بازدارندگی موثر باشند (Cho & Lim, 2016). واتچاراپارابون و همکاران (Watchararparpaiboon *et al*., 2010) پس از بررسی ویژگی‌های بافتی و ترکیبات شیمیایی برنج قهوه‌ای جوانه‌دار شده تحت شرایط مختلف (pH، دما و زمان خیساندن)، بیش‌ترین میزان مواد مغذی و در نتیجه بهترین شرایط جوانه‌زنی را تحت شرایط pH=6، دمای ۳۵ $^{\circ}C$ و زمان ۲۴ ساعت گزارش کردند. به این ترتیب، با توجه به اهمیت مصرف و ارزش تغذیه‌ای بالاتر برنج قهوه‌ای، اهمیت عناصر معدنی در سلامت انسان و بهبود کیفیت برنج توسط فرآیند جوانه‌زنی، این تحقیق اجرا شد که هدف از آن، بررسی تاثیر فرآیند جوانه‌زنی (دما و مدت زمان جوانه‌زنی) بر میزان مواد معدنی و کیفیت پخت برنج قهوه‌ای بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. برای انجام آزمون‌ها از شلتوک و برنج قهوه‌ای رقم هاشمی استفاده شد (جدول ۱). نمونه‌های شلتوک و برنج قهوه‌ای به‌نسبت (یک به پنج شلتوک به آب مقطر/ برنج قهوه‌ای به آب مقطر) در دو دمای ۳۰ و ۴۵ درجه سلسیوس به‌مدت ۲۴ و ۴۸ ساعت خیسانده شدند و سپس به‌منظور جوانه‌دار شدن، دانه‌ها با دو لایه پارچه نخی پوشانده و به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۰ درجه سلسیوس تحت رطوبت نسبی ۹۵-۹۰ درصد قرار گرفتند. دانه‌های جوانه‌دار شده هر دو نوع برنج قهوه‌ای و شلتوک در دمای ۱±۴۵ درجه سلسیوس توسط خشک‌کن آزمایشگاهی تا رسیدن به رطوبت ۱۰-۹ درصد خشک شدند. رطوبت نمونه‌ها با استفاده از رطوبت‌سنج مخصوص غلات مدل GMK-303RS ساخت کشور کره جنوبی اندازه‌گیری شد. برای تبدیل شلتوک جوانه‌دار شده به برنج قهوه‌ای، پوستهٔ اولیهٔ نمونه‌ها با دستگاه پوست‌کن غلتک لاستیکی آزمایشگاهی ساتاکه جدا شد.

مواد معدنی نمونه‌های برنج شامل آهن، روی، منگنز و مس با استفاده از دستگاه جذب اتمی پرکن المر (Elmer Perkin) با توجه به نمونه استاندارد تعیین شد (AOAC, 1990). برای اندازه‌گیری میزان جذب آب و از دست دادن مواد جامد، مقدار پنج گرم برنج داخل بشر حاوی کاغذ صافی قرار گرفت و سپس ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه و به‌مدت ۱۵ دقیقه (با توجه به مدت زمان پخت رقم هاشمی) جوشانده شد. وزن برنج پس از پخت مجدداً اندازه‌گیری و سپس نسبت وزن برنج پخته (W_{cr}) به خام (W_{rr}) بر اساس رابطه (۱) محاسبه و به‌عنوان میزان جذب آب (R_{cr}) در نظر گرفته شد (Habibi, 2013):

$$R_{cr} = \frac{W_{cr}}{W_{rr}} \qquad (۱)$$

برای اندازه‌گیری میزان مواد جامد از دست رفته نیز بشر حاوی لعاب باقیمانده به‌مدت ۲۰ ساعت در آون در دمای ۶۰-۵۰ درجه سلسیوس قرار گرفت و در نهایت بر حسب درصد محاسبه شد (Habibi, 2013).

برای تعیین درجه حرارت ژلاتینی شدن از روش لیتل و همکاران (Little, *et al*., 1958). استفاده شد.

به‌منظور اندازه‌گیری میزان انبساط حجمی، نسبت میزان افزایش حجم برنج پخته به خام با استفاده از یک استوانه مدرج حاوی ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر بر اساس رابطه (۲) محاسبه شد (Habibi, 2013):

$$VE = \frac{V_{cr}}{V_{rr}} \qquad (۲)$$

که در آن، VE میزان انبساط حجمی، V_{cr} حجم برنج پخته شده و V_{rr} حجم برنج خام است.

تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون توکی انجام شد. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار EXCEL استفاده شد.

نتایج و بحث

مقایسه کلی مواد معدنی مختلف موجود در دانه نشان داد که فرایند جوانه‌دار کردن شلتوک و برنج قهوه‌ای رقم هاشمی می‌تواند تغییرات معنی‌داری را در سطح احتمال یک درصد در میزان عناصر ماکرو و میکرو دانه ایجاد کند (جدول ۱). این نتایج نشان می‌دهد که با انتخاب شرایط بهینه فرایند جوانه‌دار کردن، می‌توان تاثیر چشم‌گیری در افزایش غلظت مواد معدنی رقم مورد نظر ایجاد کرد.

نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان داد که با جوانه‌دار کردن شلتوک رقم هاشمی و تبدیل آن به برنج قهوه‌ای، میزان آهن در تمامی نمونه‌ها بیش‌تر از نمونه شاهد (بدون فرآوری) بود (شکل ۱). بیش‌ترین مقدار آهن دانه در فرآوری جوانه‌دار کردن شلتوک در تیمار با دمای خیساندن ۴۵ °C در مدت زمان ۲۴ ساعت (۶۵/۸ ppm) مشاهده شد، در حالی‌که بیش‌ترین غلظت آهن در فرآوری جوانه‌دار کردن برنج قهوه‌ای رقم هاشمی متعلق به تیمار با درجه حرارت خیساندن ۳۰ °C در مدت زمان ۲۴ ساعت (۶۵/۸ ppm) بود.

در خصوص میزان منگنز موجود در دانه‌ها، نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان داد که فرایند جوانه‌زنی سبب افزایش میزان منگنز در برنج قهوه‌ای شد، در حالی‌که در فرایند جوانه‌دار کردن شلتوک رقم هاشمی و تبدیل آن به برنج قهوه‌ای، میزان منگنز دانه فقط در تیمار با درجه حرارت خیساندن ۴۵ °C در مدت زمان ۲۴ ساعت (۳۶/۳۰ ppm) تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد فرآوری نشده داشت (شکل ۱). همچنین، به‌نظر می‌رسد که فرایند جوانه‌دار کردن برنج قهوه‌ای تاثیر منفی بر میزان منگنز دانه دارد، به‌طوری که کلیه تیمارهای مورد بررسی دارای میزان منگنز کم‌تری نسبت به نمونه شاهد بودند (شکل ۱). علاوه بر این، نتایج این تحقیق در مورد میزان عنصر روی نیز نشان داد که بالاترین میزان غلظت روی با جوانه‌دار کردن شلتوک در دمای خیساندن ۴۵ °C طی زمان‌های ۲۴ و ۴۸ ساعت (به‌ترتیب با ۳۰/۸۰ ppm، ۳۰/۲۹ ppm) و برای برنج قهوه‌ای جوانه‌دار شده در تیمار با دمای خیساندن ۴۵ °C در زمان ۲۴ ساعت مشاهده شد (شکل ۱). در مقابل در خصوص میزان مس موجود در دانه، نتایج این آزمایش نشان داد که با جوانه‌دار کردن شلتوک رقم هاشمی تفاوت معنی‌داری در میزان مس دانه نسبت به نمونه شاهد مشاهده نشد (شکل ۱)، اما بیش‌ترین مقدار مس در جوانه‌دار کردن برنج قهوه‌ای رقم هاشمی در تیمار با دمای خیساندن ۴۵ °C به‌مدت ۲۴ ساعت (۱۳/۵ ppm) مشاهده شد که با تیمار با دمای خیساندن ۳۰ °C به‌مدت ۴۸ ساعت (۱۲/۷ ppm) تفاوت معنی‌داری نداشت، اما تفاوت آن‌ها با تیمار شاهد معنی‌دار بود (شکل ۱).

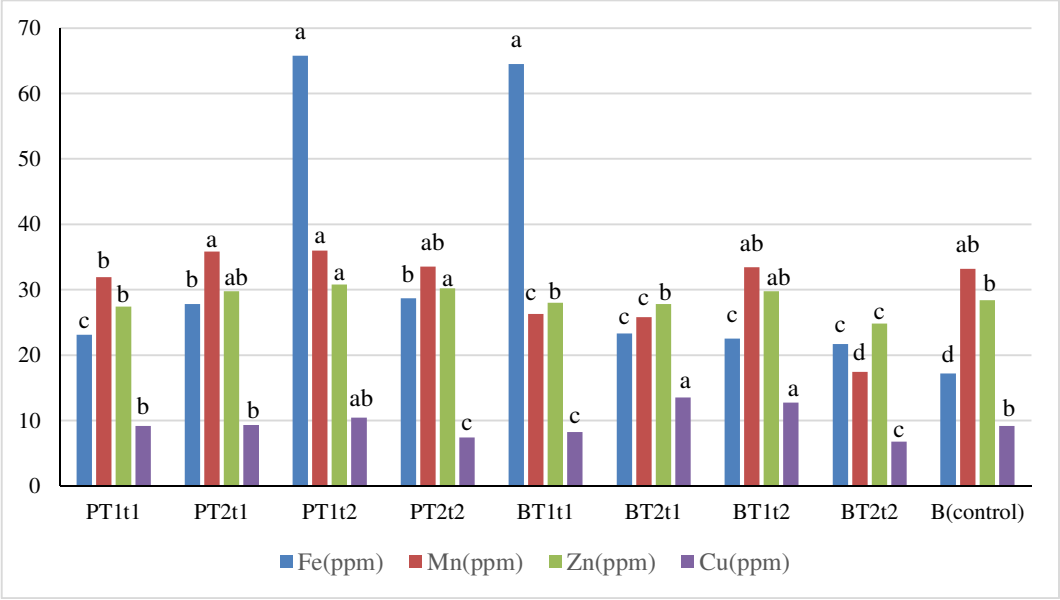
نتایج آزمایش‌های انجام شده توسط لیانگ و همکاران (Liang *et al*., 2010) و شالان و همکاران (Shallan *et al*., 2010) نشان داد که افزایش در میزان مواد معدنی دانه‌های برنج در فرایند جوانه‌زنی می‌تواند به‌علت تجزیه اسید فیتیک طی فرایند جوانه‌زنی باشد، زیرا املاح به‌صورت کمپلکس نامحلول با اسید فیتیک در برنج حضور دارند و طی فرآیند جوانه‌زنی و خیساندن دانه، فیتاز فعال می‌شود و اسید فیتیک را تجزیه می‌کند و به‌دنبال از دست رفتن و کاهش گروه‌های فسفات در ساختار اسید فیتیک در فرآیند جوانه‌زنی، خاصیت چنگالی کردن آن کاهش یافته و در نتیجه امکان تشکیل کمپلکس نامحلول نیز کاهش می‌یابد.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر جوانه‌زنی بر ویژگی‌های پخت شلتوک و برنج قهوه‌ای

Table 1. Analysis of variance of the effect of germination on cooking characteristics of paddy and brown rice

Source of variation	df	Mean square							
		Fe	Mn	Zn	Cu	Alkali digestion	Water absorption	Solids loss	Volume expansion ratio
Treatment	8	973.608**	0.761**	109.077**	8.323**	0.204*	0.329**	44.261**	0.466*
Error	29	0.20	0.10	0.90	0.27	0.011	0.021	0. 12	0.018
CV (%)	-	1.39	1.04	3.32	5.3	4.5	4.72	5.53	5.20

^{ns}, * and ** Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.



شکل ۱- اثر جوانه‌دار کردن شلتوک و برنج قهوه‌ای رقم هاشمی بر غلظت عناصر میکرو (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

Figure 1. The effect of germinating paddy and brown rice, variety Hashemi, on the concentration of microelements (mg/kg). P, paddy; B, brown rice; T_1, temperature 30 °C; T_2, temperature 45 °C; t_1, processing time 24 hours; t_2, processing time 48 hours.

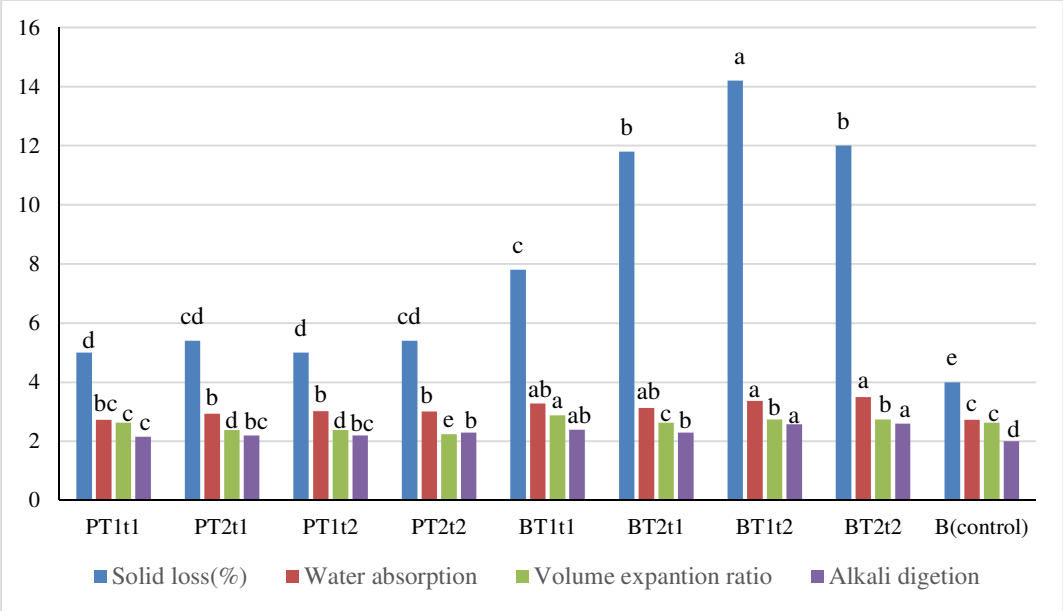
نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که فرآیند جوانه‌زنی سبب افزایش معنی‌دار نسبت جذب آب در برنج قهوه‌ای در سطح احتمال یک درصد شد، به‌طوری که این ویژگی در تمامی تیمارها بیش‌تر از تیمار شاهد (برنج قهوه‌ای جوانه‌دار نشده) بود (جدول ۱، شکل ۲). در نمونه‌های مربوط به شلتوک جوانه‌دار شده نیز میزان جذب آب در کلیه تیمارها با نمونه شاهد اختلاف معنی‌داری داشت و بیش‌ترین مقدار آن در تیمار با دمای خیساندن ۴۵ °C به‌مدت ۴۸ ساعت (۳/۵ برابر) مشاهده شد. همچنین، در نمونه‌های مربوط به برنج قهوه‌ای جوانه‌دار شده، تفاوت معنی‌داری بین دو تیمار ۲۴ ساعت خیساندن در دماهای ۳۰ °C و ۴۵ °C با نمونه شاهد وجود داشت (شکل ۲).

نتایج به‌دست آمده از این تحقیق تاثیر معنی‌دار (در سطح احتمال یک درصد) فرآیند جوانه‌زنی بر افزایش میزان از دست دادن مواد جامد (میزان لعاب در حین پخت) در برنج قهوه‌ای رقم هاشمی را نشان داد (جدول ۱)، به‌طوری که مطابق داده‌های به‌دست آمده از این تحقیق، فرآیند جوانه‌زنی سبب افزایش میزان از دست دادن مواد جامد شد (شکل ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش دما و زمان خیساندن، درصد از دست دادن مواد جامد نیز افزایش یافت (شکل ۲). سینگ و همکاران نیز گزارش کردند که با افزایش زمان جوانه‌زنی (از ۱۲ به ۴۸ ساعت)، میزان از دست دادن مواد جامد از ۰/۱۸ درصد به ۲/۷۸ درصد و با افزایش دمای جوانه‌زنی (از ۲۵ °C به ۳۵ °C) از ۰/۷۰ درصد به ۱/۹۵ درصد افزایش یافت (Singh *et al.*, 2018). بر اساس نتایج آزمایش حاضر، بیش‌ترین میزان از دست دادن مواد جامد (با میانگین ۱۴/۲ درصد) متعلق به نمونه برنج قهوه‌ای جوانه‌دار شده با ماده اولیه برنج قهوه‌ای در دمای خیساندن ۳۰ °C به‌مدت ۴۸ ساعت بود و پس از آن، نمونه برنج قهوه‌ای جوانه‌دار شده در دمای ۴۵ °C به‌مدت ۲۴ ساعت (۱۱/۸ درصد) و ۴۸ ساعت (۱۲/۰ درصد) دارای بیش‌ترین میزان از دست دادن مواد جامد بودند (شکل ۲). در مقابل، کم‌ترین میزان از دست دادن مواد جامد (۴ درصد) در نمونه شاهد (برنج قهوه‌ای جوانه‌دار نشده) و پس از آن در تمامی تیمارهای مربوط به ماده اولیه شلتوک مشاهده شد. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که استفاده از برنج قهوه‌ای به‌عنوان ماده اولیه جهت تهیه برنج قهوه‌ای جوانه‌دار، موجب افزایش میزان از دست دادن مواد جامد (میزان لعاب در حین پخت) می‌شود.

یکی از عوامل موثر در نرم‌تر شدن بافت برنج قهوه‌ای، میزان توانایی آن در جذب آب است. افزایش جذب آب در فرآیند جوانه‌زنی می‌تواند به‌دلیل افزایش تغییر در کیفیت پروتئین و یا تجزیه پلی‌ساکاریدها باشد (Elkhalifa *et al.*, 2010). یکی از محدودیت‌های استفاده از برنج قهوه‌ای، بافت سخت آن و عدم جذب آب به‌خاطر وجود

لایه سبوس است. هر فرآوری که بتواند این مشکل را برطرف سازد، می‌تواند مصرف کننده را به استفاده از برنج قهوه‌ای که ارزش تغذیه‌ای بالاتر از برنج سفید دارد، تشویق کند. مقایسه کلی ویژگی‌های مربوط به جذب آب و از دست دادن مواد جامد در این آزمایش نشان داد که فرآیند جوانه‌دارکردن شلتوک و برنج قهوه‌ای در رقم هاشمی می‌تواند تغییرات معنی‌داری در کیفیت پخت دانه ایجاد کند (شکل ۲). این نتایج نشان می‌دهد که با انتخاب شرایط بهینه فرایند جوانه‌دار کردن، می‌توان تاثیر مثبتی بر افزایش کیفیت پخت داشت. افزایش در نسبت جذب آب و درصد از دست دادن مواد جامد و در نتیجه تغییر در کیفیت پخت می‌تواند به‌دلیل هیدرولیز پلیمرهای با وزن مولکولی بالا توسط آنزیم‌های هیدرولایتیک باشد. این آنزیم‌ها طی فرآیند جوانه‌زنی فعال می‌شوند و سبب هیدرولیز نشاسته و افزایش آمیلوز (به‌دلیل تجزیه جزئی آمیلوپکتین بلند زنجیر) و افزایش پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای محلول در آب می‌شوند و محتوای پروتئین را نیز تغییر می‌دهند (Sirisoontaralak *et al.*, 2015).

نتایج این تحقیق تاثیر معنی‌دار فرایند جوانه‌زنی را بر نسبت انبساط حجمی و هضم قلیا در نمونه‌های شلتوک و برنج قهوه‌ای رقم هاشمی نشان داد (جدول ۱، شکل ۲). به‌نظر می‌رسد که بین زمان جوانه‌زنی و خیساندن شلتوک و برنج قهوه‌ای با نسبت انبساط حجمی رابطه‌ای معکوس وجود دارد، به‌طوری که با افزایش زمان جوانه‌زنی، نسبت انبساط حجمی برنج کاهش می‌یابد (Jiamyangyuen & Ooraikul, 2008). بعلاوه، نتایج این آزمایش نشان داد که دما و مدت زمان جوانه‌زنی تأثیر معنی‌داری بر میزان هضم قلیا (درجه حرارت ژلاتینی شدن) داشت (جدول ۱). بیش‌ترین میزان هضم قلیا مربوط به نمونه برنج قهوه‌ای جوانه‌دار شده به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای خیساندن ۴۵ $^{°C}$ و ۳۰ $^{°C}$ بود. از آنجایی که افزایش میزان هضم قلیا، دمای لازم برای ژلاتینه شدن را کاهش می‌دهد و در نتیجه برنج به‌مدت زمان پخت کم‌تری نیاز دارد، بنابراین جوانه‌زنی سبب کاهش زمان پخت در برنج قهوه‌ای می‌شود. در زمان پخت برنج، گرانول‌های نشاسته در اثر جذب آب، متورم می‌شوند و ویژگی کریستالی خود را از دست می‌دهند و حالت خمیری به‌خود می‌گیرند. حالت خمیری، به‌دلیل ژلاتینی شدن نشاسته در اثر حرارت ایجاد می‌شود. در حقیقت این ویژگی بیان کننده دمایی است که در آن فرم کریستالی گرانول‌های نشاسته به‌صورت برگشت‌ناپذیر تغییر می‌کند. ارتباط مستقیمی بین درجه حرارت ژلاتینه شدن و زمان پخت وجود دارد (Lisle *et al.*, 2000)، به‌طوری که هر چه درجه حرارت ژلاتینه شدن کم‌تر باشد، مدت زمان لازم برای پخت نیز کاهش می‌یابد.



شکل ۲- اثر جوانه‌دار کردن شلتوک و برنج قهوه‌ای رقم هاشمی بر ویژگی‌های پخت دانه

Figure 1. The effect of germinating paddy and brown rice, variety Hashemi, on the cooking quality characteristics. P, paddy; B, brown rice; T_1, temperature 30 °C; T_2, temperature 45 °C; t_1, processing time 24 hours; t_2, processing time 48 hours.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که جوانه‌زنی سبب افزایش عناصر معدنی به‌ویژه آهن و روی، کاهش زمان پخت و افزایش کیفیت پخت در برنج قهوه‌ای شد و شرایط مختلف فرآیند جوانه‌زنی نیز بر شدت عامل‌های کیفی ذکر شده موثر بود. طبق نتایج این آزمایش، در نمونه‌های جوانه‌دار شده با ماده اولیه شلتوک نسبت به نمونه‌های جوانه‌دار شده با ماده اولیه برنج قهوه‌ای، افزایش بیش‌تری در میزان عناصر معدنی مشاهده شد. مقایسه تیمارهای این آزمایش نیز نشان داد که بیش‌ترین میزان مواد معدنی در نمونه برنج قهوه‌ای جوانه‌دار شده با ماده اولیه شلتوک در دمای خیساندن $^{\circ C}$ ۴۵ به‌مدت ۲۴ ساعت و بهترین کیفیت پخت در نمونه برنج قهوه‌ای جوانه‌دار شده با ماده اولیه شلتوک در دمای خیساندن $^{\circ C}$ ۴۵ به‌مدت ۴۸ ساعت مشاهده شد. بنابراین، به‌منظور تشویق مصرف‌کننده به استفاده از برنج قهوه‌ای با ارزش تغذیه‌ای بالاتر از برنج سفید، پیشنهاد می‌شود از فرآوری جوانه‌دار کردن برای رفع مشکل برنج قهوه‌ای (سختی بافت برنج پخته) استفاده شود.

تضاد منافع

نویسندگان تایید می‌کنند که این تحقیق در غیاب هرگونه روابط تجاری یا مالی می‌تواند به عنوان تضاد منافع بالقوه تعبیر شود، انجام شده است.

رعایت اخلاق در نشر

نویسندگان اعلام می‌کنند که در نگارش این مقاله به‌طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و انتشار دوگانه، پیروی کرده‌اند. همچنین این مقاله حاصل یک کار تحقیقاتی اصیل بوده و تاکنون به‌طور کامل به هیچ زبانی و در هیچ نشریه یا همایشی چاپ و منتشر نشده است و هیچ اقدامی نیز برای انتشار آن در هیچ نشریه یا همایشی صورت نگرفته و نخواهد گرفت.

اجازه انتشار مقاله

نویسندگان با چاپ این مقاله به‌صورت دسترسی باز موافقت کرده و کلیه حقوق استفاده از محتوا، جدول‌ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کنند.

References

AOAC. (1990). Official Method of Analysis. The Association of the Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia, USA.

Bhowmik, D., Chiranjib, K., & Kumar, S. (2010). A potential medicinal importance of zinc in human health and chronic. *International Journal of Pharmaceutical & Biomedical Sciences*, *1*(1), 5-11.

Cho, D.H. and Lim, S.T. (2016). Germinated brown rice and its bio-functional compounds. *Food Chemistry*, *196*, 259-271. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.09.025.

Elkhalifa, A. E. O., & Bernhardt, R. (2010). Influence of grain germination on functional properties of sorghum flour. *Food Chemistry*, 12, 387-392. doi: 10.1016/j.foodchem.2009.12.041.

Gaetke, L. M., & Chow, C. K. (2003). Copper toxicity, oxidative stress, and antioxidant nutrients. *Toxicology, 189*, 147-63. doi: 10.1016/s0300-483x(03)00159-8.

Ghosh, D., Singha, P. S., Firdaus, S. B., Parida, P., & Ghosh, D. (2016). Biometals in health and disease: A review. *World Journal of Pharmaceutical Research*, *5*(12), 390-399. doi: 10.20959/wjpr201612-7471.

Habibi, F. (2013). Laboratory methods for measuring quality characteristics of rice grain. technical Booklet. Publication of Rice Research Institute of Iran. Agricultural Research, Education & Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran. [In Persian].

Jiamyangyuen, S., & Ooraikul, B. (2008). The physico-chemical, eating and sensorial properties of germinated brown rice. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, *6*(2), 119-124.

Juliano, B. O., & Bechtel, D. B. (1985). The Rice Grain and its Gross Composition. In: Juliano, B.O. (Ed.). Rice: Chemistry and Technology. 2nd Edition. American Association of Cereal Chemists Publication, USA.

Kayahara, H., Tsukahara, K., & Tatai, T. (2001). Flavor, health and nutritional quality of pre-germinated brown rice. In: Spanier, A. M., Shahidi, F., Parliament, T. H., Mussinan, C., Ho, C. T., Contis, E. T. (Eds.). Food Flavors and Chemistry: Advances of the New Millennium. Royal Society of Chemistry. pp: 546-551. doi: 10.1039/9781847550859-00546.

Liang, J., Han, B. Z., Nout, M. J. R., & Hamer, R. J. (2010). In vitro solubility of calcium, iron and zinc in relation to phytic acid levels in rice-based consumer products in China. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, *61*(1), 40-51. doi: 10.3109/09637480903229017.

Lin, Y. T., Pao, C. C., Wu, S. T., & Chang, C. Y. (2015). Effect of different germination conditions on antioxidative properties and bioactive compounds of germinated brown rice. *BioMed Research International*, *2015*, 608761. doi: 10.1155/2015/608761.

Lisle, A. J., Martin, M., & Fitzgerald, M. A. (2000). Chalky and translucent rice grains differ in starch composition and structure and cooking properties. *Cereal Chemistry*, *77*(5), 627-632. doi: 10.1094/CCHEM.2000.77.5.627.

Little, R. R., Hilder, G. B., & Dawson, E. H. (1958). Differential effect of dilute alkali on 25 varieties of milled white rice . *Cereal Chemistry*, *35*, 111-126.

Majoral, J. P. (2005). New aspects in phosphorus chemistry v. Vol. 5. Springer. 275 p.

Mohapatra, D., & Bal, S. (2010). Optimization of polishing conditions for long grain basmati rice in a laboratory abrasive mill. *Food & Bioprocess Technology*, *3*(3), 466-472. doi: 10.1007/s11947-009-0254-3.

Ohtsubo, K., Suzuki, K., Yasui, Y., & Kasumi, K. (2005). Bio-functional components in the processed pre-germinated brown rice by a twin-screw extruder. *Journal of Food Composition & Analysis*, *18*, 303-316. doi: 10.1016/j.jfca.2004.10.003.

Paiva, F. F., Vanier, N. L., Berrios, J. D. J., Pan, J., de Almeida Villanova, F., Takeoka, G., & Elias, M. C. (2014). Physicochemical and nutritional properties of pigmented rice subjected to different degrees of milling. *Journal of Food Composition & Analysis*, *35*(1), 10-17. doi: 10.1016/j.jfca.2014.05.003.

Reddy, C. K., Kimi, L., Haripriya, S., & Kang, N. (2017). Effects of polishing on proximate composition, physico-chemical characteristics, mineral composition and antioxidant properties of pigmented rice. *Rice Science*, *24*(5), 241-252. doi: 10.1016/j.rsci.2017.05.002.

Rivero-Huguet, M. (2007). Encyclopedia of Earth: Rice (*Oryza sativa* L.) as a source of microelements and toxic contaminants. Retrieved August 31, 2024, from https://speciation.net/Database/Links/Encyclopedia-of-Earth-Rice-Oryza-sativa-L-as-a-source-of-microelements-and-toxic-contaminants-;i2262.

Shallan, M. A., El-Beltagi, H. S., Mona, A. M., & Amera, T. M. (2010). Chemical evaluation of pre-germinated brown rice and whole grain rice bread. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural & Food Chemistry*, *9*(3), 958-971.

Singh, A., Sharma, S., & Singh, B. (2018). Germination behavior, physico-nutritional properties, and diastase activity of brown rice influenced by germination time and temperature. *Acta Alimentaria*, *47*(1), 70-79. doi: 10.1556/066.2018.47.1.9.

Sirisoontaralak, P., Nakornpanom, N. N., Koakietdumrongkul, K., & Panumaswiwath, C. (2015). Development of quick cooking germinated brown rice with convenient preparation and containing health benefits. *LWT-Food Science & Technology*, *61*(1), 138-144. doi: 10.1016/j.lwt.2014.11.015.

Trachoo, N., Boudreaux, C., Moongngarm, A., Samappito, S., & Gaensakoo, R. (2006). Effect of germinated rough rice media on growth of selected probiotic bactaria. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, *9*, 2657-2661. doi: 10.3923/pjbs.2006.2657.2661.

Uauy, R., Olivares, M., & Gonzalez, M. (1998). Essentiality of copper in humans. *American Journal of Clinical Nutrition*, *67*(5 Suppl.), 952S-959S. doi: 10.1093/ajcn/67.5.952S.

Watchararparpaiboon, W., Laohakunjit, N., & Kerdchoechuen, O. (2010). An improved process for high quality and nutrition of brown rice production. *Food Science and Technology International*, *16*(2), 147-158. doi: 10.1177/1082013209353220.

Weaver, C. M. (2013). Potassium and health. *Advances in Nutrition*, *4*(3), 368S-377S. doi: 10.3945/an.112.003533.