

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 633.18:664.7

DOI 10.17513/use.38220

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И СВОЙСТВА КОРИЧНЕВОГО РИСА

¹Салиева З.Т., ²Боркоев Б.М., ²Салиева К.Т.

¹Кыргызский государственный технический университет имени И. Раззакова,
Бишкек, e-mail: zsalieva@list.ru;

²Кыргызско-Турецкий университет «Манас», Бишкек,
e-mail: kalipa.salieva@manas.edu.kg, bakyt.borkoev@manas.edu.kg;

Данное исследование представляет собой обзор литературы по химическому составу и свойствам коричневого риса. Коричневый рис можно охарактеризовать как очищенный от шелухи цельнозерновой рис с отрубями и зародышами. В статье приведены сведения о химическом составе коричневого риса, такие как углеводы, крахмалы, белки, жиры, витамины и минеральные вещества. Обобщены экспериментальные данные по составу некоторых биологически активных веществ, а также индивидуальных соединений из данного вида растительного сырья. Приведено содержание свободных, связанных и общих фенольных соединений, флавоноидов, антирадикальная способность и антиоксидантные свойства коричневого риса, произрастающего в разных странах и климатических условиях. Разнообразие состава и свойств коричневого риса может быть связано с различиями в генетическом составе, сорте, а также климатических и почвенных условиях зерна во время развития. Данные этого обзорного исследования были собраны из книг и научных статей, опубликованных в таких базах данных, как Science Direct, Web of Science, Scopus, Wiley, PubMed, Google Scholar и база данных научной информации. Для обзора литературы использовались оригинальные ресурсы на английском языке.

Ключевые слова: коричневый рис, углеводы, крахмалы, белки, жиры, витамины, антиоксиданты

CHEMICAL COMPOSITION AND PROPERTIES OF BROWN RICE

¹Salieva Z.T., ²Borkoev B.M., ²Salieva K.T.

¹Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, Bishkek, e-mail: zsalieva@list.ru;

²Kyrgyz-Turkish Manas University, Bishkek,
e-mail: kalipa.salieva@manas.edu.kg, bakyt.borkoev@manas.edu.kg;

This study is a literature review on the chemical composition and properties of brown rice. Brown rice can be described as hulled whole-grain rice with bran and germ. The article provides information about the chemical composition of brown rice, such as carbohydrates, starches, proteins, fats, vitamins, and minerals. Experimental data on the composition of some biologically active substances, as well as individual compounds from this type of plant material, are summarized. The contents of free, bound and total phenolic compounds, flavonoids, antiradical ability, and antioxidant properties of brown rice grown in different countries and climatic conditions are given. The diversity in the composition and properties of brown rice may be due to differences in genetic composition, variety, and the climatic and soil conditions of the grain during development. Data from this review study were collected from books and scientific articles published in databases such as Science Direct, Web of Science, Scopus, Wiley, PubMed, Google Scholar, and the Scientific Information Database. For the literature review, we used original resources in English.

Keywords: brown rice, carbohydrates, starches, proteins, fats, vitamins, antioxidants

Рис, одна из старейших продовольственных культур, является основным продуктом питания примерно половины населения мира. Большая часть риса производится в азиатских странах, в основном в Китае, Индии, Индонезии, Вьетнаме, Таиланде и т.д. [1]. Рис (*Oryza sativa L.*) играет важную роль как в продовольственной безопасности, так и в местной традиционной кухне в Центральной Азии и Кыргызстана [2, 3].

Рис является хорошим источником легкоусвояемого крахмала и белка хорошего качества благодаря высокому содержанию лизина, по сравнению с другими злаками. Рис в целом виде является хорошим ис-

точником витаминов и минералов. Однако рис обычно едят в измельченном виде, при этом шелуха, а также отруби удаляются во время измельчения. Таким образом, коричневый рис можно охарактеризовать как очищенный от шелухи цельнозерновой рис с отрубями и зародышами. Поскольку он содержит отруби и зародыши, считается, что по питательности он превосходит измельченный рис; это единственная форма зерна, которая содержит витамин Е и снижает уровень холестерина [4]. Коричневый рис имеет мягкий ореховый привкус, но из-за присутствия отрубей и зародышей проявляет прогорклый привкус разложенного жира.



Фотографии: а) рис-сырец, б) коричневый рис, с) шлифованный рис

В некоторых странах молотый рис обогащен тиамин, ниацином и необходимыми минералами для обогащения зерна. Однако во многих странах, где рис является основным рационом питания, обогащение не является обычной практикой. Принимая во внимание пищевой статус, диета, содержащая коричневый рис, лучше, чем диета из молотого риса [5].

Фотографии риса-сырца (грубый рис), коричневого риса и измельченного (шлифованного) риса представлены на рисунке. Коричневый рис имеет тускло-коричневый или светло-желтый цвет по сравнению с соответствующим полированным рисом.

Срок годности коричневого риса составляет около 6 месяцев при температуре окружающей среды, но его можно продлить за счет герметичного хранения или охлаждения. Питательные ценности, биологическая активность, их механизм действия, а также польза для здоровья зависят от химических составов, фитохимических свойств пищевых продуктов, а также их сохранения [6]. Учитывая вышеуказанные факторы, были разработаны некоторые продукты на основе коричневого риса, имеющие хорошие возможности для коммерческого использования. Это продукты, включающие расширенный коричневый рис, вспученный рис, хлопья, чипсы, вермишель, семолину быстрого приготовления из коричневого риса и т.д. Таким образом, наблюдается растущая склонность к потреблению коричневого риса вместо белого риса.

Химический состав коричневого риса

Химический состав коричневого риса широко варьируется в зависимости от сорта и их генетических особенностей, почвы, климатических условий во время развития рисового зерна и окружающей среды. Коричневый рис состоит из слоев отрубей

(6–7%), зародыша (2–3%) и эндосперма (около 90%). Коричневый рис содержит 2,4–3,9% жира, 1,5–2,1% золы, 0,8–2,6% клетчатки и 7,3–15,4% белка; энергосодержание составляет 1520–1610 кДж/100 г, а объемная плотность его – 676–683 кг/м³ [7, 8]. Коричневый рис имеет тускло-коричневый или светло-желтый цвет по сравнению с соответствующим полированным рисом (рисунок).

Крахмал является основным компонентом риса, тогда как других компонентов, таких как белок, жир, зола, клетчатка и лигнин, больше в коричневом рисе, чем в молотом. В дополнение к этому также присутствуют свободные сахара, свободные аминокислоты и ароматические соединения, которые в большей степени сконцентрированы во фракции отрубей в зернах риса. Коричневый рис также является богатым источником витаминов, минералов и редких аминокислот. В процессе измельчения от коричневого риса до белого риса потери белков и общих минералов достигают 28,6 и 84,7% соответственно [9].

Коричневый рис сохраняет слой отрубей (содержащий много витаминов и минералов, а также волокна), так как он не был отполирован для получения белого риса. Красный рис богат железом и цинком, а черный и фиолетовый рис особенно богаты белком, жирами и сырой клетчаткой. Красный, черный и фиолетовый рис получают свой цвет от антоциана, пигменты которого, как известно, обладают способностью улавливать свободные радикалы и антиоксидантами, а также обладают другими преимуществами для здоровья [10, 11].

Углеводы – главный компонент любого зерна злаков. Слои отрубей коричневого риса содержат максимальное содержание гемицеллюлозы (около 1,4–2,1% пентозанов), из которых 43% распределены в сло-

ял отрубей и 8% – в зародышах. Водорастворимые гемицеллюлозы отрубей имеют соотношение арабиноза/ксилоза 1,8. Слой отрубей также содержит некоторое количество галактозы и белка, тогда как щелочнорастворимые гемицеллюлозы содержат около 37% арабинозы, 34% ксилозы и 11% галактозы с небольшим количеством глюкозы вместе с белком и уроновой кислотой. Коричневый рис также содержит большое количество целлюлозы, около 62% в отрубях из-за наличия семенной оболочки, алейронового слоя и толстых клеточных стенок околосемянника [12].

Крахмал. Несмотря на то, что коричневый рис содержит значительное количество функциональных и пищевых компонентов, которые сконцентрированы в слое отрубей, он также содержит большое количество крахмала, что влияет на его физико-химические свойства. Рисовый крахмал содержит компоненты амилозы и амилопектина со связями α 1–4, α 1–4 и α 1–6 соответственно, процентное содержание которых варьируется между разновидностями.

Амилопектин составляет 25–50% по количеству и 30–60% по массе амилозы. Средство к йоду амилозы из риса составляет 20–21% по массе, тогда как для амилопектина оно составляет 0,4–0,9% для риса с низким и средним содержанием амилозы, тогда как для риса с высоким содержанием амилозы оно составляет 2–3%. По степени поглощения крахмала рис классифицируется как восковидный (1–2%), с очень низким содержанием амилозы (2–12%), низким содержанием амилозы (12–20%), промежуточной амилозой (20–25%) и рис с высоким содержанием амилозы (25–33%). Восковидный эндосперм непрозрачен из-за наличия воздушных пространств среди гранул крахмала, которые имеют более низкую плотность, чем невосковые гранулы. Вискоамилографические характеристики восковидной и невосковой рисовой муки показывают, что восковидный рис имеет более низкую вязкость, чем невосковая рисовая мука, возможно, из-за присутствия некрахмальных компонентов, в основном нерастворимых в воде рисовых белков в восковидном рисе, которые препятствуют набуханию гранул крахмала [13, 14]. Амилоза и амилопектин являются основными составляющими, влияющими на физико-химические свойства рисового крахмала, и их роль в свойствах рисового крахмала широко исследовалась [15]. Обычный рисовый крахмал имеет соотношение амилоза/амилопектин около 20:80.

Амилоза контролирует почти все свойства рисового крахмала из-за ее влияния на термические свойства, пастообразные свойства, синерезис, растворимость, набухание и другие техно-функциональные свойства. Воскообразные рисовые крахмалы обладают высокой растворимостью и способностью к набуханию, а также большей степенью кристалличности, чем невосковидные крахмалы. Однако у невосковидных рисовых крахмалов наблюдается более высокая температура клейстеризации по сравнению с восковыми крахмалами [16]. С промышленной точки зрения это практический подход к упрощению категоризации сортов риса с целью контроля качества риса.

Некрахмальные полисахариды состоят из водорастворимых полисахаридов и нерастворимых пищевых волокон, которые образуют комплексы с крахмалом и могут иметь гипохолестеринемический эффект. В коричневом рисе общее количество свободных сахаров составляет около 0,8–1,4%, из которых 0,1–0,13% составляют редуцирующие сахара, в основном в виде глюкозы и следовых количеств фруктозы. Коричневый рис содержит около 0,2% фитина или гексафосфата миоинозитола, важного компонента слоев отрубей. Рибонуклеиновая кислота является основной нуклеиновой кислотой в коричневом рисе и составляет около 0,2–0,3% белка молотого риса и 2–3% белка коричневого риса; дезоксирибонуклеиновая кислота составляет около 0,01% коричневого риса [17, 18].

Белок является вторым после крахмала компонентом в зернах риса. Белок содержится в коричневом рисе в различных количествах, в основном от 6,5 до 8,7%, из которых 14% распределено в отрубях и около 80% – в эндосперме. Содержание белка варьируется между сортами риса и линейно снижается с увеличением степени шлифовки, так как он в основном сконцентрирован в периферических слоях зерна. Белок наиболее распространен в субалеуроновых слоях рисового зерна. Кроме того, в алейроновых клетках также присутствуют небольшие количества. Белок риса более питателен из-за его относительно хорошо сбалансированного аминокислотного профиля и превосходит по содержанию лизина другие зерновые культуры. Фракции отрубей и зародышей коричневого риса содержат более высокие уровни лизина и более низкие уровни глутаминовой кислоты, чем крахмалистый эндосперм. И восковидный, и невосковой рис имеют сходный образец

распределения аминокислот. Коричневый рис и молотый рис имеют одинаковое содержание аминокислот в большинстве случаев; однако, в частности, содержание лизина изменяется отрицательно, а содержание тирозина и фенилаланина положительно зависит от общего содержания белка в образце коричневого риса [19].

Фракции растворимости белков неравномерно распределены во фракциях коричневого и измельченного риса. Белок риса – это в основном щелочнорастворимый белок глютелин (78–79%), растворимый в соли глобулин (10–11%) и водорастворимый альбумин (7–8%), причем растворимая в спирте фракция является наименьшей (3%). Содержание альбумина и глобулина в коричневом рисе выше, чем в молотом, так как они больше сконцентрированы в зародышевом и алейроновом слоях. Доля альбумина и глобулина в белке высока на периферии ядра, но постепенно уменьшается к центру, тогда как содержание глютеина распределяется обратно пропорционально. Распределение альбумина в отрубях составляет 51%, тогда как распределение глобулина составляет 40% в отрубях. Глобулин состоит из 43% глутаминовой кислоты и аргинина, 4–9% цистеина и 6,6% метионина. Проламин можно экстрагировать 70% этанолом с последующим осаждением ацетоном из этанольной экстракции. Содержание проламина составляет около 21% в отрубях, тогда как содержание глютелина в отрубях составляет только 5%. Глютелин имеет самый высокий молекулярный вес среди фракций рисового белка. Аспарагиновая и глутаминовая кислоты являются основными аминокислотами, присутствующими в глютелине. Фракции растворимого белка изменяются с увеличением содержания белка. Также увеличивается содержание глютелина и проламина [20].

Аминокислотный состав коричневого риса: аланин, 5,5–6,5; аргинин 7,9–9,5; аспарагиновая кислота 9,0–10,5; цистеин 1,2–2,1; глутаминовая кислота 16,9–19,9; глицин, 4,5–5,4; гистидин 2,1–2,9; изолейцин 4,1–4,8; лейцин 7,9–8,9; лизин 3,5–4,6; метионин 1,9–2,9; фенилаланин, 5,3–6,0; пролин 4,4–5,5; серин 4,6–5,9; треонин 3,6–4,4; триптофан 0,9–1,6; тирозин 4,4–5,4; и валин 5,9–7,0 [21]. Свободные аминокислоты составляют около 0,7% от веса белка коричневого риса, из которых основные свободные аминокислоты – аспарагиновая и глутаминовая кислоты. Аминокислотный состав четырех белковых фракций корич-

невого риса показывает, что наибольшее содержание лизина имеет альбумин, за которым следуют глютелин, глобулин и проламин. Чем выше содержание альбумина, тем выше содержание лизина и ниже содержание глутаминовой кислоты, что отражает лучшее качество протеина в зародышах и отрубях риса. Среди зерновых белков рисовый белок предлагает лучший пищевой статус благодаря высокому содержанию лизина, хотя лизин по-прежнему является лимитирующей аминокислотой, за которой следует треонин. Улучшение нутритивного статуса отмечено в образцах риса с высоким содержанием белка, содержащих более высокие уровни всех незаменимых аминокислот; этот факт побуждает производителей прилагать больше усилий для выращивания сортов риса с высоким содержанием белка, а не улучшать качество их белка [20, 21].

Липиды. Содержание липидов или жиров в рисе сосредоточено в слоях алейронов и отрубей в виде липидных тел или сферосом. Содержание липидов в коричневом рисе варьируется от 0,5 до 3,5%, в муке из коричневого риса колеблется от 2,65 до 3,24%, тогда как находятся в диапазоне 2,38–2,84%. В коричневом рисе 51% сырого масла содержится в зародышах, 32% – в слое отрубей и только 17% – в эндосперме. В эндосперме рисового зерна липиды распределены неравномерно, причем наибольший процент приходится на внешние слои и постепенно уменьшается к центру зерна [22].

Неомыляемое вещество отрубного масла состоит из 42% стеролов, 24% высших спиртов, 20% феруловой кислоты и 10% углеводов. Оризанол, ферулированный эфир ненасыщенных тритерпеноидных спиртов является мощным антиоксидантом, присутствующим в отрубном масле на уровне 0,96–2,89%. Коричневый рис также содержит еще один мощный антиоксидант, называемый токоферолами, на уровне 5%, из которых 47% составляет основной токоферол, то есть α -токоферол, который присутствует на уровне 0,005–0,015% липидов коричневого риса. Два других токоферола, такие как β -токоферол и γ -токоферол, составляют около 26%. Содержание воска в масле рисовых отрубей составляет 3–9%. Коричневый рис содержит значительно более высокие уровни линолевой, пальмитиновой и олеиновой кислот, но имеет более низкое содержание миристиновой, пальмитиновой, пальмитолеиновой и стеариновой кислот, по сравнению с молотым рисом.

Около 43% олеиновой, 28% пальмитиновой и 25% линолевой кислот являются основными компонентами жирных кислот коричневого риса и сконцентрированы в основном в отрубях и зародышах зерна. Свободные жирные кислоты, моно- и диглицериды в основном включают пальмитиновую, олеиновую и линолеовую кислоты. Воскообразный и невосковой рис имеют схожий состав жирных кислот [23, 24].

Витамины в основном сосредоточены в алейроновых слоях коричневого риса. Хранение не влияет на общий состав риса, но содержание витаминов постепенно уменьшается. Коричневый рис богат такими витаминами, как тиамин (0,29–0,61), рибофлавин (0,04–0,14), ниацин (3,5–5,3) и токоферол (0,90–2,50), а также такими минералами, как кальций (10–50), фосфор (170–430), железо (0,2–5,2) и цинк (0,6–2,8); значения показаны здесь в мг/100 г муки [25]. Поскольку витамины группы В более сконцентрированы в слое отрубей, основным питательным преимуществом коричневого риса перед молотым рисом является высокое содержание витамина В. Около 50% общего тиамина находится в щитковой части зерна, а 80–85% ниацина присутствует в слоях околоплодника и алейрона; эмбрион составляет более 95% от общего количества токоферолов. Тиамин коричневого риса в основном сконцентрирован в отрубях (65%), а 22% присутствует во фракции размолотого риса. В отрубях содержится около 39% рибофлавина и 54% ниацина соответственно [26].

При исследовании [27] уровня витаминов в коричневом рисе содержание витамина В1 варьировалось от 0,04 до 0,05 мг/100 г, витамина В2 – от 0,053 до 0,071 мг/100 г, витамина В3 – от 4,68 до 7,32 мг/100 г и фолиевой кислоты – от 0,04 до 0,05 мг/100 г. Однако рис Njаvага содержит больше витамина В1 (27–32%), витамина В2 (4–25%) и витамина В3 (2–36%) по сравнению с двумя другими сортами риса. Авторы [28] наблюдали широкий разброс содержания витаминов в сортах бурого риса. Содержание витамина В1 колебалось от 0,09 до 0,16 мг/100 г, В2 – от 0,10 до 0,27 мг/100 г, В3 – от 4,02 до 5,41 мг/100 г и В6 – от 0,08 до 0,19 мг/100 г. Авторы работ [29] сообщили, что коричневый рис содержит 0,403; 0,065; 5,433 и 0,563 мг/100 г витамина В1, В2, В3 и В6 соответственно. Коричневый рис содержит более высокий уровень рибофлавина, а также схожее содержание тиамина. Различие в содержании витаминов в рисе может быть

связано с различиями в генетическом фоне разных сортов риса [30].

Минеральный состав рисового зерна в значительной степени зависит от наличия питательных веществ в почве во время роста и сорта сельскохозяйственных культур. Минералы также сосредоточены в основном во внешних слоях коричневого риса. Проанализированный коричневый рис содержит в среднем значительно более высокие концентрации меди, калия, магния, марганца, натрия, фосфора и цинка по сравнению с образцами шлифованного риса. Авторы работ [31] проанализировали 25 марок риса на предмет 36 основных и второстепенных элементов, используя четыре различных инструментальных метода. По их данным, средние значения минералов следующие: для кальция (127 мг/кг; 104 мг/кг), меди (1,65 мг/кг; 2,96 мг/кг), железа (22,3 мг/кг; 20,1 мг/кг), магния (371 мг/кг; 1205 мг/кг), марганца (10,5 мг/кг; 26,5 мг/кг), молибдена (0,790 мг/кг; 0,770 мг/кг), фосфора (1203 мг/кг; 3361 мг/кг), калия (913 мг/кг; 2157 мг/кг), селена (0,108 мг/кг; 0,131 мг/кг), натрия (6,00 мг/кг; 15,1 мг/кг), серы (1131 мг/кг; 1291 мг/кг) и цинка (15,6 мг/кг; 20,2 мг/кг) для шлифованного и коричневого риса соответственно. Анализ спектрометра рентгеновской флуоресценции с дисперсией по длине волны показал, что коричневый рис является богатым источником минералов, включая кальций, железо, калий, магний, марганец, фосфор, серу и цинк [32]. Существенная разница наблюдалась в минеральном составе бурого риса разных сортов. Самым распространенным минералом был калий (93,15–110,35 мг/100 г), за ним следовали фосфор (76,30–89,80 мг/100 г), сера (20,75–26,90 мг/100 г) и магний (17,15–20,90 мг/100 г), а самым низким оказался цинк (2,10–2,45 мг/100 г). Основная часть (90%) фосфора в отрубях – это фосфор фитина [33]. Важным фактором является высокий уровень фитата во фракции отрубей (алеиرون и зародыши). Сообщается, что содержание селена в коричневом рисе, выращиваемом в Японии, составляет 30–40 мг/г, 13% селена присутствует в шелухе, 15% – в отрубях и 72% – в зернах риса [34]. Результаты показали, что количество минералов значительно различается между разновидностями, что зависит от генетической структуры разновидности. Коричневый рис, богатый минералами, можно рассматривать как рентабельный и многообещающий метод борьбы с недоеданием и другими проблемами, связанными со здоровьем.

*Антиоксидантные свойства
коричневого риса*

Рис был признан отличным источником уникальных сложных природных антиоксидантных соединений. Эффект поглощения биоактивных компонентов, таких как фенольные соединения, флавоноиды, антоцианы, проантоцианидины, токоферолы и оризаноол, которыми богаты рисовые зерна, может быть механизмом, посредством которого цельные зерна обладают своим защитным действием. Большинство фитохимических веществ в зерне коричневого риса присутствует во фракции отрубей, и зародыша. В дополнение к фитохимическим веществам коричневый рис также содержит пищевые волокна. Эти функциональные компоненты находятся в основном в отрубях и зародышевых листьях коричневого риса и теряются при шлифовании до белого [35].

Основные антоциановые компоненты коричневого риса были идентифицированы как цианидин-3-глюкозид и пеонидин-3-глюкозид, и эти соединения обладали заметной антиоксидантной активностью. Заметная разница в антиоксидантных свойствах коричневого риса наблюдалась в зависимости от сортов риса. Было доказано, что коричневый рис обладает сильной антиоксидантной активностью со значительными колебаниями в содержании общих фенольных кислот (0,81–1,64 мг эквивалента галловой кислоты/г), содержании флавоноидов (50,67–79,41 мкг эквивалента катехина/г), 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил активность по улавливанию радикалов (46,18–70,51 %) и общая восстанавливающая способность (7,34–17,14 мкмоль эквивалента аскорбиновой кислоты/г) среди сортов. Содержание фенолов в красном, пурпурном и белом рисе варьировалось от 34 до 424, от 69 до 535 и от 25 до 246 мг эквивалента галловой кислоты/100г соответственно. В коричневом рисе фенольные кислоты в основном присутствуют в трех формах: растворимые свободные, растворимые конъюгированные и нерастворимые связанные [36].

Самой распространенной связанной фенольной кислотой в коричневом рисе является феруловая кислота, на долю которой приходится почти 50–65 % всех связанных фенольных кислот. Феруловая кислота обладает широким спектром терапевтических эффектов против многих хронических состояний, таких как воспаление, рак, апоптоз, сердечно-сосудистые заболевания, диабет и нейродегенеративные заболевания, поэтому потребление коричневого риса по-

может снизить частоту хронических заболеваний у людей Мин Т. и др. [37, 38] изучили антиоксидантные свойства восьми сортов цельного зерна риса, различающихся по цвету, общему количеству фенолов, флавоноидов и улавливающей 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил радикалы активности экстрагируемых растворителем свободных и связанных фракций. Содержание свободной и растворимой фенольной фракции варьировало от 0,44 до 6,97 и от 0,46 до 2,28 мг эквивалента галловой кислоты/г соответственно. Общее содержание свободных флавоноидов изменялось от 0,16 до 2,28 и от 0,24 до 0,43 мг эквивалентов катехина/г, а содержание улавливающих радикалов составляло от 1,19 до 41,95 и от 0,99 до 10,55 мкмоль эквивалентов тролох/г для свободной и растворимой фракций соответственно. Зерна красного и пурпурного риса показали более высокое содержание фенолов, флавоноидов и антиоксидантные свойства, чем сорта риса светлого цвета [39].

Заметная разница в антиоксидантных свойствах наблюдалась у разных сортов коричневого риса (таблица). Доказано, что коричневый рис обладает мощной антиоксидантной активностью со значительным изменением общего содержания фенолов (0,81–1,64 мг эквивалент галловой кислоты /г), содержание флавоноидов (50,67–79,41 мкг катехин-экв/г), 2,2-дифенил-1-активностью по улавливанию пикрилгидразильных радикалов (46,18–70,51 %) и общей восстанавливающей способностью (7,34–17,14 мкмоль-экв. аскорбиновой кислоты/г) среди сортов [27, 40].

Авторы [40] количественно оценили свободные и связанные фитохимические вещества в эндосперме и отрубях/зародышах различных сортов риса. Фитохимические вещества в основном существовали в свободной форме в отрубях/эмбрионе, а также в свободной и связанной формах в эндосперме. Средние значения общего фенольного содержания и содержания флавоноидов в отрубях/зародышах были в 3,1 и 10,4 раза выше, чем в эндосперме соответственно. В цельном коричневом рисе отруби составляли 59,2 и 53,7 % от общего количества фенольных соединений и флавоноидов соответственно. Семь отдельных фенольных соединений, включая галловую, протокатехиновую, хлорогеновую, кофейную, сириговую, кумаровую и феруловую кислоты, были обнаружены в отрубях с преобладанием кумаровой и феруловой кислот.

Антиоксидантные свойства различных сортов коричневого риса

Сорта	Фенолы (мг эквивалент галловой кислоты /100 г)			Флавоноиды (мг эквивалент катехин /100 г)			Источники
	Свободные	Связанные	Общие	Свободные	Связанные	Общие	
Longjing 25	59,85	60,28	120,13	65,51	44,76	110,27	[43]
Sonjing 16	63,77	51,52	115,29	80,70	31,33	112,03	
Tianyouhuazhan	42,09	30,36	72,45	52,03	23,87	75,90	
Wuyou 308	67,86	46,43	114,29	76,82	33,56	110,38	
Fenghuazhan	58,09	44,70	102,78	62,15	41,89	104,04	
Japonica rice	65,60	34,80	100,40	42,60	34,30	76,90	[41]
Indica rice	62,00	37,30	99,30	56,30	55,70	112,10	
Tianyou 998	100,30	73,70	174,00	61,10	63,90	124,90	[42]
DV 123	67,00	41,00	108,00	28,00	13,00	41,00	[39]
HB1	220,00	60,00	280,00	99,00	17,00	116,00	
IAC 600	490,00	75,00	565,00	180,00	18,00	198,00	
Kechengnuo4	44,00	61,00	105,00	20,00	24,00	44,00	[40]
Cocodrie	62,00	63,00	125,00	23,00	26,00	49,00	
Bengal	58,00	46,00	104,00	22,00	24,00	46,00	
Heugjinjubyeo	1640,00	176,00	1820,00	317,00	22,00	339,00	[27]
Heugkwangbyeo	1180	153	1330	197,00	16,00	213,00	

Нью и др. [41] исследовали антиоксидантные свойства 22 образцов красного риса, выращенного в провинции Чжэцзян. Общее содержание фенолов колебалось от 433 до 2213 мг эквивалента феруловой кислоты/г, тогда как концентрация цианидин-3-О-глюкозида составляла 11,6–16,5 мг/г в образцах красного риса. Распределение фенольных кислот и антоцианов в эндосперме, зародышах и отрубях зерен белого, красного и черного риса исследовали [42]. Общее содержание фенолов было самым высоким в отрубях, составляющем в среднем 7,35 мг эквивалента галловой кислоты/г и составляющих 60%, 86% и 84% фенольных соединений в белом, красном и черном рисе, соответственно. Среднее общее содержание фенолов в эмбрионе и эндосперме составляло 2,79 и 0,11 мг эквивалента галловой кислоты/г, что составляет 17 и 23, 4 и 10, 7 и 9% в белом, красном и черном рисе соответственно. Свободные/конъюгированные фенольные кислоты в белых, красных и черных рисовых отрубях составляли 41, 65 и 85% от общего количества кислот. Связанные фенольные кислоты в отрубях коричневого риса составляют 90% от общего количества кислот в рисовом зерне [43, 44].

Выводы

1. На основании проведенного анализа обзора литературы установлено, что суще-

ствуют большие различия между сортами коричневого риса по химическому составу и антиоксидантным свойствам, содержанию минералов и крахмала. Такие различия могут быть связаны с генотипом, а также с почвенно-климатическими условиями выращивания.

2. Сорта коричневого риса повышают питательную ценность пищевых продуктов, что может быть использовано в пищевой промышленности.

3. Требуется дальнейшее изучение влияния агротехнических и климатических условий на химический состав, фитохимические и пищевые свойства коричневого риса.

4. Требуется разработка технологии производства пищевых продуктов с улучшенными питательными свойствами и другими технологическими характеристиками продуктов питания на основе коричневого риса.

Список литературы

1. Itagi H.N., Singh V. Status in physical properties of coloured rice varieties before and after inducing retro-gradation // J food Sci Tech. 2015. № 52 (12). P. 7747–7758.
2. Martina Nádvořníková, Jan Banout, David Herák, Vladimír Verner. Evaluation of physical properties of rice used in traditional Kyrgyz Cuisine // Food Science-nutrition.com ci Nutr. 2018. № 6. P. 1778–1787. DOI: 10.1002/fsn3.746.
3. Smanalieva J., Salieva K., Borkoev B., Windhab E.J., Fischer P. Investigation of changes in chemical composition and rheological properties of Kyrgyz rice cultivars (Ozgon rice) depending on long-term stack-storage after harvesting // LWT – Food Science and Technology. 2015. № 63 (1). P. 626–632. DOI: 10.1016/J. LWT.2015.03.045.

4. Zhang G.Y., Liu R.R., Zhang P. Variation and distribution of vitamin E and composition in seeds among different rice varieties // *Acta Agron Sin.* 2012. № 38. P. 55–61.
5. Hayashi S., Yanase E. A study on the color deepening in red rice during storage // *Food Chemistry*. 2016. № 199. P. 457–462.
6. Atungulu G.G., Sadaka S. Postharvest technology: Rice drying. In Bao J.S. (Ed.). *Rice Chemistry and Technology*. 4th ed. Duxford, UK: Elsevier Inc., 2019. P. 473–515.
7. Leewatchararongjaroen J., Anuntagool J. Effects of dry-milling and wet-milling on chemical, physical and gelatinization properties of rice flour // *Rice Science*. 2016. № 23 (5). P. 274–281.
8. Matz S.A. The chemistry and technology of cereals as food & feed, 2nd edn. Sci Inter Pvt.Ltd., New Delhi, 2014. 751 p.
9. Mukhopadhyay S., Siebenmorgen T.J. Physical and functional characteristics of broken rice kernels caused by moisture-adsorption fissuring // *Cereal Chemistry*. 2015. № 94 (3). P. 539–545.
10. Chen Y.J., Jiang W.X., Jiang Z.Q., Chen X., Cao J., Dong W., Dai B.Y. Changes in physicochemical, structural, and sensory properties of irradiated brown japonica rice during storage // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2015. № 63 (17). P. 4361–4369.
11. Deng G.F., Xu X.R., Guo Y.J. Determination of antioxidant property and their lipophilic and hydrophilic phenolic contents in cereal grains // *J Funct Foods*. 2012. № 4. P. 906–914.
12. Mir S.A., Bosco S.J., Shah M.A., Mir M.M., Sunooj K.V. Variety difference in quality characteristics, antioxidant properties and mineral composition of brown rice // *J Food Measur Charact.* 2016. № 10 (1). P. 177–184.
13. Ziegler V., Ferreira C.D., Goebel J.T., El Halal S.L., Santetti G.S., Gutkoski L.C., Elias M.C. Changes in properties of starch isolated from whole rice grains with brown, black, and red pericarp after storage at different temperatures // *Food Chemistry*. 2017. № 216. P. 194–200.
14. Wani A.A., Singh P., Shah M.A., Schweiggert-Weisz U., Gul K., Wani I.A. Rice starch diversity effects on structural, morphological, thermal, and physicochemical properties // *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2012. № 11. P. 417–436.
15. Huang Y.C., Lai H.M. Characteristics of the starch fine structure and pasting properties of waxy rice during storage // *Food Chemistry*. 2014. № 152. P. 432–439.
16. Thanathornvarakul N., Anuntagool J., Tananuwong K. Aging of low and high amylose rice at elevated temperature: Mechanism and predictive modeling // *Journal of Cereal Science*. 2016. № 70. P. 155–163.
17. Lim D.K., Long N.P., Choo S., Mo C., Dong Z., Kim G., Kwon S.W. Impact of milling on rice constituents (*Oryza sativa* L.): A metabolomic approach // *Analytical Letters*. 2017. № 50 (16). P. 2519–2529.
18. Liu Q-H., Wu X., Chen B-C., Ma J-Q., Gao J. Effects of low light on agronomic and physiological characteristics of rice including grain yield and quality // *Rice Sci.* 2014. № 21. P. 243–251.
19. Shi J.Y., Wu M.D., Quan M.M. Effects of protein oxidation on gelatinization characteristics during rice storage // *Journal of Cereal Science*. 2017. № 75. P. 228–233.
20. Zhou Z.K., Wang X.F., Si X., Blanchard C., Strappe P. The ageing mechanism of stored rice: A concept model from the past to the present // *Journal of Stored Products Research*. 2015. № 64. P. 80–87.
21. Olatunde G.A., Atungulu G.G. Milling behavior and microstructure of rice dried using microwave set at 915 MHz frequency // *Journal of Cereal Science*. 2018. № 80. P. 167–173.
22. Liu K.L., Li Y., Chen F.S., Yong F. Lipid oxidation of brown rice stored at different temperatures // *International Journal of Food Science and Technology*. 2017. № 52 (1). P. 188–195.
23. Ahmad U., Alfaro L., Yeboah-Awudzi M., Kyereh E., Dzandu B., Bonilla F., Sathivel S. Influence of milling intensity and storage temperature on the quality of Catahoula rice (*Oryza sativa* L.) // *LWT – Food Science and Technology*. 2017. № 75. P. 386–392.
24. Tong C., Liu L., Waters D.L.E., Huang Y., Bao J.S. The contribution of lysophospholipids to pasting and thermal properties of non waxy rice starch // *Carbohydrate Polymers*. 2015. № 133. P. 187–193.
25. Mir S.A., Bosco S.J.D., Shah M.A., Mir M.M., Sunooj K.V. Variety difference in quality characteristics, antioxidant properties and mineral composition of brown rice // *J Food Measur Charact.* 2016b. № 10 (1). P. 177–184.
26. Zhou Z.K., Yang X., Su Z., Bu D.D. Effect of ageing-induced changes in rice physicochemical properties on digestion behaviour following storage // *Journal of Stored Products Research*. 2016. № 67. P. 13–18.
27. Edenio Olivares Diaz, Shuso Kawamura, Shigenobu Koseki. Physical properties of rough and brown rice of Japonica, Indica and Nerica types // *Agric Eng Int: CIGR Journal*. 2015. № 5. P. 274–285.
28. Mir S.A., Bosco S.J.D., Sunooj K.V. Evaluation of physical properties of rice cultivars grown in the temperate region of India // *Int. Food Res. J.* 2013. № 20 (4). P. 1521–1527.
29. Pascual C.I., Massaretto I.L., Kawassaki F. Effects of parboiling, storage and cooking on the levels of tocopherols, tocotrienols and γ -oryzanol in brown rice (*Oryza sativa* L.) // *Food Res. Int.* 2013. № 50. P. 676–681.
30. Ravi U., Menon L., Madhavan R., Priyadharshini S., Dhivya M.E. Determination of quality characteristics of indigenous organic Asian Indian rice variety – Neelam samba // *Agricultural Science Digest*. 2014. № 34 (3). P. 177–182. DOI: 10.5958/0976-0547.2014.00997.5.
31. Liang Y., Gao Y., Lin Q., Luo F., Wu W., Lu Q., Liu Y. A review of research progress on the bioactive ingredients and physiological activities of rice bran oil // *Eur Food Res Technol.* 2014. № 238. P. 169–176.
32. Antoine J.M.R., Fung L.A.H., Grant C.N., Dennis H.T., Lalor G.C. Dietary intake of minerals and trace elements in rice on the Jamaican market // *J Food Comp Anal.* 2012. № 26 (1). P. 111–121.
33. Huang Y., Tong C., Xu F., Chen Y., Zhang C., Bao J. Variation in mineral elements in grains of 20 brown rice accessions in two environments // *Food Chem.* 2016. № 192. P. 873–878.
34. Saikrishna A., Dutta S., Subramanian V., Moses J.A., Anandharamakrishnan C. Ageing of rice: A review // *Journal of Cereal Science*. 2018. № 81. P. 161–170.
35. Irakli M.N., Samanidou V.F., Katsantonis D.N., Biliaderis C.G., Papadoyannis I.N. Phytochemical profiles and antioxidant capacity of pigmented and non-pigmented genotypes of rice (*Oryza sativa* L.) // *Cereal Res Commun.* 2016. № 44. P. 98–110.
36. Gunaratne A., Wu K., Li D. Antioxidant activity and nutritional quality of traditional redgrained rice varieties containing proanthocyanidins // *Food Chem.* 2013. № 138. P. 1153–1161.
37. Min B., McClung A., Chen M.H. Effects of hydrothermal processes on antioxidants in brown, purple and red bran whole grain rice (*Oryza sativa* L.) // *Food Chem.* 2014. № 159. P. 106–115.
38. Min B., Gu L., McClung A.M., Bergman C.J., Chen M.H. Free and bound total phenolic concentrations, antioxidant capacities, and profiles of proanthocyanidins and anthocyanins in whole grain rice (*Oryza sativa* L.) of different bran colours. *Food Chem.* 2012. № 133 (3). P. 715–722.
39. Liu L., Guo J., Zhang R., Wei Z., Deng Y., Guo J., Zhang M. Effect of degree of milling on phenolic profiles and cellular antioxidant activity of whole brown rice // *Food Chem.* 2015. № 185. P. 318–325.
40. Ti H., Li Q., Zhang R., Zhang M., Deng Y., Wei Z., Chi J., Zhang Y. Free and bound phenolic profiles and antioxidant activity of milled fractions of different indica rice varieties cultivated in southern China // *Food Chem.* 2014. № 159. P. 166–174.
41. Niu Y., Gao B., Slavin M., Zhang X., Yang F., Bao J., Yu L.L. Phytochemical compositions, and antioxidant and anti-inflammatory properties of twenty-two red rice samples grown in Zhejiang // *LWT-Food Sci Technol.* 2013. № 54 (2). P. 521–527.
42. Shao Y., Xu F., Sun X., Bao J., Beta T. Identification and quantification of phenolic acids and anthocyanins as antioxidants in bran, embryo and endosperm of white, red and black rice kernels (*Oryza sativa* L.) // *J Cereal Sci.* 2014. № 59 (2). P. 211–218.
43. Gong E.S., Luo S.J., Li T., Liu C.M., Zhang G.W., Chen J. et al. Phytochemical profiles and antioxidant activity of brown rice varieties // *Food Chem.* 2017. 227. P. 432–443.
44. Lee K.H., Kim H.J., Woo K.S., Jo C., Kim J.K., Kim S.H. Evaluation of cold plasma treatments for improved microbial and physicochemical qualities of brown rice // *LWT-Food Sci Technol.* 2016. № 73. P. 442–447.