



## Bioactive compounds of germinated brown rice and its role in human health

Fatemeh Habibi<sup>1</sup>  

<sup>1</sup> Rice Research Institute of Iran (RRII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.

 Corresponding author. E-mail: [fhbibikia@yahoo.com](mailto:fhbibikia@yahoo.com)

### ABSTRACT

**Introduction:** Despite the high nutritional value of brown rice and its positive effects on health, its consumption in Iran is much lower than that of milled or white rice because milled rice has better cooking and eating quality and its texture is softer and more desirable. The germination process has received much attention to reduce the aforementioned problems. Germinated brown rice has a softer texture, is more flavorful, and requires less cooking time. The germination process can change the physicochemical properties, including the digestibility of germinated brown rice. Gamma-aminobutyric acid, gamma-oryzanol, phenolic compounds, dietary fiber, free amino acids, vitamins B and E, and minerals are the major bioactive compounds that increase in the production of germinated brown rice. Specifically, the amount of gamma-aminobutyric acid in germinated brown rice is ten times higher than in milled rice and twice as high as in brown rice. The consumption of germinated brown rice has garnered increasing attention among health-conscious consumers worldwide, with scientific evidence supporting its beneficial effects on health by reducing the risk of obesity, cardiovascular disease, type 2 diabetes, and neurological disorders.

**Materials and methods:** This article is a review article that was obtained through content analysis, which involved systematically searching for keywords related to brown rice, germination, improving the nutritional value of rice, and the effect of germination on health in articles from reputable websites, including Web of Science, Google Scholar, PubMed, and Scopus.

**Results:** This article attempts to encourage the use of germinated brown rice among Iranian consumers by reviewing various germination methods to eliminate the disadvantages of cooking brown rice and enhance its nutritional value. According to numerous studies and practical examples provided in reliable sources, the rice germination process has been confirmed to increase the production of nutritional compounds, including macronutrients, micronutrients (vitamins and minerals), gamma-aminobutyric acid, gamma-oryzanol, dietary fiber, amino acids, and bioactive compounds. Improving quality traits through germination could provide an alternative nutritious rice for the food industry. These changes probably occur due to the partial hydrolysis of starch, non-starch polysaccharides, and proteins during germination, which are converted into sugars, oligosaccharides, and amino acids. These changes increase the biological content and improve the texture and flavor of germinated brown rice.

**Conclusion:** Germinated brown rice is gaining popularity worldwide as a healthy food option. Therefore, it is suggested that Iranian consumers consider the consumption of germinated brown rice, as many scientific studies confirm its beneficial effects on health.

**Keywords:** Brown rice, Cooking quality, Gamma-aminobutyric acid, Germination, Nutritional value.

**Article Type:** Research Article

**Article history:** Received: 09 Feb 2025, Revised: 26 Mar 2025, Accepted: 10 May 2025, Published online: 28 Jun 2025

**Cite this article:** Habibi, F. (2025). Bioactive compounds of germinated brown rice and its role in human health. *Cereal Biotechnology and Biochemistry*, 4(2), 272-294. DOI: [10.22126/cbb.2025.12311.1110](https://doi.org/10.22126/cbb.2025.12311.1110)

© The Author(s).

**Publisher:** Razi University



[10.22126/cbb.2025.12311.1110](https://doi.org/10.22126/cbb.2025.12311.1110)



## ترکیبات زیست فعال برنج قهوه‌ای جوانه‌دار شده و نقش آن در سلامت انسان

فاطمه حبیبی<sup>۱</sup>✉

<sup>۱</sup> مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

✉ نویسنده مسئول. رایانامه: [fhabibikia@yahoo.com](mailto:fhabibikia@yahoo.com)

### چکیده

**مقدمه:** با وجود ارزش تغذیه‌ای بالای برنج قهوه‌ای و تاثیرات مثبت آن بر سلامت بدن، مصرف آن در ایران بسیار کم‌تر از برنج سفید است زیرا برنج سفید کیفیت پخت و خوراک بهتری دارد و بافت آن نرم‌تر و مطلوب‌تر است. فرایند جوانه‌زنی جهت رفع این مشکلات مورد توجه زیادی قرار گرفته است. برنج قهوه‌ای جوانه‌زده، بافت نرم‌تری دارد، خوشمزه‌تر است و همچنین به زمان پخت کم‌تری نیز نیاز دارد. فرایند جوانه‌دار کردن می‌تواند خواص فیزیکیوشیمیایی از جمله قابلیت هضم برنج قهوه‌ای را تغییر دهد. گاما آمینو بوتیریک اسید، گاما اوریزانول، ترکیبات فنولی، فیبر غذایی، اسیدهای آمینه آزاد، ویتامین‌های B و E و مواد معدنی عمده‌ترین ترکیبات زیست فعال هستند که در تولید برنج قهوه‌ای جوانه‌زده افزایش می‌یابند. به طور خاص، مقدار گاما آمینوبوتیریک اسید در برنج قهوه‌ای جوانه‌زده ده برابر بیش‌تر از برنج سفید و دو برابر بیش‌تر از برنج قهوه‌ای است. مصرف برنج قهوه‌ای جوانه‌زده در بین مصرف‌کنندگان آگاه به سلامت، در کشورهای مختلف دنیا مورد توجه فزاینده‌ای قرار گرفته و شواهد علمی اثرات مفید آن بر سلامتی مانند کاهش خطر چاقی، دیابت نوع ۲، بیماری‌های قلبی عروقی و بیماری‌های عصبی را تأیید می‌کنند.

**مواد و روش‌ها:** مقاله حاضر یک مقاله مروری می‌باشد که به روش تحلیل محتوا (Content Analysis) با جستجوی سیستماتیک کلید واژه‌های برنج قهوه‌ای، جوانه‌دار کردن، ارتقاء ارزش تغذیه‌ای برنج و تاثیر جوانه‌زنی بر سلامت در مقاله‌های مرتبط در پایگاه‌های اینترنتی معتبر مانند Google Scholar, Web of science, PubMed و Scopus به دست آمده است.

**یافته‌ها:** این مقاله سعی دارد با مروری بر روش‌های مختلف جوانه‌دار کردن جهت رفع معایب پخت برنج قهوه‌ای و ارتقاء ارزش تغذیه‌ای آن، مشوقی برای استفاده از این نوع برنج در بین مصرف‌کنندگان ایرانی باشد. با توجه به تحقیقات متعدد و مثال‌های عملی ارائه شده در منابع معتبر، تاثیر فرایند جوانه‌زنی برنج بر افزایش تولید ترکیبات مغذی، از جمله درشت مغذی‌ها، ریز مغذی‌ها (ویتامین‌ها و مواد معدنی)، گاما آمینو بوتیریک اسید، گاما اوریزانول، فیبر غذایی، اسیدهای آمینه و ترکیبات زیست فعال تأیید شده است. اصلاح ویژگی‌های کیفی از طریق جوانه‌زنی می‌تواند برنج مغذی جایگزین را برای صنایع غذایی ارائه دهد. این تغییرات احتمالاً به علت هیدرولیز جزئی نشاسته، پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای و پروتئین‌ها در طول جوانه‌زنی اتفاق می‌افتد که به قندها، لیگوساکاریدها و اسیدهای آمینه تبدیل می‌شوند. این تغییرات باعث افزایش مواد زیستی و بهبود بافت و خوش طعم شدن برنج قهوه‌ای جوانه‌زده می‌شود.

**نتیجه‌گیری:** برنج قهوه‌ای جوانه‌زده به عنوان یکی از غذاهای سالم، به مرور زمان در جهان محبوبیت بیش‌تری پیدا می‌کند بنابراین پیشنهاد می‌شود مصرف برنج قهوه‌ای جوانه‌زده در بین مصرف‌کنندگان ایرانی نیز مورد توجه قرار گیرد زیرا بسیاری از شواهد علمی، اثرات مفید آن بر سلامتی را تأیید می‌کنند.

**واژه‌های کلیدی:** ارزش تغذیه‌ای، برنج قهوه‌ای، جوانه‌دار کردن، کیفیت پخت، گاما آمینو بوتیریک اسید.

**نوع مقاله:** مقاله پژوهشی

**نوع مقاله: دریافت:** ۱۴۰۳/۱۱/۲۱ **اصلاح:** ۱۴۰۴/۰۱/۰۶ **پذیرش:** ۱۴۰۴/۰۲/۲۰ **انتشار آنلاین:** ۱۴۰۴/۰۴/۰۷

استناد: حبیبی، ف. (۱۴۰۴). ترکیبات زیست فعال برنج قهوه‌ای جوانه‌دار شده و نقش آن در سلامت انسان. *بیوتکنولوژی و بیوشیمی غلات*، ۴(۲)، ۲۷۲-۲۹۵. DOI:

[10.22126/cbb.2025.12311.1110](https://doi.org/10.22126/cbb.2025.12311.1110)



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی

## مقدمه

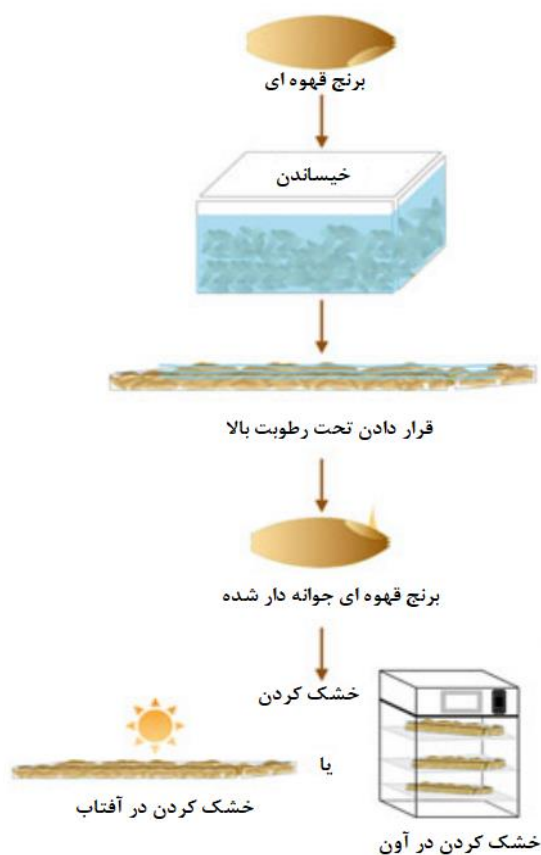
برنج قهوه‌ای، به عنوان برنج سبوس‌دار شناخته می‌شود که فقط پوسته آن جدا شده و لایه بیرونی یا سبوس هم‌چنان حفظ می‌شود. انواع مختلفی از مواد مغذی مانند لیپیدها، پروتئین‌ها، ویتامین‌ها، مواد معدنی و نیز ترکیبات زیست‌فعال هم‌چون اسیدهای فنولیک، فلاونوئیدها و گاما آمینو بوتیریک اسید ( $GABA^1$ ) عمدتاً در لایه بیرونی یا سبوس وجود دارند (Saleh *et al.*, 2019). بنابراین، مصرف برنج قهوه‌ای می‌تواند دارای مزایای سلامتی بالقوه‌ای مانند کاهش خطر ابتلا به دیابت نوع ۲، سرطان و موثر در پیشگیری از بیماری‌های قلبی عروقی باشد (Babu *et al.*, 2009). با این حال، تقاضا برای مصرف برنج قهوه‌ای به دلیل طعم ناخوشایند، بافت سفت و فساد آن در صورت نگهداری طولانی مدت، کم است. فرآیند جوانه‌زنی جهت رفع این مشکلات مورد توجه زیادی قرار گرفته است. برنج قهوه‌ای جوانه‌زده ( $GBR^2$ ) بافت نرم‌تری دارد، خوشمزه‌تر است و همچنین به زمان پخت کم‌تری نیاز دارد. مصرف برنج قهوه‌ای جوانه‌زده در چندین کشور آسیایی در حال افزایش است، زیرا دارای اثرات مفید بر سلامتی می‌باشد (Cho & Lim 2016; Patil & Khan 2011).

## روش جوانه دار کردن برنج قهوه‌ای

فرآیند جوانه‌زنی برنج قهوه‌ای را می‌توان با غوطه ور کردن برنج قهوه‌ای در آب و در دماها و زمان‌های مختلف برای

القای جوانه‌زنی خفیف در جنین دانه‌ها میسر کرد. آب پس از خیساندن تخلیه می‌شود و برنج برای جوانه‌دار شدن بیش‌تر در محیط مرطوب نگهداری می‌شود. فرآیند کلی جوانه‌زنی در شکل ۱ خلاصه شده است: دانه‌های برنج قهوه‌ای در معرض خیساندن قرار می‌گیرند و متعاقباً در دما و زمان مشخصی جوانه می‌زنند تا طول بهینه جوانه به ۰/۵ تا ۱ میلی‌متر برسد. پس از جوانه‌زنی، نمونه برای کاهش رطوبت، خشک می‌شود. ظاهر محصول نهایی مشابه برنج قهوه‌ای معمولی است.

<sup>1</sup> Gamma-aminobutyric acid<sup>2</sup> Germinated brown rice



شکل ۱- مراحل جوانه‌دار کردن برنج قهوه‌ای (Espirito *et al.*, 2021)

کامل می‌رسند. این فرآیند سه مرحله اصلی را طی می‌کند:

مرحله ۱: جذب

مرحله ۲: فعال‌سازی متابولیکی (تنفس و متابولیسم کربوهیدرات)

مرحله ۳: رشد و ظهور جوانه‌های اولیه ریشه و ساقه از پوسته

جذب آب در طول مراحل اول و سوم سریع است و در مرحله دوم توسط گازها (اکسیژن، دی‌اکسید کربن و

جوانه‌زنی دانه نتیجه جذب آب و آغاز فرآیندهای بیوشیمیایی موثر بر رشد جنین است. آب‌گیری مرحله آغازین فرآیند جوانه‌زنی است که با تورم و رشد کافی جوانه‌های اولیه گیاه پایان می‌یابد در ادامه باعث باز شدن پوسته و علائم قابل مشاهده مانند بیرون‌زدگی ریشه‌چه و یا کولتوپتیل می‌شود. رطوبت، خواب بذر، هوادهی و دمای مناسب از شرایط ضروری برای جوانه‌زنی دانه هستند. دانه‌های برنج معمولاً در رطوبت ۱۵ درصد شروع به جوانه‌زنی می‌کنند و در رطوبت ۲۵ درصد به جوانه‌زنی

متفاوت است و بستگی به عوامل متعددی دارد. خیساندن در دمای ۳۶-۳۰ درجه سانتی‌گراد و جوانه‌زنی در دمای ۳۵ یا ۳۶ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۱ تا ۹۶ ساعت به عنوان شرایط بهینه برای دستیابی به بالاترین محتوای گاما آمینو بوتیریک اسید همراه با تیامین، محتوای قند کل، اسید آمینه آزاد و ترکیبات زیست‌فعال گزارش شده است (Chaijan & Panpipat., 2020; Lin *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2015). اخیراً چندین فناوری برای بهبود خواص برنج و کمک به تجمع مواد مغذی در برنج قهوه‌ای جوانه‌زده به کار گرفته شده است. به عنوان مثال، استفاده از پلاسمای کم فشار و نانوپرایمینگ می‌تواند فعالیت آلفا آمیلاز را افزایش دهد و در نتیجه قند محلول را برای تحریک جوانه‌زنی افزایش دهد (Chen *et al.*, 2017; Mahakham *et al.*, 2016; *al.*). علاوه بر این، تکنیک‌هایی مانند مافوق صوت یا تحت فشار نیز می‌توانند بافت و طعم برنج قهوه‌ای جوانه‌زده را بهبود بخشند (Ding *et al.*, 2018; Xia *et al.*, 2017).

خیساندن برنج در محلول نمک طعام (NaCl) با غلظت ۵۰ تا ۲۰۰ میلی مولار، بر ترکیبات زیست‌فعال برنج قهوه‌ای جوانه‌زده، به ویژه گاما آمینو بوتیریک اسید و آنتوسیانین‌ها تأثیر می‌گذارد. در تحقیقات Chaiyasut و همکارانش (Chaiyasut *et al.*, 2017)، غلظت ترکیبات زیست‌فعال در محلولی حاوی ۵۰ میلی مولار NaCl بدون در نظر گرفتن مدت زمان خیساندن به طور قابل توجهی افزایش یافت و استفاده از NaCl در غلظت ۲۰۰ میلی مولار بیشترین تأثیر را در افزایش محتوای گاما آمینو

اتیلن)، مهارکننده‌های درون‌زا یا هورمون‌ها و فعالیت آنزیمی تنظیم می‌شود. نفوذپذیری پوشش دانه عاملی است که جذب آب را کنترل می‌کند و بر تبادل گاز در طول جوانه‌زنی تأثیر می‌گذارد. نقش زمان و دما در جوانه‌زنی بسیار ارشمند می‌باشد. هنگامی که زمان مجاز برای جوانه‌زنی کمتر از ۱۰ ساعت باشد، بهبود مواد مغذی و بافت برنج قهوه‌ای مطلوب بدست نمی‌آید زیرا جوانه‌زنی نمی‌تواند به طور کامل رخ دهد. دوره‌ی جوانه‌زنی بیش از ۳۰ ساعت نیز مناسب نیست زیرا جوانه‌زنی بیش از حد منجر به کاهش محتوای مواد مغذی می‌شود. اگر دمای جوانه‌زنی کمتر از ۲۰ درجه سانتی‌گراد باشد، رسیدن به سطح مطلوب جوانه‌زنی، زمان زیادی طول خواهد کشید. برعکس، اگر دما بالاتر از ۵۰ درجه سانتی‌گراد باشد، ممکن است به طور نامطلوبی باعث فساد برنج شود (Kim *et al.*, 2012).

میکروارگانیزم‌ها در طول خیساندن تولید و تکثیر می‌شوند که بر تخمیر و بوی نامطلوب آب خیس شده تأثیر می‌گذارند. بنابراین، برای جلوگیری از تخمیر و حفظ دمای ثابت آب، توصیه می‌شود هر ۴ تا ۶ ساعت تعویض شود (Patil & Khan 2011). علاوه بر این، تیمار ترکیبی بخارپز کردن به مدت ۲۰ دقیقه و سپس خیساندن در اتانول (۷۰ درصد حجمی) به مدت ۳ دقیقه به عنوان یک روش موثر برای از بین بردن رشد میکروبی در طول خیساندن گزارش شده است (Komatsuzaki *et al.*, 2007). شرایط بهینه برای دستیابی به حداکثر محتوای گاما آمینو بوتیریک اسید و سایر مواد مغذی

بوتیریک اسید ۷۰-توکوترینول و آنتوسیانین در برنج قهوه‌ای جوانه‌زده نشان داد. pH محلول مورد استفاده برای خیساندن نیز پارامتری است که بر میزان ترکیبات زیست‌فعال در برنج قهوه‌ای جوانه‌زده تأثیر می‌گذارد. مطالعه Zhang و همکارانش (Zhang et al., 2014) نشان داد که بالاترین سطح محتوای گاما آمینو بوتیریک اسید در شرایط اسیدی محلول خیساندن یافت شد. آنها همچنین دریافتند که زمان جوانه‌زنی بهینه برای به حداکثر رساندن محتوای گاما آمینو بوتیریک اسید با خیساندن برنج در محیط اسیدی، به مدت ۶ ساعت کوتاه شد. برنج قهوه‌ای که در شرایط تاریکی با شرایط رطوبت بالا جوانه می‌زند، محتوای نشاسته و پروتئین و همچنین آرابینوکسیلان و گاما آمینو بوتیریک اسید بالاتری است (Donkor et al., 2012).

#### خواص فیزیکیوشیمیایی برنج جوانه‌زده

فرآیند جوانه‌زنی می‌تواند خواص فیزیکیوشیمیایی از جمله قابلیت هضم برنج قهوه‌ای جوانه‌زده را تغییر دهد. بسیاری از مواد مغذی و مواد زیست‌فعال، از جمله خواص بیولوژیکی آنها در طول جوانه‌زنی افزایش می‌یابد. به طور خاص، محتوای گاما آمینو بوتیریک اسید، گاما اوریزانول، ترکیبات فنولی، فیبر غذایی، اسیدهای آمینه آزاد، ویتامین‌های B و E و مواد معدنی عمده‌ترین مواد زیست‌فعال هستند که در تولید برنج قهوه‌ای جوانه‌زده افزایش می‌یابند (Donkor et al., 2016؛ Cho & Lim 2016). (2012).

#### مشخصه رنگ

رنگ یکی از ویژگی‌های اصلی ارگانولپتیکی غلات است و بر میزان مصرف محصول تأثیر می‌گذارد (Xia et al., 2018). فرآیند جوانه‌زنی، قرمزی و زردی برنج قهوه‌ای جوانه‌زده را به وضوح کاهش می‌دهد و این موضوع می‌تواند به تغییرات بیوشیمیایی در طول جوانه‌زنی مربوط باشد. ترکیبات رنگ‌دانه‌ای مانند اسیدهای فنولیک و کاروتنوئیدها که عمدتاً در لایه سبوس برنج قهوه‌ای وجود دارند، در طی فرآیندهای خیساندن و جوانه‌زنی در محیط آبی پخش می‌شوند. این موضوع باعث تغییر رنگ در برنج قهوه‌ای جوانه‌زده می‌شود (Xia et al., 2020؛ Chinma et al., 2015).

#### ویژگی بافت

اکثر مصرف کنندگان برنج پخته شده‌ای را ترجیح می‌دهند که نرم و خوش طعم باشد. با این حال، برنج قهوه‌ای پخته شده دارای بافت سفت است و چسبندگی، خاصیت فنی و انعطاف پذیری پایینی دارد (Ren et al., 2020). بر این اساس، فرآیند جوانه‌زنی برای رفع این مشکل مورد توجه زیادی قرار گرفته است. جوانه‌زنی به منظور بهبود طعم و بافت برنج پخته شده، به ویژه نرم شدن بافت، افزایش شیرینی، افزایش چسبندگی، فنی بودن و بهبود خواص ارتجاعی به کار برده شده است. دلیل این تغییرات احتمالاً به علت هیدرولیز جزئی نشاسته، پلی‌ساکاریدهای غیرنشاسته‌ای و پروتئین‌ها در طول جوانه‌زنی است که به قندها، الیگوساکاریدها و اسیدهای آمینه تبدیل می‌شوند. این اتفاق باعث افزایش مواد زیستی و بهبود بافت و خوش طعم شدن برنج

قهوه‌ای جوانه‌زده می‌شود (Patil & Khan 2011; Ren et al., 2020).

در اثر فعالیت آنزیم‌های آمیلولیتیک در طی فرایند جوانه‌دار شدن، زمان پخت برنج قهوه‌ای جوانه‌زده کم‌تر شده و بافت برنج پخته شده انسجام و نرمی بسیار بیش‌تری خواهد داشت (Cho & Lim 2016). فرآیندهای پس از جوانه‌زنی مانند خشک کردن و شرایط ذخیره‌سازی نیز بر بافت و کیفیت برنج قهوه‌ای جوانه‌زده در زمان پخت تأثیرگذار است. هنگامی که برنج قهوه‌ای جوانه‌زده در خشک کن با هوای گرم در دمای ۱۳۰ درجه سانتی گراد خشک شود، سختی متفاوتی با روش خشک کردن معمولی خواهد داشت. مشاهده بافت پخته متفاوت در برنج قهوه‌ای جوانه‌زده به تعداد شکاف‌های ایجاد شده بر روی دانه‌های برنج قهوه‌ای جوانه‌زده در فرآیندهای مختلف خشک کردن مربوط است. تشکیل تعداد بیش‌تر شکاف در دانه منجر به جذب بیش‌تر آب در طول پخت و پز می‌شود و در نتیجه، سختی و چسبندگی برنج قهوه‌ای جوانه‌زده کاهش می‌یابد (Srisang et al., 2011). علاوه بر این، افزایش دما و زمان نگهداری، باعث القای سازماندهی ساختار گرانول‌ها و افزایش سختی برنج قهوه‌ای جوانه‌زده می‌شود. مقایسه دو دمای ۴ و ۳۷ درجه سانتی‌گراد جهت ذخیره‌سازی دانه‌های برنج قهوه‌ای جوانه‌زده نشان داد دانه‌های برنج قهوه‌ای جوانه‌زده نگهداری شده در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد، سختی بیش‌تری نسبت به نمونه ذخیره شده در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نشان دادند (Parnsahkorn &

Langkapin., 2013). سختی برنج قهوه‌ای جوانه‌زده پخته شده با افزایش مدت نگهداری نیز افزایش یافت. مدت زمان نگهداری و دما نه تنها بر بافت تأثیر می‌گذارد، بلکه بر طعم و مقبولیت برنج قهوه‌ای جوانه‌زده پخته شده نیز تأثیر می‌گذارد. برنج قهوه‌ای جوانه‌زده ذخیره شده در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد تا هشت ماه طعم و ظاهر خود را حفظ می‌کند. از این رو، ذخیره سازی در دمای پایین برای برنج قهوه‌ای جوانه‌زده توصیه می‌شود تا بافت و خوش طعم آن حفظ شود.

### خواص حرارتی

پیوندهای هیدروژنی موجود در گرانول‌های نشاسته در طول جوانه‌زنی توسط آنزیم‌های هیدرولیتیک از هم می‌پاشند و منجر به تضعیف پیوندهای بین مولکولی در حوزه کریستالی نشاسته می‌شوند. این عوامل باعث کاهش خواص حرارتی برنج قهوه‌ای جوانه‌زده می‌شود (Chungcharoen et al., 2014). کاهش خواص حرارتی می‌تواند بر کاهش دمای ژلاتینه شدن تأثیر بگذارد. علاوه بر این، طولانی شدن مدت زمان جوانه‌زنی ممکن است باعث هیدرولیز بیش‌تر پیوندهای هیدروژنی و تضعیف پیوند بین مولکولی در ناحیه کریستالی شود که متعاقباً مقدار آنتالپی ژلاتینه شدن نشاسته برنج قهوه‌ای جوانه‌زده را کاهش می‌دهد (Chungcharoen et al., 2014). در مقابل، مطالعه Pinkaew و همکارانش (Pinkaew et al., 2017) نشان داد که افزایش در بلورینگی نسبی و تغییرات در خواص مولکولی آمیلوپکتین در طول فرآیند جوانه‌زنی برنج قهوه‌ای، به افزایش دمای ژلاتینه شدن

نشاسته و مقدار آنتالپی برنج قهوه‌ای جوانه‌زده کمک می‌کند. برخی از مطالعات نشان دادند که تخریب نشاسته توسط آنزیم  $\alpha$ -آمیلاز در طول جوانه‌زنی باعث کاهش ویسکوزیته اوج، ویسکوزیته شکست، ویسکوزیته نهایی، ویسکوزیته پسرفت و دمای چسبندگی برنج قهوه‌ای جوانه‌زده می‌شود (Chinma et al., 2015).

### خواص تغذیه‌ای برنج جوانه‌زده

تاثیر فرآیند جوانه‌زنی بذر برنج بر افزایش تولید ترکیبات مغذی، از جمله درشت مغذی‌ها، ریز مغذی‌ها (ویتامین‌ها و مواد معدنی)، گاما آمینو بوتیریک اسید، گاما اوریزانول، فیبر غذایی، اسیدهای آمینه و ترکیبات زیست‌فعال تایید شده است (Lin et al., 2015; Sookwong et al., 2014).

### درشت مغذی‌ها

#### کربوهیدرات

کربوهیدرات درشت مغذی اصلی دانه برنج است که از نشاسته و پلی ساکاریدهای غیر نشاسته‌ای (فیبر غذایی) تشکیل شده است. جوانه‌زنی می‌تواند فرآیند پیچیده بیوشیمیایی را القا کند و محتوای نشاسته، آمیلوز و آمیلوپکتین کل برنج قهوه‌ای جوانه‌زده را کاهش دهد. به طور خاص، مولکول آمیلوز جزء اصلی تخریب در طول جوانه‌زنی است و در همین حال، قندهای کاهنده در برنج قهوه‌ای پس از جوانه‌زنی به طرز چشم‌گیری افزایش می‌یابند (Chungcharoen et al., 2014). فیبرهای غذایی در برنج قهوه‌ای تقریباً ۴/۶-۴ گرم در ۱۰۰ گرم

است که در ارقام مختلف برنج متفاوت است. مقدار کل فیبرهای غذایی را می‌توان به حدود ۳۰ گرم در هر ۱۰۰ گرم پس از جوانه‌زنی افزایش داد (Jayadeep & Malleshi, 2011; Weng et al., 2019). با این وجود، فرآیند جوانه‌زنی در یک دوره طولانی مدت باعث کاهش فیبرهای غذایی نامحلول می‌شود. بنابراین، برای جلوگیری از کاهش فیبر غذایی نامحلول، لازم است فرآیند جوانه‌زنی در یک دوره کوتاه مدت پایان یابد (Cho & Lim 2016; Jayadeep & Malleshi 2011).

### پروتئین

پروتئین دومین درشت مغذی اصلی در برنج است و مقدار آن پس از جوانه‌زنی به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد (Chinma et al., 2015). جوانه‌زنی نه تنها بر محتوای پروتئین خام تأثیر می‌گذارد، بلکه بر تغییر اسید آمینه آزاد برنج قهوه‌ای جوانه‌زده نیز تأثیر گذار است (Saleh et al., 2019). زمان جوانه‌زنی و ژنوتیپ‌های برنج به عنوان عوامل اصلی موثر بر ترکیب اسید آمینه در برنج قهوه‌ای گزارش شده است. علاوه بر این افزایش دوره جوانه‌زنی به ۷۲ تا ۱۲۰ ساعت، سطح اسید آمینه آزاد را به حداکثر می‌رساند (Chaijan & Panpipat., 2020; Wu et al., 2013). تغییرات در اسیدهای آمینه آزاد پس از جوانه‌زنی ممکن است با کاتابولیسم و آنابولیسم اسیدهای آمینه در طول فرآیند جوانه‌زنی مرتبط باشد (Xia et al., 2020).

### لیپیدها

جوانه‌زنی افزایش می‌یابد (Chaijan & Panpipat., 2020; Weng et al., 2019). محتوای ویتامین E نیز یکی از ویتامین‌های غالب در برنج قهوه‌ای است. میزان کل ویتامین E در برنج قهوه‌ای بسته به نوع ژنوتیپ بین ۱/۱۵ تا ۳/۰۲ میلی گرم در ۱۰۰ گرم گزارش شده است. غلظت کمی آن به ۲/۹۲ تا ۳/۰۶ میلی گرم در ۱۰۰ گرم پس از جوانه‌زنی افزایش می‌یابد. افزایش محتوای ویتامین E در برنج قهوه‌ای جوانه‌زده ممکن است به دلیل سنتز توکوفرول‌ها و محتوای توکوترینول به عنوان یک تسریع کننده رشد بذر در طول جوانه‌زنی باشد (Yodpitak et al., 2012; Kim et al., 2019).

#### مواد معدنی

مقدار مواد معدنی مانند منیزیم، پتاسیم و فسفر در برنج قهوه‌ای را می‌توان پس از جوانه‌زنی بهبود بخشید، در حالی که آهن، روی، سدیم و کلسیم بدون تغییر باقی می‌مانند. تغییرات در محتوای معدنی برنج قهوه‌ای جوانه‌زده با محتوای اسید فیتیک مرتبط است. اسید فیتیک به عنوان یک بازدارنده مواد معدنی عمل می‌کند و ساختار آن این قابلیت را دارد که به شدت با کاتیون‌های مواد معدنی، به ویژه کاتیون‌های دو ظرفیتی، کلات شود و در نتیجه نمک‌های نامحلول تشکیل دهد (Chinma et al., 2015). از این رو، کاهش محتوای اسید فیتیک در طی فرایند جوانه‌زنی می‌تواند عاملی برای بهبود محتوای معدنی در برنج قهوه‌ای جوانه‌دار شده باشد. در واقع افزایش فعالیت فیتاز در طول فرایند جوانه‌زنی می‌تواند

لیپیدها به عنوان سومین درشت مغذی اصلی برنج قهوه‌ای، عمدتاً در لایه بیرونی یا سبوس وجود دارند که ۲۰ درصد وزن خشک آن را تشکیل می‌دهد (Saleh et al., 2019). بر اساس مطالعات متعدد، مشخص شده است که فرایند جوانه‌زنی باعث کاهش تقریباً ۵۵ درصدی محتوای چربی برنج قهوه‌ای می‌شود. این موضوع ممکن است به لیپولیز و استفاده از چربی به عنوان منبع انرژی برای تغییرات بیوشیمیایی و فیزیکوشیمیایی در طول جوانه‌زنی برنج قهوه‌ای نسبت داده شود (Chinma et al., 2015; Jayadeep & Malleshi., 2011). علاوه بر این، محتوای اسید اولئیک، یک اسید چرب غیراشباع، که به وفور در برنج قهوه‌ای یافت می‌شود، پس از ۷۲ ساعت از فرایند جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. سایر اسیدهای چرب مانند اسید پالمیتیک، اسید پالمیتولئیک و اسید لینولئیک در مرحله اولیه جوانه‌زنی افزایش یافته اما غلظت آنها نیز به طور چشم‌گیری پس از ۷۲ ساعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (Wu et al., 2013). این موضوع نشان می‌دهد که زمان جوانه‌زنی نقش عمده‌ای در محتوای اسیدهای چرب در برنج قهوه‌ای جوانه‌زده ایفا می‌کند.

#### ریزمغذی‌ها

#### ویتامین‌ها

برنج قهوه‌ای منبع خوبی از ویتامین B1 (تیامین) است و کمبود ویتامین B1 در افراد می‌تواند باعث بیماری بری‌بری و نارسایی قلبی شود. مقدار ویتامین B1 با فرایند

### گاما اوریزانول

به دلیل اثرات متعدد تغذیه‌ای گاما اوریزانول (مانند خواص آنتی‌اکسیدانی و کاهش چربی خون و کمک به تعادل سیستم عصبی)، فراوری‌های متعددی برای دست‌یابی به بالاترین مقدار گاما اوریزانول پیشنهاد شده است. جوانه‌زنی یک فرآیند ساده برای افزایش محتوای گاما اوریزانول است. به طور کلی، محتوای کل گاما اوریزانول که در برنج قهوه‌ای یافت می‌شود تقریباً ۴ تا ۶ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم است که می‌تواند پس از ۲۴ ساعت جوانه‌زنی بین ۱/۲ تا ۱/۵ برابر افزایش یابد (Kim et al., 2012; Yodpitak et al., 2019). فرآیند جوانه‌زنی در دمای ۳۶ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت به عنوان شرایط بهینه برای به حداکثر رساندن تجمع گاما اوریزانول بیان شده است (Lin et al., 2015).

### ترکیبات فنلی

ترکیبات فنولیک به صورت محلول و نامحلول در ساختار برنج قرار گرفته‌اند. این ترکیبات ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی قوی دارند و سبب کاهش رادیکال‌های آزاد می‌شوند. هر چه میزان این ترکیبات بیش‌تر باشد، برنج از نظر تغذیه‌ای مفیدتر و مطلوب‌تر می‌باشد. میزان ترکیبات فنولیک (به صورت محلول و نامحلول) در برنج قهوه‌ای و برنج قهوه‌ای جوانه‌دار شده بیش‌تر از برنج سفید است. این تفاوت به این دلیل است که ترکیبات فنولیک بیش‌تر در سبوس برنج قرار گرفته‌اند. مقدار ترکیبات فنولیک به

سطح اسید فیتیک در برنج قهوه‌ای جوانه‌دار شده را کاهش دهد و در نتیجه باعث بهبود فراهمی زیستی مواد معدنی شود. علاوه بر اسید فیتیک، تیمار هیدروترمال نیز باعث کاهش محتویات مواد معدنی در برنج قهوه‌ای جوانه‌زده می‌شود. عملیات هیدروترمال انتشار مواد معدنی در محیط خارج سلولی در طول فرآیندهای خیساندن و یا جوانه‌زنی را می‌تواند تسریع کند (Xia & Li., 2018).

### گاما آمینو بوتیریک اسید

گاما آمینو بوتیریک اسید (GABA) یک اسید آمینه غیر پروتئینی است که به طور طبیعی در غذاها یافت می‌شود. مصرف غذاهای غنی شده با گاما آمینو بوتیریک اسید به کاهش فشار خون و کلسترول کمک می‌کند. این ترکیب می‌تواند به بهبود عملکرد کلیه، کبد و قلب و عروق، مهار رشد سرطانی کمک کرده و از بیماری آلزایمر نیز جلوگیری کند (Ren et al., 2020). محتوای گاما آمینو بوتیریک اسید تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند دوره برداشت، شرایط جوانه‌زنی و ژنوتیپ‌های برنج قرار می‌گیرد (Wu et al., 2013). شرایط خیساندن در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت و جوانه‌زنی در حدود ۳۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۱ تا ۹۶ ساعت، به عنوان شرایط مناسب برای به حداکثر رساندن محتوای گاما آمینو بوتیریک اسید در برنج قهوه‌ای جوانه‌زده گزارش شده است (Lin et al., 2015; Weng et al., 2019). محتوای گاما آمینو بوتیریک اسید در برنج قهوه‌ای می‌تواند ۱۲ تا ۱۳ برابر پس از جوانه‌زنی در مقایسه با برنج قهوه‌ای افزایش یابد (Oh., 2003).

صورت نامحلول در برنج، بسیار بیشتر از میزان این ترکیبات به صورت محلول است.

ترکیبات فنلی به طور کلی به عنوان یک متابولیت ثانویه گیاهی شناخته می‌شوند و می‌توانند به عنوان آنتی‌اکسیدان در برابر رادیکال‌های آزاد و اشعه ماوراء بنفش عمل کنند (Shao & Bao., 2015). فرآیند جوانه‌زنی بیوسنتز ترکیبات فنلی را تحریک کرده و در نتیجه باعث افزایش غلظت ترکیبات فنلی در برنج قهوه‌ای جوانه‌زده می‌شود (Chinma et al., 2015; Yodpitak et al., 2019). اسیدهای فنولیک، مهم‌ترین ترکیبات فنلی موجود در برنج قهوه‌ای هستند. شرایط جوانه‌زنی در تاریکی در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ ساعت به عنوان یک شرایط بهینه برای به حداکثر رساندن اسیدهای فنولیک آزاد در یک رقم برنج قهوه‌ای گزارش شده است. مقدار اسیدهای فنولیک را تا ۳ برابر پس از جوانه‌زنی در مقایسه با برنج قهوه‌ای جوانه نزده می‌توان ارتقاء داد (Ti et al., 2014).

### فعالیت آنتی‌اکسیدانی

ترکیبات زیست‌فعال متعددی که در دانه برنج قهوه‌ای وجود دارند، اثرات بالقوه‌ای به عنوان آنتی‌اکسیدان نشان می‌دهند. افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌تواند از بروز بیماری‌های مزمن جلوگیری کند. جوانه‌زنی یکی از تکنیک‌های بالقوه برای افزایش آنتی‌اکسیدان‌ها از طریق ارتقاء تبدیل بیوشیمیایی آنهاست (Xia et al., 2020).

دما و زمان جوانه‌زنی به عنوان عوامل کلیدی موثر بر تغییر در فعالیت آنتی‌اکسیدانی در برنج قهوه‌ای جوانه‌زده

می‌باشند. سطح فعالیت آنتی‌اکسیدانی در برنج قهوه‌ای را می‌توان به دو تا چهار برابر پس از جوانه زدن افزایش داد. علاوه بر این، برنج جوانه‌دار شده در دمای بالاتر (۳۴ درجه سانتی‌گراد)، فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری نسبت به برنج جوانه‌دار شده در دمای پایین‌تر (۲۸ درجه سانتی‌گراد) نشان داده است (Caceres et al., 2014). با افزایش دما و زمان جوانه‌زنی، تجمع ترکیبات فنلی نیز بیشتر می‌شود. تجمع بیشتر این ترکیبات منجر به فعالیت مهارکنندگی پراکسیل شده و در نتیجه فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالا می‌رود. ظرفیت فعالیت آنتی‌اکسیدانی بر اساس شرایط مختلف جوانه‌زنی و ژنوتیپ‌های برنج متفاوت است (Lin et al., 2015). در ارقام مختلف برنج قهوه‌ای، ظرفیت فعالیت آنتی‌اکسیدانی پس از جوانه‌زنی تقریباً از ۱۳ تا ۷۵ درصد متغیر است.

### خواص گوارشی

#### قابلیت هضم نشاسته

نشاسته یکی از کربوهیدرات‌های مهم در برنج است که در بخش اندوسپرم موجود است و تقریباً ۹۰٪ وزن آن را تشکیل می‌دهد. نشاسته را از نظر قابلیت هضم می‌توان به نشاسته سریع هضم (RDS<sup>3</sup>)، نشاسته دیر هضم (SDS<sup>4</sup>) و نشاسته مقاوم به آنزیم (RS<sup>5</sup>) طبقه‌بندی کرد. قابلیت هضم نشاسته برنج هم به خواص ژنتیکی آن بستگی دارد و به عوامل بیرونی یا محیطی (Sivakamasundari et

<sup>3</sup> Digestible starch

<sup>4</sup> Slowly digestible starch

<sup>5</sup> Resistant starch

همچنین قابلیت هضم نشاسته می‌تواند پارامتری باشد که شاخص گلیسمی (GI<sup>۶</sup>) برنج را نشان دهد. شاخص گلیسمی در برنج قهوه‌ای در مقادیر متفاوتی از حدود ۵۷ تا ۷۵ یافت شده است و بستگی به نوع رقم دارد (Rattanamechaikul *et al.*, 2014). چندین مطالعه بیان کرده‌اند که جوانه‌زنی اثر بالقوه‌ای بر کاهش سطح گلوکز خون پس از غذا به دلیل مهار فعالیت‌های استرول گلوکزید،  $\alpha$ -آمیلاز و  $\alpha$ -گلوکوزیداز دارد. بنابراین، مصرف برنج قهوه‌ای جوانه‌زده ممکن است به کنترل سطح گلوکز خون پس از غذا بدون افزایش ترشح انسولین و کاهش سطح شاخص گلیسمی کمک کند (Donkor *et al.*, 2011; Patil & Khan., 2012).

#### قابلیت هضم پروتئین

فرآیند جوانه‌زنی می‌تواند پروتئولیز را افزایش دهد و با افزایش دما و زمان جوانه‌زنی، غلظت آن افزایش می‌یابد. پروتئولیز، هیدرولیز پیوندهای پپتیدی است که از آن به عنوان تجزیه پروتئین‌ها به پپتیدهای کوچکتر یا اسیدآمینه منفرد یاد می‌شود (Raju., 2019). قابلیت هضم پروتئین‌ها در برنج قهوه‌ای جوانه‌زده تقریباً ۴۸-۵۹ درصد بیش‌تر از برنج قهوه‌ای معمولی است. بهبود هضم پروتئین با افزایش فعالیت پروتئاز در طول جوانه‌زنی ایجاد می‌شود که تشکیل پپتیدهای مختلف و اسیدهای آمینه آزاد شده از دانه‌های جوانه‌زده را تسهیل می‌کند (Caceres *et al.*, 2014; Lekjing & )

(Venkatachalam., 2020). با این وجود، قابلیت هضم پروتئین به وجود ترکیبات فنلی محلول از جمله تانن‌ها نیز مرتبط است و این ترکیبات فنلی می‌توانند با دسته‌ای از پروتئین‌ها مانند آنزیم‌های پروتئولیتیک کمپلکس نامحلول تشکیل دهند و در نتیجه توانایی هضم پروتئین‌ها را کاهش دهند (Lemmens *et al.*, 2019). بنابراین، افزایش ترکیبات فنلی محلول در طول جوانه‌زنی، ممکن است اثر نامطلوبی بر هضم پروتئین در برنج قهوه‌ای جوانه‌زده نشان دهد.

#### قابلیت هضم لیپید

به طور کلی قابلیت هضم لیپیدها وابسته به فعالیت لیپاز است و این فعالیت آنزیمی می‌تواند با فرآیند جوانه‌زنی تشدید شود. به طور خاص، افزایش دمای جوانه‌زنی هیدرولیز محتویات لیپید به گلیسرول و اسیدهای چرب آزاد را تسریع می‌کند (Lemmens *et al.*, 2019). در مطالعات بالینی، مصرف برنج قهوه‌ای جوانه‌دار شده به مدت ۱ ماه تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر کاهش گلوکز پلاسما، میزان قند خون ناشتا و همچنین میزان قند خون پس از مصرف غذا، کاهش تری گلیسیرید و کلسترول تام در بیماران مبتلا نشان داد (Ren *et al.*, 2020). بر اساس این یافته‌ها، مصرف مداوم برنج قهوه‌ای جوانه‌زده به عنوان یک وعده غذایی به بهبود متابولیسم گلیکولیپید و سطح لیپید و همچنین کنترل وزن بدن و فشار خون کمک می‌کند.

#### فراهمی زیستی مواد معدنی

<sup>6</sup> Glycemic index

محتوای اسید فیتیک به عنوان یک عامل ضد تغذیه‌ای، تأثیر منفی بر فراهمی زیستی مواد معدنی دارد (Benincasa et al., 2019). افزایش فعالیت فیتاز در طول فرآیند جوانه‌زنی می‌تواند سطح اسید فیتیک در برنج قهوه‌ای جوانه‌دار شده را کاهش دهد و در نتیجه باعث بهبود فراهمی زیستی مواد معدنی شود (Chinma et al., 2015).

### تأثیر جوانه‌زنی بر خواص پخت و بافت برنج قهوه‌ای

اگرچه برنج قهوه‌ای معمولی ارزش غذایی بالایی دارد، اما به دلیل خواص پخت ضعیف، محبوبیت آن کم است. با این حال، برنج قهوه‌ای جوانه‌زده به راحتی پخته می‌شود و بافت آن نرم‌تر از برنج قهوه‌ای است. بنابراین، برنج قهوه‌ای جوانه‌زده می‌تواند به یک غذای سالم محبوب تبدیل شود (Wu et al., 2013). مطالعات متعددی نشان داده‌اند که جوانه‌زنی، بافت و قابلیت پذیرش برنج قهوه‌ای را بهبود می‌بخشد و همچنین فراهمی زیستی مواد مغذی و فیتوشیمیایی را افزایش می‌دهد (Tian et al., 2004). در طول جوانه‌زنی، تغییراتی در ویژگی‌های بیوشیمیایی، تغذیه‌ای و حسی رخ می‌دهد که منجر به تخریب کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها می‌شود که به طور قابل توجهی بر خواص پخت و بافت برنج تأثیر می‌گذارد. برخلاف برنج سفید، برنج قهوه‌ای جوانه‌زده شیرینی بیش‌تری دارد. جیامیانگ‌یوئن و اورایکول (Jiamyangyuen & Ooraikul., 2008) گزارش دادند که اثرات جوانه‌زنی بر خواص پخت و بافت برنج پخته‌شده، کاملاً مشهود است و برنج جوانه‌زده به زمان پخت کمتری نیاز دارد و آب

جذب‌شده توسط دانه‌ها نیز بیشتر است. با توجه به ارزیابی حسی، آن‌ها نشان دادند که برنج جوانه‌زده پخته‌شده شیرین‌تر، نرم‌تر، متورم‌تر و منسجم‌تر از برنج قهوه‌ای معمولی بوده و هضم آن نیز آسان‌تر است. جوانه‌زنی روشی کارآمد است که بافت نرم برنج قهوه‌ای را پس از پخت فراهم می‌کند. در طول جوانه‌زنی، آنزیم‌های هیدرولیتیک تولید و فعال می‌شوند (Banchuen et al., 2009). این آنزیم‌ها پیوندهای هیدروژنی در پلیمرهایی با وزن مولکولی بالا، به‌ویژه نشاسته را تخریب می‌کنند. تجزیه نشاسته باعث تغییر خواص بافتی می‌شود. کیفیت خوب برنج جوانه‌زده به زمان جوانه‌زنی و دمای خشک شدن بستگی دارد. طولانی‌تر شدن زمان جوانه‌زنی، تجزیه بیشتر نشاسته و سطح بالاتری از اجزای زیست‌فعال را فراهم می‌کند. علاوه بر این، تجزیه نشاسته در طول جوانه‌زنی ممکن است به دلیل استحکام ضعیف‌تر دانه‌ها به دلیل تعداد بیشتر دانه‌های ترک خورده، بر خصوصیات بافت و کیفیت محصول تأثیر بگذارد (Chungcharoen et al., 2015). همچنین جوانه‌زنی باعث کاهش مقدار آمیلوز در برنج قهوه‌ای می‌شود که یکی از عوامل کلیدی برای تعیین کیفیت و بافت خوراکی برنج پخته شده است. جوانه‌زنی برنج قهوه‌ای، زمان پخت آن را کاهش می‌دهد و جذب آب توسط دانه در طول جوانه‌زنی سبب افزایش اندازه آن می‌گردد. برنج جوانه‌داری پخته شده نسبت به برنج قهوه‌ای معمولی پخته شده، دارای بافت نرم‌تر، منسجم‌تر و متورم‌تر بوده و طعم شیرین‌تری دارد (Jiamyangyuen & Ooraikul., 2008). نرم‌تر شدن

بافت طی فرآیند جوانه‌زنی به سبب تغییرات فیزیولوژیکی برنج و فعالیت آنزیمی صورت می‌گیرد (Kim et al., 2007).

### تأثیر جوانه‌زنی بر خواص تغذیه‌ای برنج قهوه‌ای

فرآیند جوانه‌زنی یک فناوری ارزان و مؤثر برای بهبود کیفیت غلات است. فرآیند جوانه‌زنی منجر به اصلاح ساختاری و سنتز ترکیبات جدید با فعالیت زیستی بالا می‌شود و می‌تواند ارزش غذایی و پایداری دانه‌ها را افزایش دهد. مقدار پروتئین، منیزیم، فسفر، پتاسیم و آنتی‌اکسیدانی برنج پس از جوانه‌زنی افزایش یافته در حالی که محتوای اسید فیتیک و کل نشاسته کاهش می‌یابد (Chinma et al., 2015; Kayahara و همکارانش Kayahara et al., 2001). مشاهده کردند که در فرایند جوانه‌دار شدن نه تنها مواد مغذی موجود افزایش می‌یابند، بلکه اجزای جدیدی نیز از تغییرات درونی ناشی از جوانه‌زنی آزاد می‌شوند. مواد مغذی که به طور قابل توجهی در فرآیند جوانه‌زنی افزایش می‌یابند شامل گاما آمینوبوتیریک اسید، لیزین، ویتامین E، فیبر غذایی، نیاسین، منیزیم، ویتامین B1 و ویتامین B6 است. سایر مواد مغذی که در برنج قهوه‌ای جوانه‌زده افزایش می‌یابند عبارتند از اینوزیتول، اسید فرولیک، توکوترینول‌ها، پتاسیم، روی و ۷-اوریزانول. به طور خاص، مقدار گاما آمینوبوتیریک اسید در برنج قهوه‌ای جوانه‌زده ده برابر بیشتر از برنج سفید و دو برابر بیشتر از برنج قهوه‌ای است.

### توسعه محصولات جانبی از برنج قهوه‌ای جوانه‌زده

برنج قهوه‌ای جوانه‌زده بعد از جوانه‌دار شدن، خشک شده و به بازار عرضه می‌شود. فرآیند خشک کردن، علاوه بر اینکه ارزش تغذیه‌ای برنج قهوه‌ای جوانه‌دار را حفظ می‌کند، سبب افزایش مدت ماندگاری محصول نیز می‌شود. از برنج قهوه‌ای جوانه‌دار شده علاوه بر مصرف مستقیم، برای تهیه و تولید محصولاتی مانند آرد، نان، نودل، دونات، کلوچه، سوپ و غلات صبحانه نیز استفاده می‌شود. به منظور بهره‌گیری بیشتر از مواد مغذی محصولات مبتنی بر برنج، استفاده از برنج قهوه‌ای جوانه‌زده به عنوان ماده اولیه، از اهمیت خاصی برخوردار است. برنج قهوه‌ای جوانه‌زده منبع غنی از اجزای زیست‌فعال و مواد معدنی است. در سراسر جهان محصولاتی با ارزش افزوده از برنج قهوه‌ای جوانه‌زده، چه به تنهایی و چه در ترکیب با سایر مواد تشکیل‌دهنده، تولید شده‌اند. استفاده از برنج قهوه‌ای جوانه‌زده به عنوان یک ماده اولیه در تولید محصولات نانوایی مانند کلوچه، نان و کیک یکی از رویکردهای بهبود کیفیت تغذیه‌ای و ترکیبات زیست‌فعالی آنها محسوب می‌شود (Chung et al., 2014; Chalermchaiwat et al., 2015). آرد برنج جوانه‌زده قابلیت مناسبی را برای استفاده به عنوان ماده اولیه در نان‌پزی بدون گلوتن نشان داده است. زمان جوانه‌زنی برنج تأثیر قابل توجهی بر خواص آرد و کیفیت نان حاصله دارد. در مطالعه‌ای آردهای به دست آمده پس از ۲۴ ساعت جوانه‌زنی منجر به بهبود بافت نان شدند که ممکن است به افزایش فعالیت آمیلاز و همچنین تخریب نشاسته نسبت داده شود. رنگ نان نیز در نتیجه واکنش قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی بهبود

یافت اما جوانه‌زنی بیش از حد، کیفیت محصول را در نتیجه آمیلولیز گسترده خراب کرد (Patil & Khan., 2015; Cornejo & Rosell., 2011; Cornejo و همکارانش (Cornejo et al., 2015)، تأثیر شرایط جوانه‌زنی بر فواید تغذیه‌ای نان حاصل از برنج قهوه‌ای جوانه‌زده را مطالعه کردند. در مقایسه زمان‌های مختلف جوانه‌زنی (۰، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ساعت)، جوانه‌زنی به مدت ۴۸ ساعت، نانی با کیفیت تغذیه‌ای برتر را فراهم کرد. در مجموع، به نظر می‌رسد جوانه‌زنی روشی طبیعی و پایدار برای بهبود کیفیت تغذیه‌ای نان‌های برنج بدون گلوتن باشد. Morita و همکارانش (Morita et al., 2007) از افزودنی‌های مختلفی برای تهیه نان برنج قهوه‌ای جوانه‌زده استفاده کردند تا نان برنج قهوه‌ای جوانه‌زده با خواص تغذیه‌ای بالا را تهیه کنند. در این مطالعه جایگزینی ۳۰ درصدی آرد گندم با برنج قهوه‌ای جوانه‌زده، باعث بهبود کیفیت نان و مقبولیت حسی آن شد.

Ohtsubo و همکارانش (Ohtsubo et al., 2005) برنج قهوه‌ای جوانه‌زده پفکی تهیه کردند که حاوی مقدار قابل توجهی اوریزانول، اینوزیتول، اسید فرولیک و فیبرهای غذایی بود. علاوه بر این، آنها مشاهده کردند که محصولات تهیه شده از برنج قهوه‌ای جوانه‌زده توسط اکستروژن، حاوی اسیدهای آمینه آزاد، گاما آمینوبوتیریک اسید، آلانین، اسید آسپارتیک و اسید گلوتامیک بیشتری نسبت به برنج سفید و قهوه‌ای بود. نان گندم تهیه‌شده با ۳۰٪ برنج قهوه‌ای جوانه‌زده، حاوی گاما آمینوبوتیریک اسید و قندهای آزاد مانند مالتوز بیشتری نسبت به نان گندم

معمولی بود. در آزمایش ارزیابی حسی یا ارگانولپتیک، نان تولیدشده شیرین‌تر و به همان اندازه خوش‌طعم‌تر بود. جایگزینی آرد گندم با آرد برنج قهوه‌ای جوانه‌زده برای کوکی‌های شکری منجر به افزایش رطوبت باقی‌مانده و کاهش سختی و سفتی بافت شد. بنابراین برنج قهوه‌ای جوانه‌زده تیمار شده با حرارت و رطوبت مناسب، جایگزین مؤثری برای آرد گندم در تهیه کوکی با کیفیت و ارزش غذایی بهتر است (Chung et al., 2014). در تهیه رشته فرنگی، افزودن آرد برنج قهوه‌ای جوانه‌زده به آرد گندم، کیفیت پخت و بافت رشته‌های پخته‌شده را به‌طور چشم‌گیری تغییر می‌دهد و منجر به افزایش کیفیت پخت و نرمی آن می‌شود. با این حال، تیمار حرارتی-رطوبتی برنج قهوه‌ای جوانه‌زده ظاهراً خواص خمیری مخلوط آرد گندم و برنج قهوه‌ای جوانه‌زده را تغییر می‌دهد و رشته‌های ساخته‌شده از آرد حاوی برنج قهوه‌ای جوانه‌زده، کیفیت پخت و بافت بهبودیافته‌ای را در مقایسه با رشته‌های تهیه شده از گندم به تنهایی دارد. با این حال، تیمار حرارتی-رطوبتی اغلب باعث تیره شدن و تغییر طعم به دلیل واکنش میلارد می‌شود که برای استفاده از برنج قهوه‌ای جوانه‌زده باید به دقت در نظر گرفته شود (Chung et al., 2012).

#### فواید برنج قهوه‌ای جوانه‌زده برای سلامتی

امروزه توجه ویژه‌ای به غذاهایی می‌شود که نقش مهمی در پیشگیری از بیماری یا کاهش پیشرفت بیماری‌های مزمن از طریق تأمین مواد مغذی ضروری با مصرف منظم دارند (Viuda-Martos et al., 2010). اخیراً، فواید برنج

همکارانش (Roohinejad *et al.*, 2010) مشاهده کردند که اثر ضد کلسترول بالای گاما-اوریزانول تا حدی به دلیل بخش استرول آن است که توسط کلسترول استراز از بخش اسید فرولیک در روده کوچک جدا می‌شود.

علاوه بر این، رژیم غذایی برنج قهوه‌ای جوانه‌زده می‌تواند سطح آنزیم‌های کبدی را نیز کاهش دهد (Esa *et al.*, 2013). نتایج نشان می‌دهد که مصرف منظم برنج قهوه‌ای جوانه‌زده نیم‌پز می‌تواند التهاب و فیبروز کبد را نیز کاهش دهد. برنج قهوه‌ای جوانه‌زده یک غذای رژیمی کاربردی‌تر در کاهش خطر آتروژنز و بیماری عروق کرونر قلب از طریق محافظت در برابر اکسیداسیون لیپوپروتئین است. نتایج مطالعات اپیدمیولوژیک و بالینی متعددی نشان داده‌اند که مصرف فیبر غذایی می‌تواند از طریق تأثیر بر کلسترول لیپوپروتئین با چگالی کم، خطر بیماری‌های قلبی عروقی را به طور مؤثر کاهش دهد (Estruch *et al.*, 2009; Kendall *et al.*, 2010). گاما آمینوبوتیریک اسید، که پس از جوانه‌زنی به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد، افزایش سطح کلسترول را سرکوب می‌کند (Oh *et al.*, 2003). برنج قهوه‌ای جوانه‌زده می‌تواند با تعدیل متابولیسم لیپید و استرس اکسیداتیو، خطر بیماری‌های قلبی عروقی را کاهش دهد. فشار خون بالا یا پرفشاری خون، یکی از مظاهر بیماری قلبی عروقیست همچنان به عنوان یکی از علل اصلی مرگ و میر بشمار می‌رود. نتایج تحقیقات نشان داده است که برنج قهوه‌ای جوانه‌زده در کاهش فشار خون نقش دارد (Ebizuka *et al.*, 2009). اثر ضد فشار خون برنج

قهوه‌ای جوانه‌زده برای سلامتی، توجه تعداد فزاینده‌ای از محققان را به خود جلب کرده است و رابطه بین رژیم غذایی برنج قهوه‌ای جوانه‌زده و پیشگیری از برخی بیماری‌ها کاملاً مشخص شده است. با توجه به شواهد علمی اثرات مفید مصرف برنج قهوه‌ای جوانه‌زده بر سلامتی و کاهش خطر بیماری‌هایی مانند چاقی، بیماری‌های قلبی عروقی، دیابت نوع ۲، بیماری‌های عصبی و پوکی استخوان، مورد توجه قرار گرفته است. در دنیا برنج قهوه‌ای جوانه‌زده به عنوان یک جایگزین طبیعی و ارزان برای برنج سفید معمولی جهت بهبود وضعیت تغذیه‌ای و سلامت جمعیت زیادی که در حال حاضر برنج را به عنوان غذای اصلی مصرف می‌کنند، شناخته شده است. برنج قهوه‌ای جوانه‌زده به دلیل ترکیبات زیست‌فعال خود در بین مصرف‌کنندگان آگاه به سلامت، مانند بیماران دیابتی، بیماران مبتلا به کلسترول بالا و بیماران مبتلا به فشار خون بالا، محبوب شده است (Ito *et al.*, 2005; Wu *et al.*, 2013; Wunjuntuk *et al.*, 2016). روحی‌نژاد و همکارانش (Roohinejad *et al.*, 2010) مشاهده کردند که مقدار کلسترول خون را می‌توان با استفاده از مصرف برنج قهوه‌ای جوانه‌زده تعدیل کرد بنابراین برنج قهوه‌ای جوانه‌زده یک غذای رژیمی کاربردی‌تر است که بر کلسترول بالای خون تأثیر می‌گذارد. اثر عالی کاهش چربی خون توسط برنج قهوه‌ای جوانه‌زده ممکن است به دلیل غلظت بالای ترکیباتی مانند گاما آمینوبوتیریک اسید، فیبرهای غذایی، گاما-اوریزانول یا سایر آنتی‌اکسیدان‌ها باشد. روحی‌نژاد و

قهوه‌ای جوانه‌زده ممکن است به دلیل عملکرد پیچیده اجزای مختلفی باشد که به وفور در برنج جوانه‌زده یافت می‌شوند، از جمله گاما آمینوبوتیریک اسید، فیبر غذایی، ۷-اوریزانول و فرولیک اسید. فرولیک اسید، که محتوای آن پس از جوانه‌زنی به میزان زیادی افزایش می‌یابد (Wunjuntuk et al., 2016).

شواهد قانع‌کننده‌ای وجود دارد که نشان می‌دهد برنج قهوه‌ای جوانه‌زده عمدتاً حاوی مواد فعال بیولوژیکی است که خواص پیشگیرانه و ضد توموری را ایجاد می‌کند. برنج قهوه‌ای جوانه‌زده می‌تواند انتخاب خوبی در یک رژیم غذایی جهت پیشگیری از سرطان باشد. Tian و همکارانش (Tian et al., 2004) و Lim و Cho (Lim & Lim., 2016) دریافتند که عصاره برنج قهوه‌ای جوانه‌زده با سطوح افزایش‌یافته گاما آمینوبوتیریک اسید، تکثیر سلول‌های لوسمی را مهار کرده و مرگ سلول‌های سرطانی را تحریک می‌کند. همچنین گزارش شده است گاما آمینوبوتیریک اسید، که در برنج قهوه‌ای جوانه‌زده فراوان است، رشد تومور در اپیتلیوم‌های کوچک را سرکوب می‌کند (Schuller et al., 2008).

نتایج تحقیقات نشان داده که برنج قهوه‌ای جوانه‌زده یک ماده غذایی خوب در پیشگیری از دیابت و عوارض مرتبط با آن است. اثرات مفید برنج جوانه‌زده قهوه‌ای بر کاهش سطح گلوکز خون ناشتا در مقالات مختلفی گزارش شده است. سطح گلوکز خون پس از غذا هم در بیماران غیر دیابتی و هم در بیماران مبتلا به دیابت کنترل نشده که رژیم‌های غذایی حاوی جوانه برنج قهوه‌ای مصرف

می‌کردند، نسبت به افرادی که رژیم‌های غذایی حاوی برنج داشتند پایین‌تر گزارش شد (Ito et al., 2005)؛ Hsu et al., 2008). کاهش سطح گلوکز خون و بروز عوارض عروقی و دیابتی در بیمارانی که رژیم غذایی غنی از برنج جوانه‌زده مصرف می‌کنند، ممکن است ناشی از محتوای فیبر غذایی بسیار بالاتر سبوس برنج جوانه‌زده باشد (Seki et al., 2005). اسید گاما آمینوبوتیریک تولید شده در طول جوانه‌زنی برنج قهوه‌ای یا ویتامین‌ها و مواد معدنی موجود در برنج قهوه‌ای جوانه‌زده نیز ممکن است با کاهش قند خون یا جلوگیری از عوارض دیابت مرتبط باشد (Usuki et al., 2007).

### نتیجه‌گیری

برنج قهوه‌ای جوانه‌زده به عنوان یکی از غذاهای سالم، روز به روز در جهان محبوبیت بیش‌تری پیدا می‌کند. چندین روش برای بهینه‌سازی شرایط جوانه‌زنی و به حداکثر رساندن ویژگی‌های مفید برنج قهوه‌ای جوانه‌زده وجود دارد. فرآیند جوانه‌زنی تغییرات قابل توجهی در نمونه برنج ایجاد می‌کند که تأثیر قابل توجهی بر خواص آن دارد. فرآیند جوانه‌زنی عموماً منجر به بهبود سطح ترکیبات فیتوشیمیایی مانند گاما آمینوبوتیریک اسید، ۷-اوریزانول، فرولیک اسید، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، مواد معدنی و ویتامین‌ها می‌شود. اصلاح ویژگی‌های کیفی از طریق جوانه‌زنی می‌تواند برنج مغذی جایگزینی را برای صنایع غذایی ارائه دهد. پیشنهاد می‌شود مصرف برنج قهوه‌ای جوانه‌زده در بین مصرف‌کنندگان ایرانی نیز مورد توجه قرار گیرد زیرا شواهد علمی بسیاری اثرات مفید آن بر

سلامتی خصوصاً کاهش خطر بیماری‌هایی مانند چاقی،  
عصبی را تأیید می‌کنند.  
بیماری‌های قلبی عروقی، دیابت نوع ۲ و بیماری‌های .

## References

- Babu, P.D., Subhasree, R., Bhakayaraj, R. & Vidhyalakshmi, R. 2009. Brown rice-beyond the color reviving a lost health food-a review. *Magnesium*, 187(13.10), pp.67-72. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.pjar/2020/33.3.445.453>.
- Benincasa, P., Falcinelli, B., Lutts, S., Stagnari, F. & Galieni, A. 2019. Sprouted grains: A comprehensive review. *Nutrients*, 11(2), p.421. <https://doi.org/10.3390/nu11020421>.
- Caceres, P.J., Martinez-Villaluenga, C., Amigo, L., & Frias, J. 2014. Maximising the phytochemical content and antioxidant activity of Ecuadorian brown rice sprouts through optimal germination conditions. *Food chemistry*, 152, pp.407-414. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.156>.
- Chaijan, M. & Panpipat, W. 2020. Nutritional composition and bioactivity of germinated Thai indigenous rice extracts: A feasibility study. *Plos one*, 15(8), p.e0237844. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237844>.
- Chalermchaiwat, P., Jangchud, K., Jangchud, A., Charunuch, C. & Prinyawiwatkul, W. 2015. Antioxidant activity, free gamma-aminobutyric acid content, selected physical properties and consumer acceptance of germinated brown rice extrudates as affected by extrusion process. *LWT-Food Science and Technology*, 64(1), pp.490-496. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.04.066>.
- Chaiyasut, C., Sivamaruthi, B.S., Pengkumsri, N., Saelee, M., Kesika, P., Sirilun, S., Fukngoen, P., Jampatip, K., Khongtan, S. & Peerajan, S. 2017. Optimization of conditions to achieve high content of gamma amino butyric acid in germinated black rice, and changes in bioactivities. *Food Science and Technology*, 37(suppl 1), pp.83-93. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.33416>.
- Chen, H.H., Chang, H.C., Chen, Y.K., Hung, C.L., Lin, S.Y. & Chen, Y.S. 2016. An improved process for high nutrition of germinated brown rice production: Low-pressure plasma. *Food chemistry*, 191, pp.120-127. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.01.083>.
- Chinma, C.E., Anuonye, J.C., Simon, O.C., Ohiare, R.O. & Danbaba, N. 2015. Effect of germination on the physicochemical and antioxidant characteristics of rice flour from three rice varieties from Nigeria. *Food chemistry*, 185, pp.454-458. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.010>.
- Cho, D.H. & Lim, S.T. 2016. Germinated brown rice and its bio-functional compounds. *Food Chemistry*, 196, pp.259-271. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.025>.
- Chung, H.J., Cho, A. & Lim, S.T. 2014. Utilization of germinated and heat-moisture treated brown rices in sugar-snap cookies. *LWT-Food Science and Technology*, 57(1), pp.260-266. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.01.018>.
- Chung, H.J., Cho, D.W., Park, J.D., Kweon, D.K. & Lim, S.T. 2012. In vitro starch digestibility and pasting properties of germinated brown rice after hydrothermal treatments. *Journal of Cereal Science*, 56(2), pp.451-456. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.03.010>.

- Chungcharoen, T., Prachayawarakorn, S., Tungtrakul, P. & Soponronnarit, S. 2014. Effects of germination process and drying temperature on gamma-aminobutyric acid(GABA) and starch digestibility of germinated brown rice. *Drying Technology*, 32(6), pp.742-753. <https://doi.org/10.1080/07373937.2013.879387>.
- Chungcharoen, T., Prachayawarakorn, S., Tungtrakul, P. & Soponronnarit, S. 2015. Effects of germination time and drying temperature on drying characteristics and quality of germinated paddy. *Food and bioproducts processing*, 94, pp.707-716. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2014.09.013>.
- Cornejo, F. & Rosell, C.M. 2015. Influence of germination time of brown rice in relation to flour and gluten free bread quality. *Journal of food science and technology*, 52, pp.6591-6598. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1720-8>.
- Ding, J., Ulanov, A.V., Dong, M., Yang, T., Nemzer, B.V., Xiong, S., Zhao, S. & Feng, H. 2018. Enhancement of gama-aminobutyric acid (GABA) and other health-related metabolites in germinated red rice (*Oryza sativa* L.) by ultrasonication. *Ultrasonics sonochemistry*, 40, pp.791-797. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.08.029>.
- Donkor, O.N., Stojanovska, L., Ginn, P., Ashton, J. & Vasiljevic, T. 2012. Germinated grains–Sources of bioactive compounds. *Food chemistry*, 135(3), pp.950-959. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.05.058>.
- Ebizuka, H., Ihara, M. & Arita, M. 2009. Antihypertensive effect of pre-germinated brown rice in spontaneously hypertensive rats. *Food Science and Technology Research*, 15(6), pp.625-630. <https://doi.org/10.3136/fstr.15.625>.
- Esa, N.M., Kadir, K.K.A., Amom, Z. & Azlan, A. 2013. Antioxidant activity of white rice, brown rice and germinated brown rice(in vivo and in vitro) and the effects on lipid peroxidation and liver enzymes in hyperlipidaemic rabbits. *Food chemistry*, 141(2), pp.1306-1312. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.03.086>.
- Espirito Santo Pereira, A., Caixeta Oliveira, H., Fernandes Fraceto, L. & Santaella, C., 2021. Nanotechnology potential in seed priming for sustainable agriculture. *Nanomaterials*, 11(2), p.267. <https://doi.org/10.3390/nano11020267>.
- Estruch, R., Martinez-Gonzalez, M.A., Corella, D., Basora-Gallisá, J., Ruiz-Gutierrez, V., Covas, M.I., Fiol, M., Gómez-Gracia, E., Lopez-Sabater, M.C., Escoda, R. & Pena, M.A. 2009. Effects of dietary fibre intake on risk factors for cardiovascular disease in subjects at high risk. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 63(7), pp.582-588. <https://doi.org/10.1136/jech.2008.082214>.
- Hsu, T.F., Kise, M., Wang, M.F., Ito, Y., Yang, M.D., Aoto, H., Yoshihara, R., Yokoyama, J., Kunii, D. & Yamamoto, S., 2008. Effects of pre-germinated brown rice on blood glucose and lipid levels in free-living patients with impaired fasting glucose or type 2 diabetes. *Journal of nutritional science and vitaminology*, 54(2), pp.163-168. <https://doi.org/10.3177/jnsv.54.163>.
- Ito, Y., Mizukuchi, A., Kise, M., Aoto, H., Yamamoto, S., Yoshihara, R. & Yokoyama, J. 2005. Postprandial blood glucose and insulin responses to pre-germinated brown rice in healthy subjects. *The Journal of Medical Investigation*, 52(3, 4), pp.159-164. <https://doi.org/10.2152/jmi.52.159>.
- Jayadeep, A. & Malleshi, N.G. 2011. Nutrients, composition of tocotrienols, tocopherols, and  $\gamma$ -oryzanol, and antioxidant activity in brown rice before and after biotransformation Nutrientes, composición de tocotrienoles, tocoferoles y  $\gamma$ -oryzanol, y actividad

- antioxidante del arroz integral antes y después de la biotransformación. *CyTA-Journal of Food*, 9(1), pp.82-87. <https://doi.org/10.1080/19476331003686866>.
- Jiamyangyuen, S. & Ooraikul, B. 2008. The physico-chemical, eating and sensorial properties of germinated brown rice. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 6(2), p.119.
- Kayahara, H., Tsukahara, K. & Tatai, T. 2001. Flavor, health and nutritional quality of pre-germinated brown rice. <https://doi.org/10.1039/9781847550859-00546>.
- Kendall, C.W., Esfahani, A. & Jenkins, D.J. 2010. The link between dietary fibre and human health. *Food hydrocolloids*, 24(1), pp.42-48. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.08.002>.
- Kim, H.Y., Hwang, I.G., Kim, T.M., Woo, K.S., Park, D.S., Kim, J.H., Kim, D.J., Lee, J., Lee, Y.R. & Jeong, H.S. 2012. Chemical and functional components in different parts of rough rice (*Oryza sativa* L.) before and after germination. *Food chemistry*, 134(1), pp.288-293. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.138>.
- Komatsuzaki, N., Tsukahara, K., Toyoshima, H., Suzuki, T., Shimizu, N. & Kimura, T. 2007. Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice. *Journal of food engineering*, 78(2), pp.556-560. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.10.036>.
- Lekjing, S. & Venkatachalam, K. 2020. Effects of germination time and kilning temperature on the malting characteristics, biochemical and structural properties of HomChaiya rice. *RSC advances*, 10(28), pp.16254-16265 <https://doi.org/10.1039/d0ra01165>.
- Lemmens, E., Moroni, A.V., Pagand, J., Heirbaut, P., Ritala, A., Karlen, Y., Le, K.A., Van den Broeck, H.C., Brouns, F.J., De Brier, N. & Delcour, J.A. 2019. Impact of cereal seed sprouting on its nutritional and technological properties: A critical review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 18(1), pp.305-328. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12414>.
- 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(1), p.608761. <https://doi.org/10.1155/2015/608761>.
- Mahakham, W., Sarmah, A.K., Maensiri, S. & Theerakulpisut, P. 2017. Nanoprimer technology for enhancing germination and starch metabolism of aged rice seeds using phytosynthesized silver nanoparticles. *Scientific reports*, 7(1), p.8263. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08669-5>.
- Morita, N., Maeda, T., Watanabe, M. & Yano, S. 2007. Pre-germinated brown rice substituted bread: dough characteristics and bread structure. *International Journal of Food Properties*, 10(4), pp.779-789. <https://doi.org/10.1080/10942910601183643>.
- Oh, S.H. 2003. Stimulation of  $\gamma$ -aminobutyric acid synthesis activity in brown rice by a chitosan/glutamic acid germination solution and calcium/calmodulin. *BMB Reports*, 36(3), pp.319-325. <https://doi.org/10.5483/BMBRep.2003.36.3.319>.
- Oh, S.H., Soh, J.R. & Cha, Y.S. 2003. Germinated brown rice extract shows a nutraceutical effect in the recovery of chronic alcohol-related symptoms. *Journal of medicinal food*, 6(2), pp.115-121. <https://doi.org/10.1089/109662003322233512>.

- Ohtsubo, K.I., Suzuki, K., Yasui, Y. & Kasumi, T. 2005. Bio-functional components in the processed pre-germinated brown rice by a twin-screw extruder. *Journal of food composition and analysis*, 18(4), pp.303-316. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2004.10.003>.
- Parnsahkorn, S. & Langkapin, J. 2013. Changes in physicochemical characteristics of germinated brown rice and brown rice during storage at various temperatures. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 15(2), pp.293-303. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02893.x>.
- Patil, S.B. & Khan, M.K. 2011. Germinated brown rice as a value-added rice product: A review. *Journal of food science and technology*, 48, pp.661-667. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0232-4>.
- Pinkaew, H., Wang, Y.J. & Naivikul, O. 2017. Impact of pre-germination on amylopectin molecular structures, crystallinity, and thermal properties of pre-germinated brown rice starches. *Journal of Cereal Science*, 73, pp.151-157. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.12.013>.
- Raju, T.S. 2019. Proteolysis of proteins. *Co and Post-Translational Modifications of Therapeutic Antibodies and Proteins*, pp.183-202.
- Rattanamechaikul, C., Soponronnarit, S. & Prachayawarakorn, S. 2014. Glycemic response to brown rice treated by different drying media. *Journal of Food Engineering*, 122, pp.48-55. <https://doi.org/10.1016/j.foodeng.2013.08.022>.
- Ren, C., Hong, B., Zheng, X., Wang, L., Zhang, Y., Guan, L., Yao, X., Huang, W., Zhou, Y., & Lu, S. 2020. Improvement of germinated brown rice quality with autoclaving treatment. *Food Science & Nutrition*, 8(3), pp.1709-1717. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1459>.
- Roohinejad, S., Omidzadeh, A., Mirhosseini, H., Saari, N., Mustafa, S., Mohd Yusof, R., Meor Hussin, A.S., Hamid, A. & Abd Manap, M.Y. 2010. Effect of pre-germination time of brown rice on serum cholesterol levels of hypercholesterolaemic rats. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(2), pp.245-251. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3803>.
- Saleh, A.S., Wang, P., Wang, N., Yang, L. & Xiao, Z. 2019. Brown rice versus white rice: Nutritional quality, potential health benefits, development of food products, and preservation technologies. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 18(4), pp.1070-1096. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12449>.
- Schuller, H.M., Al-Wadei, H.A. & Majidi, M. 2008. Gamma-aminobutyric acid, a potential tumor suppressor for small airway-derived lung adenocarcinoma. *Carcinogenesis*, 29(10), pp.1979-1985. <https://doi.org/10.1093/carcin/bgn041>.
- Seki, T., Nagase, R., Torimitsu, M., Yanagi, M., Ito, Y., Kise, M., Mizukuchi, A., Fujimura, N., Hayamizu, K. & Ariga, T. 2005. Insoluble fiber is a major constituent responsible for lowering the post-prandial blood glucose concentration in the pre-germinated brown rice. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 28(8), pp.1539-1541. <https://doi.org/10.1248/bpb.28.1539>.
- Shao, Y. & Bao, J. 2015. Polyphenols in whole rice grain: Genetic diversity and health benefits. *Food Chemistry*, 180, pp.86-97. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.027>.
- Sivakamasundari, S.K., Priyanga, S., Moses, J.A. & Anandharamakrishnan, C. 2022. Impact of processing techniques on the glycemic index of rice. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(12), pp.3323-3344. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1865259>.
- Sookwong, P., Yodpitak, S., Doungkaew, J., Jurithayo, J., Boonyawan, D. & Mahatheeranont, S. 2014. Application of oxygen-argon plasma as a potential approach of

- improving the nutrition value of pre-germinated brown rice. *Journal of Food and Nutrition Research*, 2(12), pp.946-951. <https://doi.org/10.12691/jfnr-2-12-14>.
- Srisang, N., Varayanond, W., Soponronnarit, S. & Prachayawarakorn, S. 2011. Effects of heating media and operating conditions on drying kinetics and quality of germinated brown rice. *Journal of Food Engineering*, 107(3-4), pp.385-392. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.06.030>.
- Ti, H., Zhang, R., Zhang, M., Li, Q., Wei, Z., Zhang, Y., Tang, X., Deng, Y., Liu, L. & Ma, Y. 2014. Dynamic changes in the free and bound phenolic compounds and antioxidant activity of brown rice at different germination stages. *Food chemistry*, 161, pp.337-344. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.024>.
- Tian, S., Nakamura, K. & Kayahara, H. 2004. Analysis of phenolic compounds in white rice, brown rice, and germinated brown rice. *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(15), pp.4808-4813. <https://doi.org/10.1021/jf049446f>.
- Toutounji, M.R., Farahnaky, A., Santhakumar, A.B., Oli, P., Butardo Jr, V.M. & Blanchard, C.L. 2019. Intrinsic and extrinsic factors affecting rice starch digestibility. *Trends in Food Science & Technology*, 88, pp.10-22. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.012>.
- Usuki, S., Ito, Y., Morikawa, K., Kise, M., Ariga, T., Rivner, M. & Yu, R.K. 2007. Effect of pre-germinated brown rice intake on diabetic neuropathy in streptozotocin-induced diabetic rats. *Nutrition & Metabolism*, 4, pp.1-11. <https://doi.org/10.1186/1743-7075-4-25>.
- Viuda-Martos, M., Lopez-Marcos, M.C., Fernandez-Lopez, J., Sendra, E., Lopez-Vargas, J.H. & Perez-Alvarez, J.A. 2010. Role of fiber in cardiovascular diseases: A review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 9(2), pp.240-258. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00102.x>.
- Weng, X., Sun, M., Gao, H., Liu, Z., Huang, J., Liao, X. & Shen, G.X. 2019. Germinated brown rice, a whole grain with health benefits for common chronic diseases. *Nutr. Food Sci. J*, 2, p.119. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.542259>.
- Wu, F., Chen, H., Yang, N., Wang, J., Duan, X., Jin, Z. & Xu, X. 2013. Effect of germination time on physicochemical properties of brown rice flour and starch from different rice cultivars. *Journal of Cereal Science*, 58(2), pp.263-271. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.06.008>.
- Wu, F., Yang, N., Touré, A., Jin, Z. & Xu, X. 2013. Germinated brown rice and its role in human health. *Critical reviews in food science and nutrition*, 53(5), pp.451-463. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.542259>.
- Wunjuntuk, K., Kettawan, A., Rungruang, T. & Charoenkiatkul, S. 2016. Anti-fibrotic and anti-inflammatory effects of parboiled germinated brown rice (*Oryza sativa* 'KDML 105') in rats with induced liver fibrosis. *Journal of Functional Foods*, 26, pp.363-372. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.08.009>.
- Xia, Q. & Li, Y. 2018. Mild high hydrostatic pressure pretreatments applied before soaking process to modulate wholegrain brown rice germination: An examination on embryo growth and physicochemical properties. *Food Research International*, 106, pp.817-824. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.052>.
- Xia, Q., Tao, H., Li, Y., Pan, D., Cao, J., Liu, L., Zhou, X. & Barba, F.J. 2020. Characterizing physicochemical, nutritional and quality attributes of wholegrain *Oryza sativa* L. subjected to high intensity ultrasound-stimulated pre-germination. *Food Control*, 108, p.106827. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106827>.
- Xia, Q., Wang, L., Xu, C., Mei, J. & Li, Y. 2017. Effects of germination and high hydrostatic pressure processing on mineral elements, amino acids and antioxidants in vitro

- bioaccessibility, as well as starch digestibility in brown rice (*Oryza sativa* L.). Food Chemistry, 214, pp.533-542. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.114>.
- Yodpitak, S., Mahatheeranont, S., Boonyawan, D., Sookwong, P., Roytrakul, S. & Norkaew, O. 2019. Cold plasma treatment to improve germination and enhance the bioactive phytochemical content of germinated brown rice. Food chemistry, 289, pp.328-339. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.061>.
- Zhang, Q., Xiang, J., Zhang, L., Zhu, X., Evers, J., van der Werf, W. & Duan, L. 2014. Optimizing soaking and germination conditions to improve gamma-aminobutyric acid content in japonica and indica germinated brown rice. Journal of functional foods, 10, pp.283-291. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.06.009>