

Модификация функциональных свойств белковых концентратов из белого и коричневого риса

Валентина В. Колпакова	¹	val-kolpakova@rambler.ru
Людмила В. Чумикина	²	chumikina@mail.ru
Лидия И. Арабова	²	l.arabova@gmail.com

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопроductов, ул. Некрасова, 11, п. Красково, 140051, Россия

² Институт биохимии им. А.Н. Баха, Ленинский пр-т, 33, кор.2, Москва, 119071, Россия

Аннотация. Целью исследования явилась сравнительная характеристика функциональных свойств белковых концентратов (БК), полученных из белого и коричневого риса, модифицированных добавлением цитрата кальция на стадии осаждения белков и протеолизом со степенью гидролиза 3,89-4,16%. Определены оптимальные условия протеолиза БК с ферментными препаратами (ФП) эндотепезного (Protamex®, Neutrase 1.5 MG) и комбинированного эндотепезного и экзотепидазного действия (Flavourzyme 500 MG). Концентрация субстрата составила 25%, концентрация ФП – 1,0-1,5 Е/г белка, температура 50-55 °С, рН 5,0-6,2, продолжительность гидролиза 150-195 мин. Установлено, что функциональные свойства более высокие у БК, полученного из белого риса, чем у БК из коричневого риса. Так, пенообразующая способность выше в 5-6 раз, но стабильность пены у БК из коричневого риса отсутствовала. У БК, полученных из обоих видов риса с добавлением цитрата кальция (БКК) на стадии осаждения белка, функциональные свойства более низкие, чем у немодифицированных БК. У белковых концентратов, гидролизованных с помощью ферментных препаратов (БГК), наоборот, наблюдалась более высокая растворимость, водосвязывающая, пенообразующая способность, тогда как жирсвязывающая способность и жиромульгирующие свойства, наоборот, были более низкие, чем у БК, не подвергнутых протеолизу. Пенообразующая способность у БГК из белого риса приравнивалась к пенообразующей способности яичного альбумина (300%). Выбирая, таким образом, способ модификации, параметры протеолиза и вид зерна (белый, коричневый рис), можно регулировать функциональные свойства белковых концентратов для выбора направления их использования с целью стабилизации технологических процессов производства и улучшения качества пищевых продуктов.

Ключевые слова: белый рис, коричневый рис, белковый концентрат, протеолиз, функциональные свойства

Modification of functional properties of white and brown rice protein concentrates

Valentina V. Kolpakova	¹	val-kolpakova@rambler.ru
Ludmila V. Chumikina	²	chumikina@mail.ru
Lidia I. Arabova	²	l.arabova@gmail.com

¹ All-Russian Scientific Research Institute of Starch Products, Nekrasova St., 11, Kraskovo settlement, 140051, Russia

² Federal Research Centre "Fundamentals of Biotechnology" of the Russian Academy of Sciences, Leninsky av., 33/2, Moscow, 119071, Russia

Abstract. The aim of the study was a comparative characteristic of the functional properties of protein concentrates (PC) obtained from white and brown rice, modified by the addition of calcium citrate at the stage of protein deposition and proteolysis with a degree of hydrolysis of 3.89-4.16%. Optimal conditions of PC proteolysis with enzyme preparations of endoproteolytic (Protamex, Neutrase 1.5 MG) and combined endoproteolytic and exopeptidase action (Flavourzyme 500 MG) were determined. Substrate concentration was 25%, the concentration of enzyme preparation – 1.0 to 1.5 U/g protein, temperature 50-55 °C, pH 5.0-6.2, length 150-195 min hydrolysis showed that the functional properties higher the PC, derived from white rice than PC brown rice. Thus, the foaming capacity is higher by 5-6 times, but the stability of the foam in PC from brown rice was absent. PC obtained from both rice species with the addition of calcium citrate (PCC) at the protein deposition stage has lower functional properties than unmodified PC. In protein concentrates hydrolyzed by enzyme preparations (PHC), on the contrary, there was a higher solubility, water-binding, foaming ability, while the fat-binding ability and fat-emulsifying properties, on the contrary, were lower than in PC, not subjected to proteolysis. The foaming capacity of white rice PHC was equated to the foaming capacity of egg albumin (300%). Choosing, thus, a method of modification, proteolysis parameters and type of grain (white or brown rice), it is possible to adjust the functional properties of protein concentrates to select the direction of their use in order to stabilize technological processes of production and improve food quality.

Keywords: white rice, brown rice, protein concentrates, proteolysis, functional properties

Введение

Рис – важнейшая зерновая культура. Его употребляют в виде вареной крупы, муки, ее перерабатывают на спирт, пиво, используют при выпечке хлеба, для приготовления кондитерских, рыбных, молочных, мясных изделий [1–7].

Для цитирования

Колпакова В.В., Чумикина Л.В., Арабова Л.И. Модификация функциональных свойств белковых концентратов из белого и коричневого риса // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 1. С. 181–189. doi:10.20914/2310-1202-2019-1-181-189

For citation

Kolpakova V.V., Chumikina L.V., Arabova L.I. Modification of functional properties of white and brown rice protein concentrates. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2019. vol. 81. no. 1. pp. 181–189. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2019-1-181-189

магний, фосфор, цинк), витаминов группы В, лизина, содержание которого в зерне и отрубях может достигать 3,0–4,4% [8–10]. В продуктах из зерна риса обнаружена антиоксидантная активность, связанная с веществами фенольной природы [11–13]. Красноовато-коричневый пигмент зерновок представляет смесь катехол-танинов, катехинов и флавофанов, которые могут оказывать влияние на процессы выделения и функциональные свойства белковых препаратов. У продуктов, полученных из коричневого риса, обнаружено антидиабетическое свойство, которое обеспечивается присутствием соединений для предотвращения осложнений при диабете типа 2 [14]. Белки риса не содержат белковые компоненты, которые даже у некоторых здоровых людей вызывают целиакию (нарушение пищеварения), поэтому их применяют в диетической безглютеновой диете [15, 16]. В рационе больных целиакией не должны присутствовать продукты из пшеницы, ржи, овса, ячменя, тогда как продукты из риса могут входить в меню данной группы людей [17, 18], потому что в его составе большая часть приходится на белки глютелиновой фракции [19]. Для получения белковых продуктов часто используют растворы щелочи, которые могут денатурировать нативные белки и разрушать структуру аминокислот, чаще – лизина [20–22]. В результате могут ухудшаться свойства белковых продуктов, поэтому разрабатывают способы выделения продуктов в комплексе с ферментными препаратами (9; 23–26).

Нами разработаны способы получения двух видов белковых концентратов (БК) из рисовой муки, смолотой из белого и коричневого риса, предназначенных для больных целиакией, но без растворов щелочи. Для этого рисовую муку обрабатывали ферментными препаратами (ФП) амилазного и ксиланазного действия с последующим воздействием на сырье разбавленной соляной кислотой [27]. Для получения БК белки из раствора осаждали в изoeлектрической точке ($\text{pH } 7,2 \pm 0,2$). При получении белково-кальциевых концентратов (БКК) их также осаждали в изoeлектрической точке, но с использованием трехзамещенного цитрата кальция. БК и БКК, полученные из белого и коричневого риса, отличались между собой по массовой доле белка, крахмала, минеральных веществ (кальций, калий, магний, железо и др.). Различия в химическом составе и пищевой ценности БК и БКК могли отразиться и на их функциональных свойствах, значения которых важны для использования БК в производстве различных видов

пищевых продуктов. Следовательно, актуальным было исследование функциональных свойств БК и БКК, полученных по нашим способам, в которых не использовались растворы щелочи.

Функциональные свойства БК определяются физико-химическими и структурными особенностями их белков [28–31]. К наиболее важным функциональным свойствам белков относятся растворимость, водосвязывающая, жиросвязывающая способность, способность стабилизировать дисперсные системы (эмульсии, пены, суспензии) [32]. Для улучшения качества пищевых изделий проводят модификацию функциональных свойств БК физико-химическими, химическими, энзиматическими методами. Наиболее безопасную модификацию осуществляют с протеазами различного происхождения, при этом эффективность процесса зависит от температуры, pH, времени обработки, концентрации [33]. Для вновь полученных объектов всегда проводят исследования.

Цель работы – разработка параметров ограниченного протеолиза БК с ферментными препаратами и сравнительная характеристика функциональных свойств нативных и модифицированных белковых и белково-кальциевых концентратов, полученных из белого и коричневого риса методом протеолиза.

Материалы и методы

Использовали муку из белого риса марки “Тао там” и коричневого риса “Тхай Зыонг” (Вьетнам). Муку получали измельчением зерна, частицы которого проходили через сито № 43 ПА-70. Для гидролиза белков использовали ФП фирмы «Novozymes» (Дания) эндопротеазного действия (Protamex® и Neutrase 1,5 MG) и комплексного эндопротеазного и экзопептидазного действия (Flavourzyme 500 MG) с протеолитической активностью 125, 105 и 85 ед./г соответственно. Активность ФП определяли модифицированным методом Ансона. Все реагенты были химически чистые.

Белковые и белково-кальциевые концентраты из муки, смолотой из белого и коричневого риса, получали по способам, разработанным и описанным нами ранее в работе [27]. Для получения белковых гидролизированных концентратов (БГК) из обоих видов риса навеску БК смешивали с раствором ФП в дистиллированной воде, взятой в количестве, зависящем от величины гидро модуля. Образец выдерживали 30–210 мин при температуре 30–70 °C, после чего образцы

сразу же высушивали лиофильно на установке Continuous Freeze Drye (US) до влажности 4–9%.

Химический состав. Массовую долю белка в продуктах определяли по методу Кьельдаля на приборе Kjeltex фирмы «Тесатор» (Швеция), влаги, золы, жира и сырой клетчатки (метод Кюшнера и Ганака) – по методам, изложенным в руководстве (Nechaev et al., 2006). Массовую долю углеводов рассчитывали путем вычета из 100 г массовой доли белка, жира, золы и влаги, г. *Аминный азот в гидролизатах белков* определяли методом формольного титрования, принцип которого основан на блокировании свободных аминогрупп формальдегидом (рН 7,0) и титровании раствором щелочи карбоксильных групп. Начало и конец титрования определяли потенциометрически. В пробирку отбирали $4,5 \pm 0,0001$ г гидролизата, добавляли 65 см^3 дистиллированной воды и диспергировали в гомогенизаторе 4–5 мин. Раствор центрифугировали при 6000 g 20 мин, надсадочную жидкость сливали. Из нее отбирали пробу 5 см^3 и переносили в колбу с 20 см^3 воды. Нейтрализацию раствора проводили 0,1 моль/дм³ NaOH. Раствор щелочи добавляли по каплям при постоянном перемешивании, следя за показаниями потенциометра. При рН 7,0 к раствору добавляли $0,5 \text{ см}^3$ формольной смеси с фенолфталеином и титровали 0,1 н раствором NaOH до рН 9,1–9,5, что соответствовало ярко-красному окрашиванию пробы. *Степень гидролиза БК* определяли по количеству аминного азота, выраженного в процентах по отношению к общему количеству аминного азота. Общее количество аминного азота определяли после полного гидролиза образца с 6 моль/дм³ HCl. Степень гидролиза белков (Dh) рассчитывали по формуле $Dh = Cs / Cc \cdot 100$, где C_s – содержание общего аминного азота аминокислот в образце, %; C_c – содержание аминного азота в гидролизованном образце. *Функциональные свойства БК, БКК, БГК* определяли по методикам, описанным в работе [34]. Все результаты представлены как средние 3–5 экспериментов с применением методов дисперсного и корреляционного анализа с Q-тестом и программ Statistica 6.0 и Tablecurve 3D.

Результаты и обсуждение

Из таблицы 1, в которой представлен химический состав БК, видно, что все они содержали более 70% белка, поэтому отнесены к группе «концентраты». БК из коричневого риса содержали на 5–6% меньше белка, но больше

крахмала, чем БК, выделенные из белого риса, тогда как содержание зольных элементов, клетчатки и жира почти одинаковое. Возможно, что в БК из коричневого риса белки прочно взаимодействовали с красящими веществами и влияли на их массовую долю в препаратах.

Таблица 1.

Химический состав концентратов

Table 1.

Chemical composition of protein concentrates

Компоненты Components	Белый рис White rice		Коричневый рис Brown rice	
	БК	БКК	БК	БКК
	Массовая доля, г/100 г продукта Mass fraction, g/100 g of product			
Влага Moisture	$5,00 \pm 1,11$	$5,00 \pm 1,01$	$5,10 \pm 0,09$	$5,01 \pm 0,08$
Белок Protein	$84,1 \pm 1,12$	$84,10 \pm 1,20$	$79,00 \pm 0,07$	$79,00 \pm 0,60$
Крахмал Starch	$10,2 \pm 1,20$	$9,60 \pm 1,02$	$15,10 \pm 1,20$	$14,00 \pm 1,61$
Клетчатка Cellulose	$0,30 \pm 0,05$	$0,36 \pm 0,03$	$0,30 \pm 0,08$	$0,30 \pm 0,09$
Жир Fat	$0,32 \pm 0,06$	$0,33 \pm 0,04$	$0,33 \pm 0,07$	$0,36 \pm 0,08$
Зола Ash	$0,31 \pm 0,03$	$1,30 \pm 0,07$	$0,25 \pm 0,04$	$1,25 \pm 0,16$

Разработка параметров ферментативного протеолиза БК

Влияние технологических факторов на процесс протеолиза сначала исследовали для БК, полученного из белого риса с ФП Protamex®. Влияние массовой доли субстрата и продолжительности гидролиза на содержание аминного азота изучали при концентрации БК от 20 ÷ 35% в дистиллированной воде при рН 6,2. Показано, что наибольшее количество азота выделялось при 25% БК (рисунок 1), 50 °С и 150–180 мин гидролиза (рисунок 2). Наиболее эффективным значением рН для действия фермента являлось 5,0–6,0 при продолжительности гидролиза 120–180 мин (рисунок 3). Наибольшее количество аминного азота выделялось при концентрации ФП 1,0–1,4 Е/г (рисунок 4). Таким образом, для ФП Protamex® и БК параметры гидролиза: температура 50 °С, концентрация субстрата 25%, концентрация ФП 1,0–1,4 Е/г, рН = 5,0–6,0, продолжительность 150–180 мин. Максимальное количество аминного азота (900–920 мг%) выделялось при степени протеолиза 3,89–4,03%.

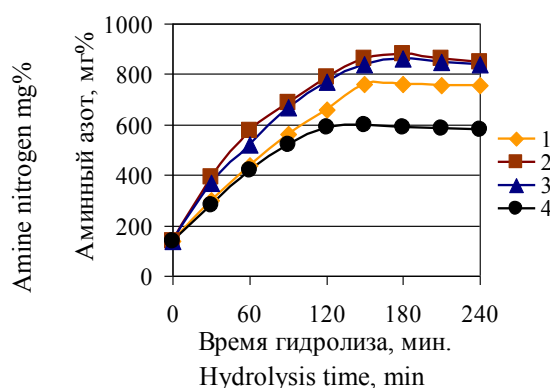


Рисунок 1. Влияние продолжительности гидролиза и массовой доли субстрата (%) на содержание аминного азота, %: 1 – 20; 2 – 25; 3 – 30; 4 – 35

Figure 1. Effect of the duration of hydrolysis (minutes) and the mass fraction of the substrate (%) on the content of amine nitrogen, %: 1 – 20; 2 – 25; 3 – 30; 4 – 35

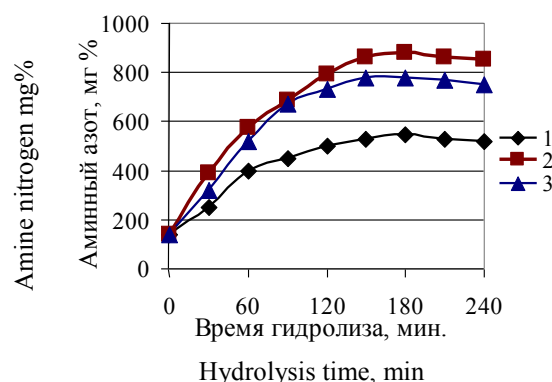


Рисунок 2. Влияние продолжительности гидролиза и температуры на содержание аминного азота, °C: 1–40; 2–50; 3–60

Figure 2. Influence of temperature and duration of hydrolysis on the content of amine nitrogen, °C: 1–40; 2–50; 3–60

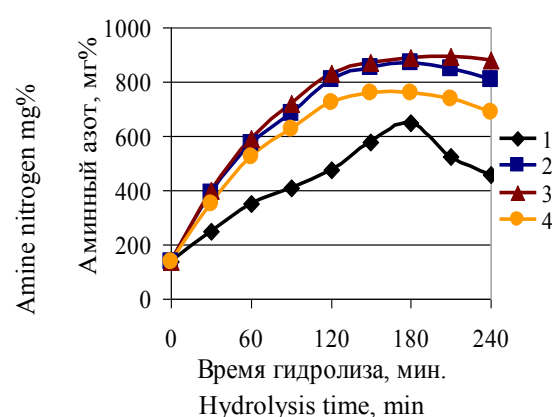


Рисунок 3. Влияние pH и продолжительности гидролиза на содержание аминного азота, pH: 1 – 4,0; 2 – 5,0; 3 – 6,0; 4 – 7,0

Figure 3. Effect of pH and duration of hydrolysis on the content of amine nitrogen, pH: 1 – 4.0; 2 – 5.0; 3 – 6.0; 4 – 7.0

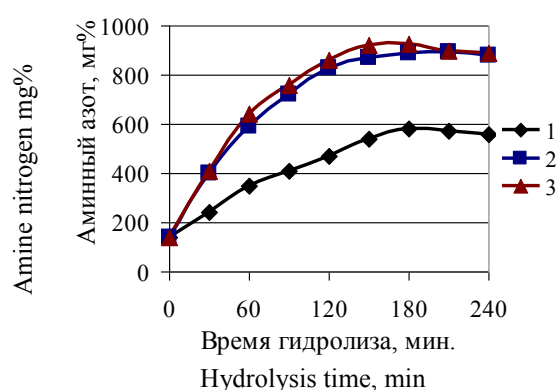


Рисунок 4. Влияние концентрации ФП на содержание аминного азота, Е/г белка: 1 – 0,6; 2 – 1,0; 3 – 1,4

Figure 4. Effect of the concentration of Protamex® on the content of amine nitrogen, Е/ g protein: 1 – 0.6; 2 – 1.0; 3 – 1.4

Параметры гидролиза рисового БК с ФП Protamex® использованы для протеолиза с эндопротеиназным ФП Neutrase 1.5 MG при концентрации 0,6, 1,0 и 1,4 Е/г и продолжительности 180 мин. Показано, что количество аминного азота, выделившегося с ФП Protamex®, больше на 11–23%, чем количество с ФП Neutrase 1,5 MG. Следовательно, Protamex® является более эффективным препаратом для протеолиза рисовых БК, чем Neutrase 1,5 MG, как и для пшеничной клейковины [35].

Параметры протеолиза с ФП Protamex® использовали и для определения оптимальных режимов гидролиза рисовых БК с ФП Flavourzyme 500 MG, содержащим эндопротеазную и экзопептидазную активность. Для получения результатов по влиянию различных факторов на содержание аминного азота использовали методы математического планирования эксперимента. Массовая доля субстрата 25%, pH = 6,0 – 6,2 (const). Время гидролиза (X_3) изменяли в интервале 60–240 мин, температуру (X_1) – в диапазоне 40–60 °C, концентрацию ФП (X_2) – от 0,3 до 1,5 Е/г белка. По данным эксперимента с помощью программы TableCurve 3D построены поверхности отклика для аминного азота (рисунок 5). Обработка данных в программах Matematika и Table Curve позволила получить оптимальные параметры гидролиза БК для точек экстремума максимума аминного азота: температура 55 °C, концентрация ФП – 1,5 Е/г белка, время гидролиза – 195 мин. Степень протеолиза при этом составила не более 4,16%:

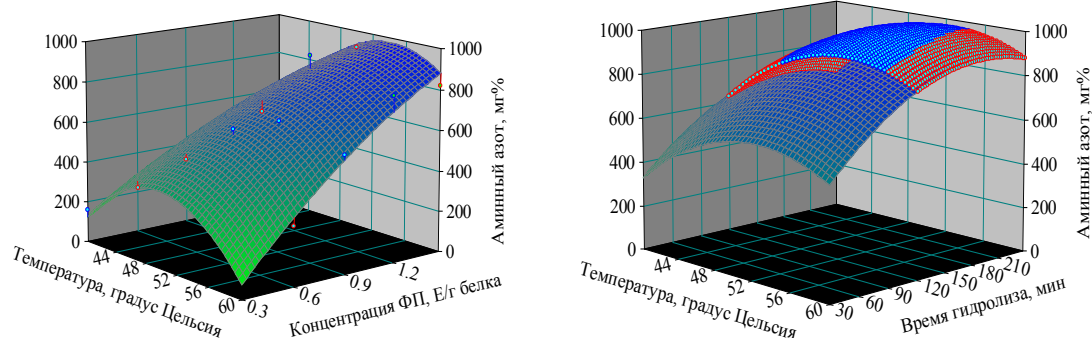


Рисунок 5. Зависимость количества аминного азота от параметров гидролиза

Figure 5. Dependence of the amount of amine nitrogen on hydrolysis parameters

$$Y = -5341,16 + 134,2741X_1 - 18,9436X_2 + 2,549306X_3 - 1,38757X_1^2 - 103,741X_2^2 - 0,0729X_3^2 + 10,54811X_1 X_2 + 0,005208X_2 X_3 + 0,0143X_1 X_3.$$

Функциональные свойства БК и влияние на них различных факторов

Для оценки возможности использования БК в производстве различных пищевых изделий изучены их функциональные свойства. Нами исследовано по три вида концентратов из белого и коричневого риса: БК, БКК и БГК. ЖСС, ВСС и растворимость БК из белого риса выше на 10–15%, чем аналогичные свойства БК из коричневого риса. Значительные различия обнаружены и для свойств пены: ПОС почти в 5–6 раз выше у БК из белого риса, чем из коричневого риса; стабильность пены у последнего вообще отсутствовала.

Осаждение белков солями кальция практически не влияло на растворимость, ЖСС и ЖЭС. Значения функциональных свойств у БК из белого риса по-прежнему оставались несколько выше, чем у БК из коричневого риса. По ВСС, ЖСС, ЖЭС и растворимости белки белого риса, полученные с осаждением цитратом кальция и без него, практически не отличались друг от друга, тогда как ПОС у обоих БКК была ниже: из белого риса – на 11%, из коричневого – на 52%. Стабильность пены концентратов, выделенных из белого риса, понизилась на 18%, а у БК из коричневого риса она вновь отсутствовала. Следовательно, пенообразующие свойства концентратов изменялись под влиянием соли цитрата кальция, используемого при осаждении белков.

Функциональные свойства БГК из белого и коричневого риса, полученных с ФП Protamex®, отличались от свойств негидролизированных БК. Так, ВСС у БГК белого риса на 19% выше, а ПОС – в 3 раза больше, тогда как ЖСС, ЖЭС и СЭ, наоборот, несколько меньше (до 8%), чем у негидролизированных БК. Аналогичная закономерность установлена и для БГК из коричневого риса: ВСС выше на 14%, ПОС – в 3,5 раза,

а ЖСС, ЖЭС и СЭ у БГК, наоборот, на 7–15% ниже. Растворимость белков обоих БГК повышалась в 11–14 раз. Важно отметить, что БГК из белого риса обладал всегда более высокими функциональными свойствами, чем БГК из коричневого риса: ВСС, ЖСС, ЖЭС и СЭ выше на 7–18%, ПОС – в 5 раз, растворимость больше на 21%. Пена у БГК, как и у БК и БКК из коричневого риса, также не обладала стабильностью.

Функциональные свойства белковых продуктов зависят от условий их применения, поэтому изучали влияние pH на их функциональные свойства на модельных растворах, варьируя значения pH в 0,01 М К, Na-буферных растворах. Растворимость белков, выраженная в % от общего количества их в навеске, при всех значениях pH, кроме изоэлектрической точки (около 7), в сильноокислых и сильнощелочных средах была выше у БК из белого риса, чем из коричневого (рисунок 6).

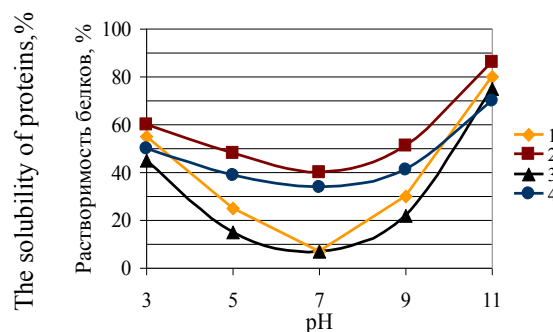


Рисунок 6. Растворимость БК при разных значениях pH: БК из белого риса: 1 – БК; 2 – ГБК; БК из коричневого риса: 3 – БК; 4 – ГБК

Figure 6. The solubility of PC at different pH values: PC of white rice: 1 – PC; 2 – HPC; PC from brown rice: 3 – PC; 4 – HPC

При pH 5–9 растворимость белков в 2,0–2,7 раза выше у БГК, чем у негидролизованых БК. Даже в изоэлектрической точке она более высокая (34–40%), поэтому данные продукты перспективны для изготовления коктейлей, напитков, мучных кондитерских изделий, приготовленных с разрыхлителями (pH 7,5–9,5). Выявленные различия в растворимости концентратов, полученных из двух видов риса, в целом сохранялись и в диапазоне значений

pH от 4 до 8 для ВСС, ЖСС, ПОС и ЖЭС (рисунок 7). Однако прослеживалась и другая закономерность: в слабых кислотах при pH 4–6 значения ВСС, ЖСС, ЖЭС и ПОС ниже, чем в нейтральной и слабощелочной среде. Наиболее высокие показатели наблюдались при нейтральном и слабощелочном значении pH (8,0). При данных условиях в большей степени изменялись ЖЭС, ВСС и ЖСС, в меньшей степени – ПОС.

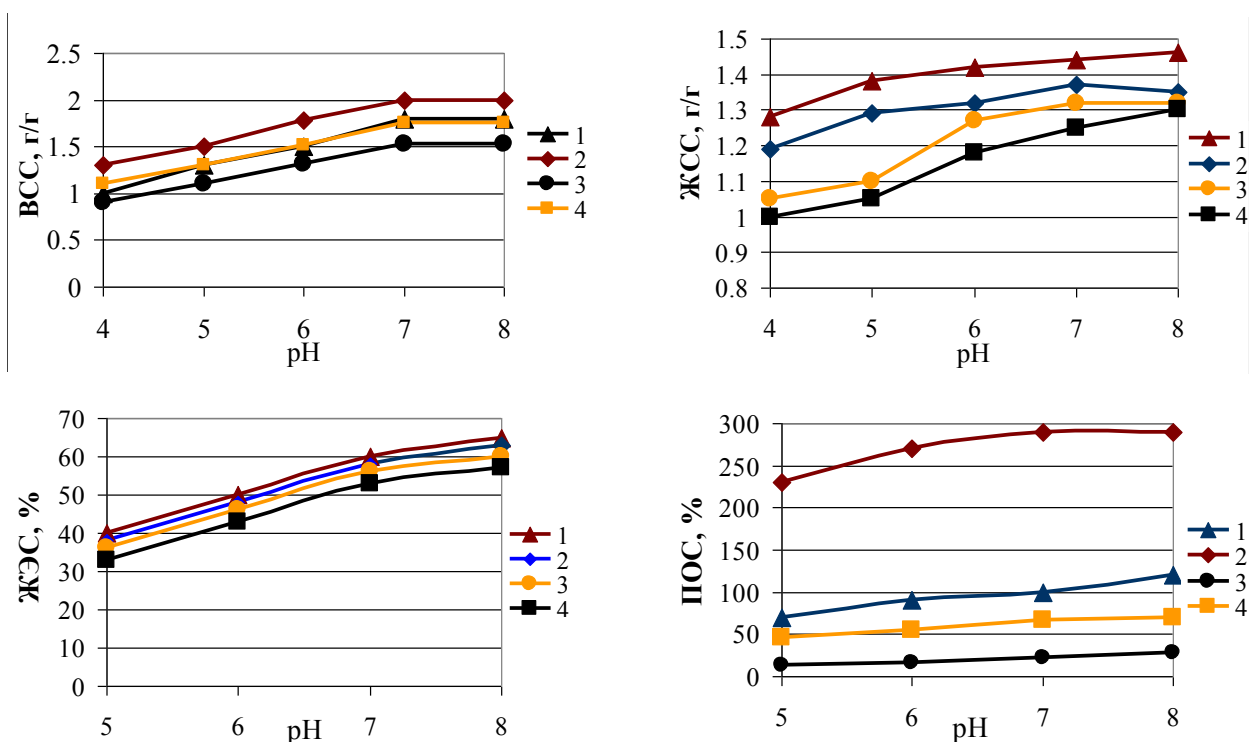


Рисунок 7. Влияние pH среды на функциональные свойства БК: концентраты из белого риса: 1 – БК; 2 – БГК; концентраты из коричневого риса: 3 – БК; 4 – БГК

Figure 7. The effect of pH on the functional properties of PC: concentrates of white rice: 1 – PC; 2 – HPC; brown rice concentrates: 3 – PC; 4 – HPC

Закключение

Разработаны процессы протеолиза БК и БГК, полученных из белого и коричневого риса. Определены оптимальные условия для гидролиза БК с ФП эндопротезного действия (Protamex®, Neutrase 1.5MG) и комбинированного эндопротезного и экзопептидазного действия (Flavourzyme 500 MG) для достижения степени протеолиза 3,89–4,16%: концентрация субстрата 25%, концентрация ФП – 1,0–1,5 Е/г белка, температура 50–55 °С, pH = 5,0–6,2, время гидролиза 150–195 мин.

Функциональные свойства выше у БК из белого риса, чем у БК из коричневого риса: ПОС почти в 5–6 раз выше, а стабильность пены у белков из коричневого риса вообще отсутствовала. Под влиянием цитрата кальция,

используемого для осаждения белков, функциональные свойства БК незначительно, но ухудшались. Функциональные свойства модифицированных БК из обоих видов риса после ферментативного гидролиза изменялись неоднозначно: ВСС, ПОС и растворимость повышались, а ЖСС, ЖЭС и СЭ, наоборот, понижались по сравнению с негидролизованными БК. Пенообразующая способность БГК из белого риса достигала ПОС яичного альбумина (300%). Следовательно, с помощью процесса ограниченного протеолиза БК, полученных из белого и коричневого риса, можно обеспечивать заданные значения функциональных свойств для применения в конкретных изделиях и пищевых системах.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Lee Y., Kwak H., Lenjo M., Meullenet J. Estimating sensory texture of cooked rice using full and optimized predictive regression models // *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 2015. V. 27. P. 931–935.
- 2 Charoenthaikij P., Jangchud K., Jangchud A., Piyachomkwan K. et al. Composite wheat–germinated brown rice flours: selected physicochemical properties and bread application. *Intern // Journal of Food Science and Technology*. 2012. V. 47. P. 75–82.
- 3 Thi Hyen D., Bogatyreva T.G. Use of rice flour in the technology of bakery products // *Baking*. 2009. V. 12. P. 50–51.
- 4 Jiamyangyuen S., Srijesdaruk V., Harper W.J. Extraction of rice bran protein concentrate and its application in bread // *Journal of Science and Technology*. 2005. V. 27. P. 55–64.
- 5 Gujral H.S., Rosell C.M. Improvement of the breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase // *Food Research International*. 2004. V. 37. P. 75–81.
- 6 Dileep A.O., Shamasundar B.A., Binsi P.K., Howell N.K. Composition and quality of rice flour–fish mince based extruded products with emphasis on thermal properties of rice flour // *Journal of Texture Studies*. 2010. V. 41. P. 190–207.
- 7 Cody T.L., Olabi A., Pettingell A.G., Tong P.S. et al. Evaluation of rice flour for use in vanilla ice cream // *Journal of Dairy Science*. 2007. V. 90. P. 4575–4585.
- 8 Pereira J., Zhou G.H., Zhang W.G. Effects of rice flour on emulsion stability, organoleptic characteristics and thermal rheology of emulsified sausage // *Journal of Food and Nutrition Research*. 2016. V. 4. P. 216–222.
- 9 Ferreira S.M., Caliani L.I., Júnior M.S.S., Beleia A.D.P. Infant dairy-cereal mixture for the preparation of a gluten free cream using enzymatically modified rice flour // *LWT – Food Science and Technology*. 2014. V. 59. P. 1033–1040.
- 10 Sotelo A., Hernandez M., Montalvo I., Sousa V. Amino acid content and protein biological evaluation of 12 Mexican varieties of rice // *Cereal Chemistry*. 1994. V. 71. P. 605–609.
- 11 Kong S., Junsoo L. Antioxidants in milling fractions of black rice cultivars // *Food Chemistry*. 2010. V. 120. P. 278–281.
- 12 Kushwaha U.K.S. Black rice. Research, History and Development. Springer International Publishing Switzerland, 2016. 192 p. doi: 10.1007/978-3-319-30153-2
- 13 Adebisi A.P., Adebisi A.O., Hasegawa Y., Ogawa T., Muramoto K. Isolation and characterization of protein fractions from deoiled rice bran // *European Food Research and Technology*. 2009. V. 228. P. 391–401.
- 14 Mustapha U.I., Nur H.A., Muhammad I.B., Norsharina I. et al. Antidiabetic Properties of Germinated Brown Rice: A Systematic Review // *Evidence-based complementary and alternative medicine*. V. 2012. doi: 10.1155/2012/816501
- 15 Bergamo P., Maurano F., Mazzarella G., Iaquinto G. et al. Immunological evaluation of the alcohol-soluble protein fraction from gluten-free grains in relation to celiac disease // *Mol. Nutr. Food Res*. 2011. V. 55. P. 1266–1270.
- 16 Kaliszewska A., Martinez V., Laparra J.M. Proinflammatory responses driven by non-gluten factors are masked when they appear associated to gliadins // *Food and Chemical Toxicology*. 2016. V. 95. P. 89–95.
- 17 Mota C., Santos M., Mauro R., Samman N. et al. Protein content and amino acids profile of pseudocereals // *Food Chemistry*. 2016. V. 193. P. 55–61.
- 18 De Frutos M.F., Fotschki B., Musoles R.F., Llopis J.M.L. Gluten-free cereals and pseudocereals: nutrition and health // *Bioactive molecules in food. Reference series in phytochemistry*. Springer, Cham, 2018.
- 19 Ju Z.Y., Hettiarachchy N.S., Rath N. Extraction, denaturation and hydrophobic properties of rice proteins // *Journal of Food Science*. 2001. V. 66. № 2. P. 229–232. doi: 10.1111/j.1365-2621.2001.tb11322.x
- 20 Lee H.C., Htoon A.K., Uthayakumaran S., Paterson J.L. Chemical and functional quality of protein isolated from alkaline extraction of Australian lentil cultivars: Matilda and Digger // *Food Chemistry*. 2007. V. 102. P. 1199–1207.
- 21 Ilankovan P., Hettiarachchy N.S., Christian S. Preparation of rice endosperm protein isolate by alkali extraction // *Cereal Chemistry*. 2008. V. 85. № 1. P. 76–81.
- 22 Hamada J.S. Ultrafiltration of partially hydrolyzed rice bran protein to recovery value added products // *Journal of Food Science*. 2000. V. 65. P. 305–310.
- 23 Tang S., Hettiarachchy N.S., Horax R., Eswaraandam S. Physicochemical properties and functionality of rice bran protein prepared from heat-stabilized defatted rice bran with aid of enzymes // *Journal of Food Science*. 2003. V. 68. P. 152–157.
- 24 Hou L., Zhu Y., Li Q. Characterization and preparation of broken rice proteins modified by proteases // *Food Technology and Biotechnology*. 2010. V. 1. P. 50–55.
- 25 Silpradit K., Tadakitassarn S., Rimkeeree H., Winitchai S. et al. Optimization of rice bran protein hydrolysate production using alcalase // *Asian Journal of Food and Agro-Industry*. 2010. V. 3. P. 221–231.
- 26 Silvestre M.P.C., Silva M.R., Carreira R.L., Silva V.D.M. et al. Morais. Protein extraction and preparation of protein hydrolysates from rice with low phenylalanine content // *Asian Journal of Scientific Research*. 2009. V. 2. P. 146–154.
- 27 Kolpakova V.V., Chumikina L.V., Fan K.C., Arabova L.I. et al. To the question of the effectiveness of various methods of enzymatic isolation of protein concentrates from white and brown rice // *Agrarian Russia*. 2016. V. 2. P. 12–20.
- 28 Wang Ch., Xu F., Li D., Zhang M. Physicochemical and structural properties of four rice bran protein fractions based on the multiple solvent extraction method // *Czech Journal of Food Sciences*. 2015. V. 33. P. 283–291.
- 29 Oszwald M., Tömösközi S., Larroque O., Keresztényi E. et al. Characterization of rice storage proteins by SE-HPLC and micro z-arm mixer // *Journal of Cereal Science*. 2008. V. 48. P. 68–76.
- 30 Yadav R.B., Khatkar B.S., Yadav B.S. Electrophoretic characterization and functional properties of rice proteins from Indian rice cultivars // *International Journal of Food Properties*. 2013. V. 16. P. 1776–1788.
- 31 Aider M., Djenane D., Ounis W.B. Amino acid composition, foaming, emulsifying properties and surface hydrophobicity of mustard protein isolate as affected by pH and NaCl // *Inter. J. Food Sci. Technol*. 2012. V. 47. P. 1028–1036.
- 32 Zhang H.J., Zhang H., Wang L., Guo X.N. Preparation and functional properties of rice bran proteins from heat-stabilized defatted rice bran // *Food Research International*. 2012. V. 47. P. 359–363.

33 Kingsley K., Addob K., Xiong Y.L. Emulsifying and foaming properties of transglutaminase-treated wheat gluten hydrolysate as influenced by pH, temperature and salt // *Food Hydrocolloids*. 2009. V. 23. P. 72–81.

34 Kolpakova V.V., Chumikina L.V., Arabova L.I., Lukin D.N. et al. Functional technological properties and electrophoretic composition of modified wheat gluten // *Foods and Raw Materials*. 2016. V. 4. № 2. P. 48–57. doi: 10.21179/2308-4057-2016-2-48-57

35 Kolpakova V.V., Chumikina L.V., Vasil'ev A.V., Arabova L.I. et al. Wheat gluten proteolysis by enzyme preparations of directional action // *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*. 2014. V. 5. № 2. P. 72–86.

REFERENCES

1 Lee Y., Kwak H., Lenjo M., Meullenet J. Estimating sensory texture of cooked rice using full and optimized predictive regression models. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 2015. vol. 27. pp. 931–935.

2 Charoenthakij P., Jangchud K., Jangchud A., Piyachomkwan K. et al. Composite wheat-germinated brown rice flours: selected physicochemical properties and bread application. *Intern. Journal of Food Science and Technology*. 2012. vol. 47. pp. 75–82.

3 Thi Hyen D., Bogatyreva T.G. Use of rice flour in the technology of bakery products. *Baking*. 2009. vol. 12. pp. 50–51. (in Russian).

4 Jiamyangyuen S., Srijsedaruk V., Harper W.J. Extraction of rice bran protein concentrate and its application in bread. *Journal of Science and Technology*. 2005. vol. 27. pp. 55–64.

5 Gujral H.S., Rosell C.M. Improvement of the breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase. *Food Research International*. 2004. vol. 37. pp. 75–81.

6 Dileep A.O., Shamasundar B.A., Binsi P.K., Howell N.K. Composition and quality of rice flour–fish mince based extruded products with emphasis on thermal properties of rice flour. *Journal of Texture Studies*. 2010. vol. 41. pp. 190–207.

7 Cody T.L., Olabi A., Pettingell A.G., Tong P.S. et al. Evaluation of rice flour for use in vanilla ice cream. *Journal of Dairy Science*. 2007. vol. 90. pp. 4575–4585.

8 Pereira J., Zhou G.H., Zhang W.G. Effects of rice flour on emulsion stability, organoleptic characteristics and thermal rheology of emulsified sausage. *Journal of Food and Nutrition Research*. 2016. vol. 4. pp. 216–222.

9 Ferreira S.M., Caliani L.I., Júnior M.S.S., Beileia A.D.P. Infant dairy-cereal mixture for the preparation of a gluten free cream using enzymatically modified rice flour. *LWT – Food Science and Technology*. 2014. vol. 59. pp. 1033–1040.

10 Sotelo A., Hernandez M., Montalvo I., Sousa V. Amino acid content and protein biological evaluation of 12 mexican varieties of rice. *Cereal Chemistry*. 1994. vol. 71. pp. 605–609.

11 Kong S., Junsoo L. Antioxidants in milling fractions of black rice cultivars. *Food Chemistry*. 2010. vol. 120. pp. 278–281.

12 Kushwaha U.K.S. *Black rice. Research, History and Development*. Springer International Publishing Switzerland, 2016. 192 p. doi: 10.1007/978-3-319-30153-2

13 Adebisi A.P., Adebisi A.O., Hasegawa Y., Ogawa T., Muramoto K. Isolation and characterization of protein fractions from deoiled rice bran. *European Food Research and Technology*. 2009. vol. 228. pp. 391–401.

14 Mustapha U.I., Nur H.A., Muhammad I.B., Norsharina I. et al. Antidiabetic Properties of Germinated Brown Rice: A Systematic Review. Evidence-based complementary and alternative medicine. vol. 2012. doi: 10.1155/2012/816501

15 Bergamo P., Maurano F., Mazzarella G., Iaquito G. et al. Immunological evaluation of the alcohol-soluble protein fraction from gluten-free grains in relation to celiac disease. *Mol. Nutr. Food Res*. 2011. vol. 55. pp. 1266–1270.

16 Kaliszewska A., Martinez V., Laparra J.M. Proinflammatory responses driven by non-gluten factors are masked when they appear associated to gliadins. *Food and Chemical Toxicology*. 2016. vol. 95. pp. 89–95.

17 Mota C., Santos M., Mauro R., Samman N. et al. Protein content and amino acids profile of pseudocereals. *Food Chemistry*. 2016. vol. 193. pp. 55–61.

18 De Frutos M.F., Fotschki B., Musoles R.F., Llopis J.M.L. Gluten-free cereals and pseudocereals: nutrition and health. *Bioactive molecules in food. Reference series in phytochemistry*. Springer, Cham, 2018.

19 Ju Z.Y., Hettiarachchy N.S., Rath N. Extraction, denaturation and hydrophobic properties of rice proteins. *Journal of Food Science*. 2001. vol. 66. no. 2. pp. 229–232. doi: 10.1111/j.1365-2621.2001.tb11322.x

20 Lee H.C., Htoon A.K., Uthayakumaran S., Paterson J.L. Chemical and functional quality of protein isolated from alkaline extraction of Australian lentil cultivars: Matilda and Digger. *Food Chemistry*. 2007. vol. 102. pp. 1199–1207.

21 Ilankovan P., Hettiarachchy N.S., Christian S. Preparation of rice endosperm protein isolate by alkali extraction. *Cereal Chemistry*. 2008. vol. 85. no. 1. pp. 76–81.

22 Hamada J.S. Ultrafiltration of partially hydrolyzed rice bran protein to recovery value added products. *Journal of Food Science*. 2000. vol. 65. pp. 305–310.

23 Tang S., Hettiarachchy N.S., Horax R., Eswaraandam S. Physicochemical properties and functionality of rice bran protein prepared from heat-stabilized defatted rice bran with aid of enzymes. *Journal of Food Science*. 2003. vol. 68. pp. 152–157.

24 Hou L., Zhu Y., Li Q. Characterization and preparation of broken rice proteins modified by proteases. *Food Technology and Biotechnology*. 2010. vol. 1. pp. 50–55.

25 Silpradit K., Tadakittasarn S., Rimkeeree H., Winitchai S. et al. Optimization of rice bran protein hydrolysate production using alcalase. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*. 2010. vol. 3. pp. 221–231.

26 Silvestre M.P.C., Silva M.R., Carreira R.L., Silva V.D.M. et al. Moraes. Protein extraction and preparation of protein hydrolysates from rice with low phenylalanine content. *Asian Journal of Scientific Research*. 2009. vol. 2. pp. 146–154.

27 Kolpakova V.V., Chumikina L.V., Fan K.C., Arabova L.I. et al. To the question of the effectiveness of various methods of enzymatic isolation of protein concentrates from white and brown rice. *Agrarian Russia*. 2016. vol. 2. pp. 12–20. (in Russian).

28 Wang Ch., Xu F., Li D., Zhang M. Physicochemical and structural properties of four rice bran protein fractions based on the multiple solvent extraction method. *Czech Journal of Food Sciences*. 2015. vol. 33. pp. 283–291.

29 Oszvald M., Tömösközi S., Larroque O., Keresztényi E. et al. Characterization of rice storage proteins by SE-HPLC and micro z-arm mixer. *Journal of Cereal Science*. 2008. vol. 48. pp. 68–76.

30 Yadav R.B., Khatkar B.S., Yadav B.S. Electrophoretic characterization and functional properties of rice proteins from indian rice cultivars. *International Journal of Food Properties*. 2013. vol. 16. pp. 1776–1788.

31 Aider M., Djenane D., Ounis W.B.. Amino acid composition, foaming, emulsifying properties and surface hydrophobicity of mustard protein isolate as affected by pH and NaCl. *Inter. J. Food Sci. Technol.* 2012. vol. 47. pp. 1028–1036.

32 Zhang H.J., Zhang H., Wang L., Guo X.N.. Preparation and functional properties of rice bran proteins from heat-stabilized defatted rice bran. *Food Research International*. 2012. vol. 47. pp. 359–363.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Валентина В. Колпакова д.т.н., профессор, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов, ул. Некрасова, 11, п. Красково, 140051, Россия, val-kolpakova@rambler.ru

Людмила В. Чумикина к.б.н., ст. научный сотрудник, Институт биохимии им. А.Н. Баха, Ленинский пр-т, 33, кор.2, Москва, 119071, Россия, chumikina@mail.ru

Лидия И. Арабова к.б.н., научный сотрудник, Институт биохимии им. А.Н. Баха, Ленинский пр-т, 33, кор.2, Москва, 119071, Россия, l.arabova@gmail.com

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 22.01.2019

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 20.02.2019

33 Kingsley K., Addob K., Xiong Y.L. Emulsifying and foaming properties of transglutaminase-treated wheat gluten hydrolysate as influenced by pH, temperature and salt. *Food Hydrocolloids*. 2009. vol. 23. pp. 72–81.

34 Kolpakova V.V., Chumikina L.V., Arabova L.I., Lukin D.N. et al. Functional technological properties and electrophoretic composition of modified wheat gluten. *Foods and Raw Materials*. 2016. vol. 4. no. 2. pp. 48–57. doi: 10.21179/2308-4057-2016-2-48-57

35 Kolpakova V.V., Chumikina L.V., Vasil'ev A.V., Arabova L.I. et al. Wheat gluten proteolysis by enzyme preparations of directional action. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*. 2014. vol. 5. no. 2. pp. 72–86.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Valentina V. Kolpakova Dr. Sci. (Engin.), professor, lead researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Starch Products, Nekrasova St., 11, Kraskovo settlement, 140051, Russia, val-kolpakova@rambler.ru

Ludmila V. Chumikina Cand. Sci. (Biol.), senior researcher, Federal Research Centre “Fundamentals of Biotechnology” of the Russian Academy of Sciences, Leninsky av., 33/2, Moscow, 119071, Russia, chumikina@mail.ru

Lidia I. Arabova Cand. Sci. (Biol.), researcher, Federal Research Centre “Fundamentals of Biotechnology” of the Russian Academy of Sciences, Leninsky av., 33/2, Moscow, 119071, Russia, l.arabova@gmail.com

CONTRIBUTION

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 1.22.2019

ACCEPTED 2.20.2019