

Научная статья

УДК 663.938.8

DOI: 10.17586/2310-1164-2021-14-3-49-59

Разработка технологии производства экстрактов зеленого кофе робуста (*Coffea canephora*): подбор степени измельчения и температуры экстракции

М.О. Карпова*, Н.В. Макарова, Д.Ф. Игнатова, Д.В. Будылин

*Самарский государственный технический университет
Россия, Самара, *karpova-mana@mail.ru*

Аннотация. Определяли параметры оптимальной степени измельчения и температуры экстракции для зерен кофе робуста (*Coffea canephora*) с целью максимально экстрагировать антиоксидантные вещества. В экстрактах определяли общее содержание фенолов, флавоноидов, танинов, антирадикальную активность по методу DPPH, восстанавливающую силу по методу FRAP. Объектами исследования выступали экстракты, полученные из зерен кофе робуста, измельченных до размера 0,5; 1,0 и 1,6 мм при растворителе 25% вода/75% этанол. При оптимальной степени измельчения определялась температура экстракции. В качестве переменных выбраны 20–25°C; 40–50°C и температура кипения растворителя. Максимальные значения общего содержания фенольных веществ (864 мг (ГК)/100 г) и восстанавливающей силы (14,04 ммоль Fe²⁺/кг) обнаружены в экстракте кофе робуста со степенью измельчения 0,5. Наивысшие показатели общего содержания флавоноидов (492 мг (К)/100 г) установлены для экстрактов кофе робуста со степенью измельчения 1,0. Низкая антирадикальная активность (Ec₅₀ = 5,3 мг/см³) обнаружена в кофе робуста при измельчении 0,5. Экстракты, нагретые до температуры 40–50°C, показывают высокие значения содержания фенолов (864 мг (ГК)/100 г) и восстанавливающей силы (15,93 ммоль Fe²⁺/кг). Общее содержание флавоноидов (652 мг (К)/100 г), танинов (186,6 мг катехина/100 г) и наименьшая антирадикальная активность (Ec₅₀ = 0,8 мг/см³) наблюдается у экстрактов с температурой экстракции равной температуре кипения растворителя. Полученные результаты подтверждают, что такие технологические факторы, как степень измельчения и температура экстракции значительно влияют на извлечение антиоксидантных веществ из кофе, что целесообразно использовать в качестве ингредиентов для функциональных пищевых продуктов.

Ключевые слова: кофейные экстракты; зерна кофе робуста; антиоксидантные вещества; степень измельчения; температура экстракции

Original article

Development of technology for the production of green coffee robusta extracts (*Coffea canephora*): selection of grinding degree and extraction temperature

Maria O. Karpova*, Nadezhda V. Makarova, Dinara F. Ignatova, Dmitry V. Budylin

*Samara State Technical University
Samara, Russia, *karpova-mana@mail.ru*

Abstract. The aim of the study was to determine the parameters of the optimal grinding degree and extraction temperature for Robusta coffee beans (*Coffea canephora*), which allow the most complete extraction of antioxidant substances. In the extracts, the total content of phenols, flavonoids, tannins, antiradical activity by the DPPH method, and the restoring force by the FRAP method were determined. The objects of the study were extracts obtained from Robusta coffee beans, ground to a size of 0.5, 1.0, and 1.6 mm, in a solvent of 25% water/75% ethanol. The extraction temperature was determined at the optimum fineness. The variables are 20–25°C; 40–50°C, and the boiling point of the solvent. The maximum values of the total content of phenolic substances (864 mg (HA)/100 g) and the restoring force (14.04 mmol Fe²⁺/kg) were found in the extract of Robusta coffee with a grinding degree of 0.5. The highest values for the total content of flavonoids (492 mg (K)/100 g) were found for extracts of Robusta coffee with a fineness of 1.0. Low antiradical activity (Ec₅₀ = 5.3 mg/cm³) was found in Robusta coffee with a grinding of 0.5. The extracts heated to a temperature of 40–50°C show high values of the content of phenols (864 mg (HA)/100 g) and the restoring force (15.93 mmol Fe²⁺/kg). The total content of flavonoids (652 mg (K)/100 g), tannins (186.6 mg of catechin/100 g), and the lowest antiradical activity (Ec₅₀ = 0.8 mg/cm³) are observed in extracts with an extraction temperature equal to the boiling point of the solvent. These results confirm that such technological factors as the degree of grinding and extraction temperature significantly affect the extraction of antioxidant substances and should be taken into account to optimize the extraction of antioxidants from coffee, which can later be used effectively as ingredients for functional food products.

Keywords: extracts of coffee; robusta coffee beans; antioxidant substances; grinding degree; extraction temperature

Введение

Наиболее широко культивируемыми видами кофе являются *Coffea arabica* (арабика) и *Coffea canephora* (робуста). Несмотря на худшее сенсорное качество в сравнении с арабикой, из кофе робуста в результате переработки возможно получение большего количества растворимых твердых веществ, что дает возможность использовать его в смесях и производстве растворимого кофе [1].

Основными компонентами зеленого кофе являются углеводы (55,0–65,5%), липиды (10,0–18,0%), азотсодержащие соединения (11,0–15,0%), пуриновые алкалоиды (0,8–4,0%), хлорогеновые кислоты (6,7–9,2%) и минералы (3,0–5,4%). Другими соединениями, которые обнаруживаются в более низком процентном содержании, являются нелетучие алифатические кислоты (лимонная, яблочная и хинная кислоты) и фенолы [2]. Общее содержание антиоксидантов в кофе составляет 0,15–0,30 мг/г [3].

Методы экстракции, описанные в литературе, широко варьируются, т.к. каждый метод имеет определенные достоинства и недостатки. Различные исследования параметров химической экстракции показали, что разные ароматические соединения экстрагируются при разных температурах. В последнее время потребление холодного кофе увеличилось в странах Северной Европы, США и Японии, в результате введения новых методов приготовления, предусматривающих более длительное время экстракции при более низких температурах (т.е. при комнатной температуре или менее) [4].

Температура заваривания влияет на процессы экстракции и может по-разному влиять на спектр обжарки. В связи с этим целью исследования [5] было приготовление горячего и холодного кофе из кофейных зерен арабики Columbian, обжаренных до светлого, среднего и темного уровней, чтобы понять взаимосвязь между температурой заваривания и температурой обжарки. Были измерены химические и физические параметры, чтобы изучить взаимосвязь между степенью обжарки, температурой воды и ключевыми характеристиками полученного кофе. Кофе для холодного приготовления дал экстракты, характеризующиеся пониженной кислотностью, более низкой концентрацией темных красящих соединений и меньшим количеством растворенных твердых веществ, что указывает на то, что при варке в холодной воде некоторые соединения экстрагируются менее эффективно, чем при варке в горячей воде.

Кинетику экстракции и равновесные концентрации кофеина и 3-хлорогеновой кислоты (3-ХГК) в холодном завариваемом кофе исследовали в статье [6] путем заваривания четырех образцов кофе (темная обжарка/средний помол, темная обжарка/крупный помол, средняя обжарка/средний помол, средняя обжарка/грубый помол) холодным и горячим способами. 3-ХГК и кофеин были обнаружены в более высоких концентрациях в холодном кофе, приготовленном из кофе средней обжарки, чем в кофе темной обжарки. Размер помола не оказал значительного влияния на концентрации 3-ХГК и кофеина в образцах холодного напитка, что указывает на то, что этап, на котором определяется скорость экстракции этих соединений, не зависит от площади поверхности.

В работе [7] изучали как три уровня измельчения кофейного порошка и три метода приготовления кофе – фильтрация (американский), кипячение (турецкий) и экстракция под давлением (эспрессо) – влияют на полезные соединения и физико-химические свойства кофе, подаваемого потребителям. По результатам исследования уровень помола незначительно повлиял на качество кофе, тогда как способ приготовления существенно воздействовал на все характеристики. При сравнении содержания извлекаемых веществ в расчете на 120 мл, американский кофе показал более высокие значения антиоксидантной активности и общего содержания фенолов, чем кофе эспрессо и турецкий кофе.

Цель данного исследования – подбор оптимальной степени измельчения и температуры экстракции при выбранной степени измельчения зерен зеленого кофе *Робуста* (*Coffea canephora*) для получения экстрактов с высокими значениями общего содержания фенолов, флавоноидов, антирадикальной активности по методу DPPH, восстанавливающей силы по методу FRAP для обогащения напитков антиоксидантами.

Объекты и методы исследования

Исследовали порошок из зерен зеленого кофе робуста (место произрастания Вьетнам) с различными степенями измельчения 1,6; 1,0 и 0,5 мм. В качестве растворителя для экстракции использовали соотношение воды и спирта 25:75, т.к. по результатам предыдущих исследований [8, 9] этот тип

растворителя извлекает наибольшее количество антиоксидантных веществ.

Таким образом, испытания проводились с тремя образцами, в которых определяли общее содержание фенольных веществ (галловая кислота), флавоноидов, танинов, антирадикальную активность по методу DPPH, восстанавливающую силу по методу FRAP.

Получение сырья с необходимой степенью измельчения: кофе измельчали в мельнице (Вьюга), измельченное сырье просеивали через сито размером 0,5 мм.

Получение экстракта: 2 г исследуемого кофе переносили в стеклянную колбу с притертой крышкой и заливали 20 мл растворителя (для каждого растворителя в трехкратном повторе, чтобы убедиться в повторяемости результата, исключить промахи и проверить, что случайная ошибка действительно мала). Экстракция кофе продолжается 2 ч в термостате при температуре 37°C. Полученный экстракт фильтровали через бумажный фильтр в сухую коническую колбу. Центрифугировали 15 мин при скорости 5000 об/мин.

Получение экстракта с температурой 20–25°C; 40–50°C и температурой кипения растворителя (соотношение воды и спирта 25:75): 2 г исследуемого кофе переносили в стеклянную колбу с притертой крышкой и заливали 20 мл растворителя (для каждого растворителя в трехкратном повторе). Экстракция кофе продолжалась 2 ч в термостате (при температуре 20–25°C/40–50°C)/в колбе с обратным холодильником. Полученный экстракт фильтровали через бумажный фильтр в сухую коническую колбу. Центрифугировали 15 мин при скорости 5000 об/мин.

Определение общего содержания фенольных веществ в экстрактах кофе проводилось на основе методики [10] с актуализацией для экстрактов кофе. В экстракт кофе на основе выбранного растворителя в количестве 0,25 см³ добавляли воду в количестве 4 и 0,25 см³ водного раствора реактива Фолина–Чокалтеу (в соотношении 1:1), 0,25 см³ раствора насыщенного карбоната натрия. Полученную смесь оставляли на 30 мин, оптическую плотность проб измеряли на спектрофотометре при длине волны 725 нм. По полученным значениям оптической плотности, используя калибровочную кривую, находили значения общего содержания фенольных веществ в мг галловой кислоты/100 г исходного сырья. В качестве стандартного вещества для построения калибровочной кривой использована чистая галловая кислота ХЧ (химически чистая).

Общее содержание флавоноидов в экстрактах кофе исследовали фотометрическим методом. Измерения оптической плотности раствора на спектрофотометре проводили при длине световой волны 510 нм. Для обработки результатов измерений в качестве исходной методики была взята [11] с изменениями для экстрактов кофе. В исследуемый экстракт кофе объемом 0,5 см³ добавляли 2,5 см³ дистиллированной воды, затем 0,15 см³ раствора нитрита натрия с концентрацией 5%, экспозиция 5 мин, прибавляли 0,3 см³ 10% раствора хлорида алюминия, оставляли на 5 мин. Результаты общего содержания флавоноидов определяли по калибровочной кривой и выражали в мг катехина/100 г исходного сырья. В качестве стандартного вещества для построения калибровочной кривой использован катехин.

Определение общего содержания танинов проводилось на основе методики [12]. Приготовление реагента ванилина: навеску ванилина растворяли в 4%-й соляной кислоте (0,5 г на 1 мл соответственно). Смешивали 1 мл экстракта кофе и 5 мл раствора ванилина. Образцы и контроль (без ванилина) оставляли на 20 мин в темном месте, а затем измеряли оптическую плотность при длине волны 500 нм. Результаты общего содержания танинов определяли по калибровочной кривой и выражали в мг катехина/100 г исходного сырья.

Определение антирадикальной активности по методу DPPH экстрактов кофе в изучаемых растворителях проводилось с использованием раствора 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (DPPH) в этаноле, имеющего насыщенную пурпурно-синюю окраску. Методика [13] была взята за базу и доработана для экстрактов кофе. Из экстрактов кофе с определенной степенью измельчения и температурой экстракции приготавливали растворы различной концентрации, из которых набирали в пробирку 0,2 см³, добавляли 2 см³ дистиллированной воды, 2 см³ раствора DPPH. Готовые растворы оставляли в затемненном месте на 30 мин. На спектрофотометре измеряли оптическую плотность полученных растворов исследования при длине световой волны 517 нм. Определение антирадикальной активности по методу DPPH проводили по показателю E₅₀, как концентрации экстракта кофе, необходимой для поглощения 50% свободных радикалов DPPH.

В качестве исходной методики для определения восстанавливающей силы по методу FRAP использовали метод [14] с модификацией для экстрактов кофе. Смешивали в пробирке 0,1 см³ исходного экстракта кофе, 3 см³ дистиллированной воды, 1 см³ раствора реагента FRAP и выдерживали 4 мин в термостате при температуре 37°C. Измерение оптической плотности полученного раствора измеряли на спектрофотометре при длине световой волны 593 нм. Результаты восстанавливающей силы по методу FRAP рассчитывали по калибровочному графику в ммоль Fe²⁺/1 кг исходного сырья. В качестве стандартного вещества для построения калибровочной кривой использован сульфат железа.

Средние значения и среднеквадратичные отклонения рассчитывали с помощью пакета программ Microsoft Excel. Для определения статистической значимости выявленных различий использовали парный двухвыборочный t-тест Стьюдента. Во всех случаях статистические критерии считали достоверными при $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Фенольные соединения, включая флавоноиды, антоцианы и производные фенольной кислоты, являются одним из наиболее распространенных классов природных антиоксидантов. Они синтезируются в основном в хлоропластах или цитоплазме посредством фенилпропаноидного пути. Эти соединения выполняют множество функций в органах растений, включая защиту от нападения насекомых и заражения возбудителями болезней такими, как грибы, бактерии и вирусы, защиты ДНК от окислительного повреждения и уменьшения фотоокислительного повреждения фотосистем [15].

Основными источниками фенольных соединений являются фрукты, овощи и такие напитки, как кофе, чай, вино и свежевыжатые фруктовые соки. Помимо их потенциального воздействия от нескольких хронических заболеваний, важно понимать изменения, произошедшие с этими соединениями после обработки пищевых продуктов, и их биодоступность [16].

Кофейные зерна содержат несколько классов химических веществ, обладающих биологической активностью: фенольные соединения, дитерпены, ксантины и предшественники витаминов. Фенольные соединения кофе в последние годы вызывают большой интерес из-за сильных антиоксидантных и хелирующих свойств, которые, как считается, обеспечивают защиту *in vivo* от повреждения свободными радикалами и снижают риск дегенеративных заболеваний, связанных с окислительным стрессом [17].

Результаты определения общего содержания фенольных веществ в экстрактах зерен зеленого кофе робуста (*Coffea canephora*) представлены на рисунке 1.

Наибольшее количество фенольных веществ содержится в экстрактах со степенью измельчения 0,5–864 мг (ГК)/100 г. При увеличении степени измельчения значения уменьшаются – 1,0 (797 мг (ГК)/100 г) и 1,6 (643 мг (ГК)/100 г).

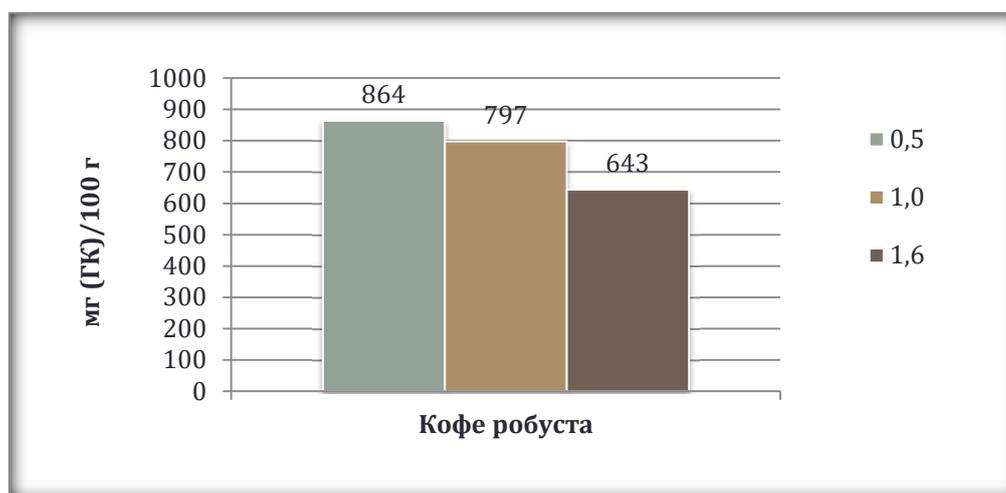


Рисунок 1 – Результаты исследования общего содержания фенольных веществ в различных экстрактах зерен зеленого кофе робуста (*Coffea canephora*) со степенью измельчения 0,5; 1,0; 1,6 мм

Figure 1. The total content of phenolic substances in various extracts of green coffee Robusta beans (*Coffea canephora*) with a grinding degree of 0.5, 1.0, and 1.6 mm

Таким образом, степень измельчения 0,5 может считаться оптимальной для извлечения максимального количества фенольных веществ из зеленого кофе робуста (*Coffea canephora*).

Флавоноиды – это группа структурно разнообразных водорастворимых полифенольных соединений растительного происхождения, содержащихся в пищевых продуктах, включая яблоки, ягоды, чай, цитрусовые и красное вино. Появляется все больше доказательств того, что более высокое потребление флавоноидов может быть связано со снижением риска сердечно-сосудистых и других хронических заболеваний [18].

Полученные результаты определения общего содержания флавоноидов в экстрактах зерен зеленого кофе робуста (*Coffea canephora*) представлены на рисунке 2.

Содержания флавоноидов в зернах кофе робуста (*Coffea canephora*) со степенью измельчения 1,0 показывает самый высокий результат – 492 мг (К)/100 г. Несколько меньшее содержание флавоноидов у экстрактов со степенью измельчения 0,5–411 мг (К)/100 г. Экстракты со степенью измельчения 1,6 показывают значения в 2 раза меньше 252 мг (К)/100 г.

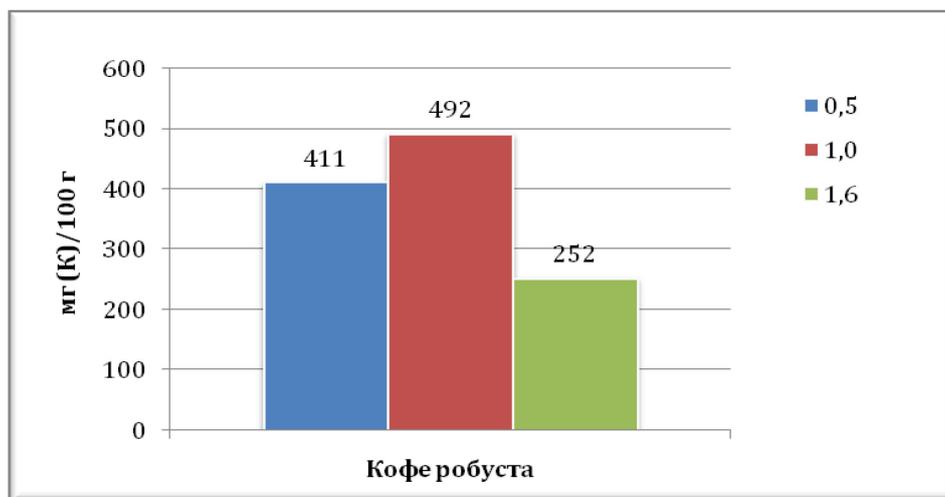


Рисунок 2 – Результаты исследования общего содержания флавоноидов в различных экстрактах зерен зеленого кофе робуста (*Coffea canephora*) со степенью измельчения 0,5; 1,0; 1,6 мм

Figure 2. The total content of flavonoids in various extracts of green coffee Robusta beans (*Coffea canephora*) with a grinding degree of 0.5, 1.0, and 1.6 mm

Для получения высоких значений содержания флавоноидов у экстрактов зерен зеленого кофе робуста (*Coffea canephora*) можно рекомендовать использовать степень измельчения 1,0 и 0,5.

В последнее время интерес к пищевым фенольным и дубильным веществам значительно возрос из-за их антиоксидантной способности (улавливание свободных радикалов и хелирование металлов) и их возможного благотворного воздействия на здоровье человека. Благоприятные эффекты, например, при лечении и профилактики рака, сердечно-сосудистых заболеваний и прочих патологий приписываются дубильным соединениям. Танины и другие фенольные соединения присутствуют в таких пищевых источниках, как фрукты и овощи, какао, шоколад, красное вино, зеленый и черный чай [19].

Результаты испытаний определения содержания танинов в экстрактах зерен зеленого кофе робуста (*Coffea canephora*) с различной степенью измельчения представлены на рисунке 3.

Из экстрактов зеленого кофе со степенью измельчения 0,5 извлекали наибольшее количество танинов – 102 мг катехина/100 г. При степени измельчения 1,0 и 1,6 их извлекается в 1,5 раза меньше: 67 мг катехина/100 г и 62 мг катехина/100 г соответственно.

Из экстрактов зерен зеленого кофе робуста (*Coffea canephora*) со степенью измельчения 0,5 извлекается наибольшее количество танинов.

Свободный радикал – это молекула с одним или несколькими неспаренными электронами. Из-за тенденции электронов образовывать пары, свободные радикалы обладают высокой реакционной способностью. O_2^{\cdot} и NO^{\cdot} являются лучшими примерами стабильных низкомолекулярных свободных радикалов. Активные формы кислорода (АФК) – это общий термин, используемый для молекул, связанных с кислородом, но которые ведут себя как более мощные окислители, чем сам O_2 . Некоторые

АФК, как гидроксильный радикал HO^\bullet , супероксид-анион-радикал, O_2^\bullet и его протонированная форма HO_2^\bullet , являются свободными радикалами, но такие, как O_2 и H_2O_2 являются диамагнитными.

Полученные результаты определения антирадикальной активности в экстрактах зерен зеленого кофе робуста (*Coffea canephora*) представлены на рисунке 4.

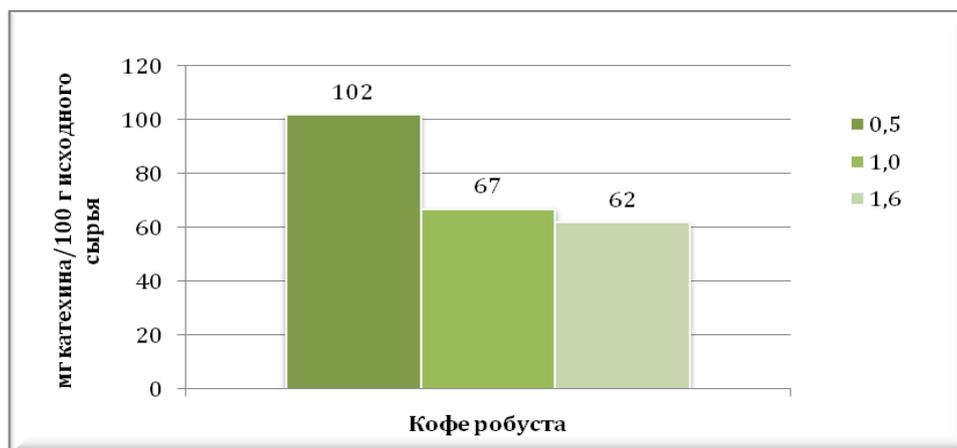


Рисунок 3 – Результаты исследования содержания танинов в различных экстрактах зерен зеленого кофе робуста (*Coffea canephora*) со степенью измельчения 0,5; 1,0; 1,6 мм

Figure 3. The content of tannins in various extracts of green coffee Robusta beans (*Coffea canephora*) with a grinding degree of 0.5, 1.0, and 1.6 mm

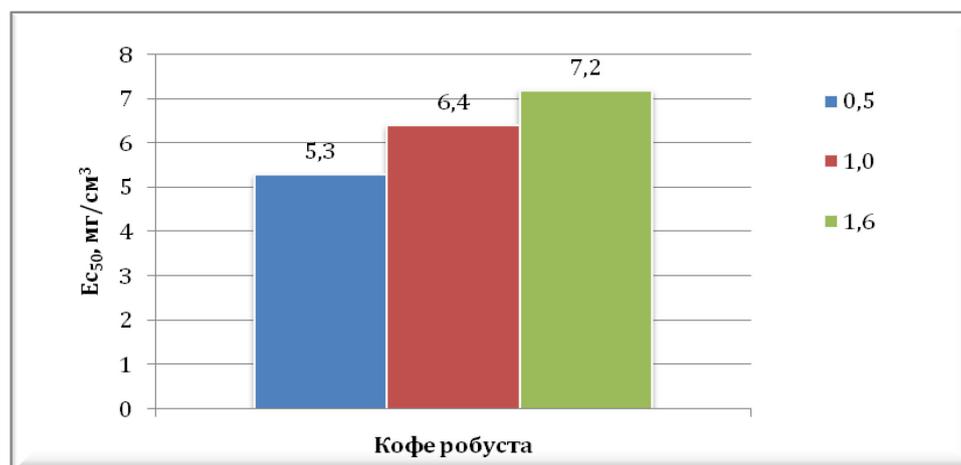


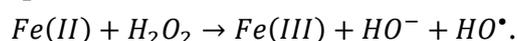
Рисунок 4 – Результаты исследования антирадикальной активности по методу DPPH в различных экстрактах зерен зеленого кофе робуста (*Coffea canephora*) со степенью измельчения 0,5; 1,0; 1,6 мм

Figure 4. Antiradical activity determined by the DPPH method in various extracts of green coffee Robusta beans (*Coffea canephora*) with a grinding degree of 0.5, 1.0, and 1.6 mm

У экстрактов зерен зеленого кофе робуста (*Coffea canephora*) со степенью измельчения 0,5 наблюдается наименьшая антирадикальная активность – $\text{EC}_{50} = 5,3 \text{ мг/см}^3$. При увеличении степени измельчения кофе значения антирадикальной активности возрастают – 1,0 ($\text{EC}_{50} = 6,4 \text{ мг/см}^3$), 1,6 ($\text{EC}_{50} = 7,2 \text{ мг/см}^3$).

По результатам определения антирадикальной активности оптимальной степенью измельчения для получения высоких показателей по улавливанию свободного радикала 2,2-дифенил-1-пикрилгидразида для экстрактов зерен зеленого кофе робуста (*Coffea canephora*) будет являться степень измельчения 0,5.

Важной реакцией H_2O_2 является ее разложение в кислых условиях с образованием гидроксильных радикалов в присутствии ионов переходных металлов с низкой степенью окисления таких, как Fe (II)



Поскольку антиоксиданты также являются восстановителями, они могут рециркулировать металл обратно в его более низкую степень окисления и, таким образом, помочь катализировать дальнейшее образование гидроксильных радикалов, тем самым проявляя прооксидантные свойства [20].

Метод FRAP основан на восстанавливающей способности соединения (антиоксиданта). Потенциальный антиоксидант восстановит ион трехвалентного железа (Fe^{3+}) до иона двухвалентного железа (Fe^{2+}) [21].

Экстракты зеленого кофе робуста имеют наибольший показатель восстанавливающей силы (рисунок 5) при использовании степени измельчения 0,5–14,04 ммоль Fe^{2+} /1 кг. С увеличением степени измельчения показатели восстанавливающей силы уменьшаются – 1,0 (9,18 ммоль Fe^{2+} /1 кг), 1,6 – 7,56 ммоль Fe^{2+} /1 кг.

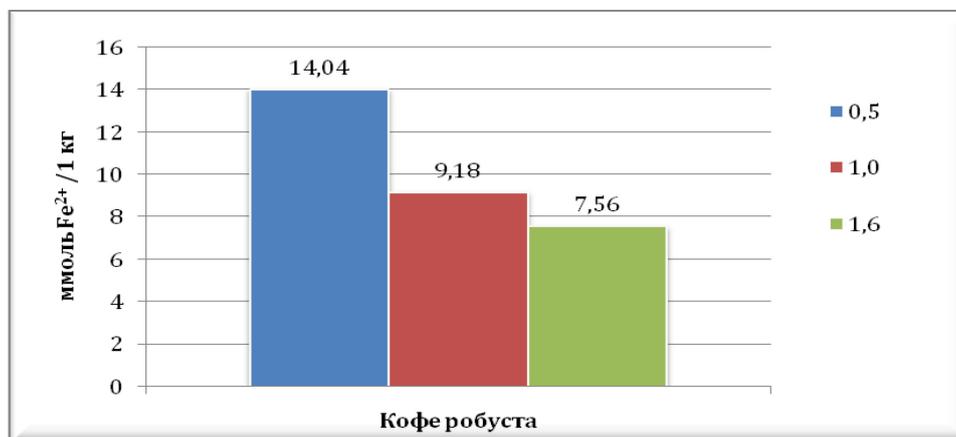


Рисунок 5 – Результаты исследования восстанавливающей силы по методу FRAP в различных экстрактах зерен зеленого кофе робуста (*Coffea canephora*) со степенью измельчения 0,5; 1,0; 1,6 мм

Figure 5. Restoring force determined by the FRAP method in various extracts of green coffee Robusta beans (*Coffea canephora*) with a grinding degree of 0.5, 1.0, and 1.6 mm

Для получения высоких показателей восстанавливающей силы у кофе робуста (*Coffea canephora*) нужно использовать степень измельчения 0,5.

По результатам, представленным на графиках, видно, что степень измельчения продукта значительно влияет на выход веществ и что при степени измельчения 0,5 из зерен зеленого кофе робуста извлекается наибольшее количество антиоксидантов. В связи с этим при подборе оптимальной температуры экстракции будет использоваться степень измельчение кофе 0,5.

Высокий результат по содержанию фенольных веществ в экстрактах зеленого кофе робуста (*Coffea canephora*) (рисунок 6) приходится на температуру экстракции 40–50°C – 864 мг (ГК)/100 г. Температура кипения растворителя и температура 20–25°C показывают значения в 2 раза меньше (681 и 614 мг (ГК)/100 г соответственно).

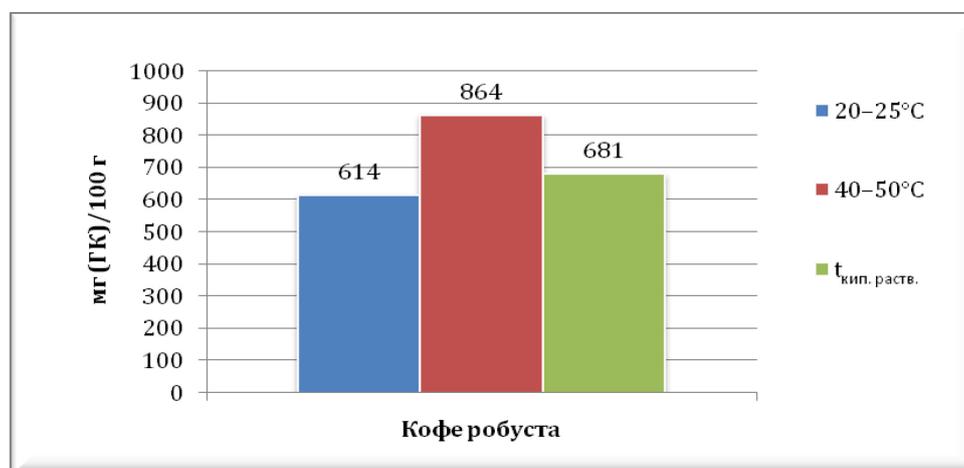


Рисунок 6 – Результаты исследования общего содержания фенольных веществ в различных экстрактах зерен зеленого кофе робуста (*Coffea canephora*) при температурах 20–25; 40–50°C и $t_{\text{кип. раств.}}$

Figure 6. The total content of phenolic substances in various extracts of green coffee Robusta beans (*Coffea canephora*) at the temperatures of 20–25; 40–50°C, and $t_{\text{boiling solvent}}$

Максимальное количество фенольных веществ будет экстрагироваться при использовании в качестве температуры экстракции 40–50°C.

Результаты испытаний определения содержания флавоноидов в экстрактах зерен зеленого кофе робуста (*Coffea canephora*) с различной температурой экстракции представлены на рисунке 7.

Наивысшее значения содержания флавоноидов в кофе робуста (*Coffea canephora*) обнаружены при температуре экстракции равной температуре кипения растворителя – 652 мг (К)/100 г. Почти одинаковые значения содержания флавоноидов наблюдаются при температурах экстракции 20–25 и 40–50°C – 593 мг (ГК)/100 г, 588 мг (ГК)/100 г соответственно.

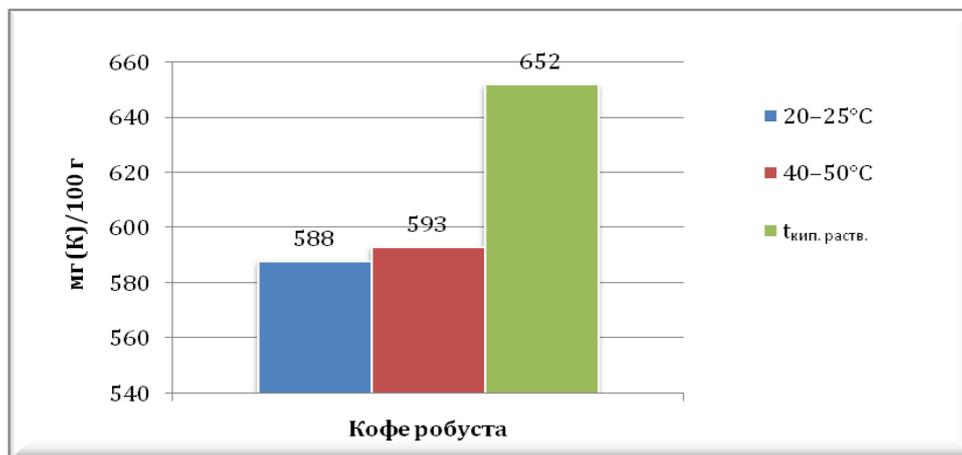


Рисунок 7 – Результаты исследования общего содержания флавоноидов в различных экстрактах зерен зеленого кофе робуста (*Coffea canephora*) при температурах 20–25°C; 40–50°C и t_{кип.раств.}

Figure 7. The total content of flavonoids in various extracts of green coffee Robusta beans (*Coffea canephora*) at the temperatures of 20–25°C; 40–50°C, and t_{boiling solvent}

Для получения экстрактов из зерен зеленого кофе робуста (*Coffea canephora*) с высоким содержанием флавоноидов в качестве температуры экстракции можно рекомендовать использовать температуру кипения растворителя.

Результаты испытаний определения содержания танинов в экстрактах зерен зеленого кофе робуста (*Coffea canephora*) с различной температурой экстракции представлены на рисунке 8.

Наибольшее количество танинов извлекается из экстрактов с температурой экстракции равной температуре кипения растворителя – 186,6 мг катехина/100 г. При понижении температуры содержание танинов уменьшается 40–50°C (164,2 мг катехина/100 г), 20–25°C (160,8 мг катехина/100 г).

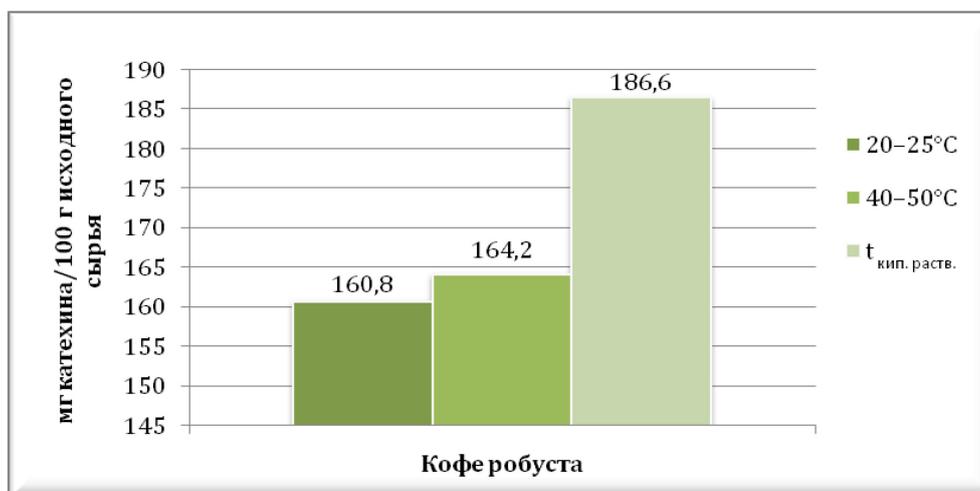


Рисунок 8– Результаты исследования содержания танинов в различных экстрактах зерен зеленого кофе робуста (*Coffea canephora*) при температурах 20–25°C; 40–50°C и t_{кип.раств.}

Figure 8. The content of tannins in various extracts of green coffee Robusta beans (*Coffea canephora*) at the temperatures of 20–25°C; 40–50°C, and t_{boiling solvent}

Из экстрактов зерен зеленого кофе робуста (*Coffea canephora*) с температурой экстракции равной температуре кипения растворителя извлекается наибольшее количество танинов.

Согласно исследованиям (рисунок 9), наименьшая антирадикальная активность экстрактов зерен зеленого кофе робуста (*Coffea canephora*) наблюдается у экстрактов с температурой экстракции равной температуре кипения растворителя – $E_{c50} = 0,8$ мг/см³. С уменьшением температуры увеличивается значение антирадикальной активности – 40–50°C ($E_{c50} = 1,9$ мг/см³), 20–25°C ($E_{c50} = 10,6$ мг/см³).

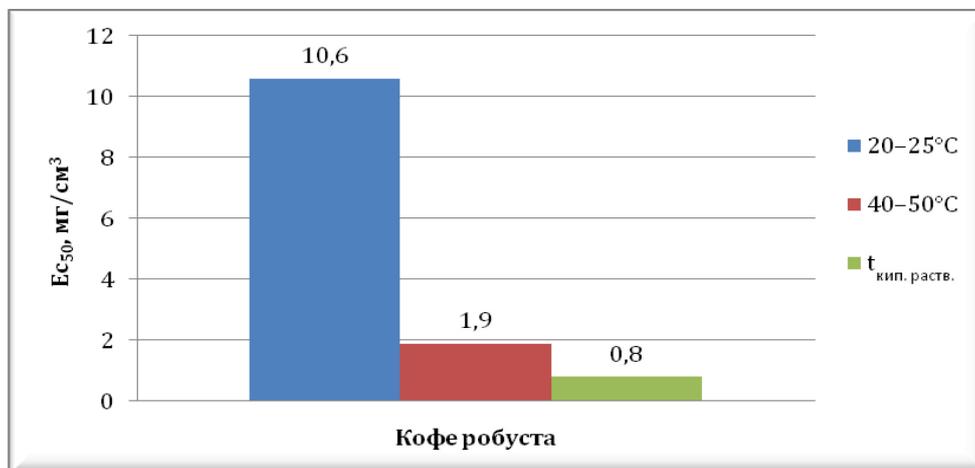


Рисунок 9 – Результаты исследования антирадикальной активности по методу DPPH в различных экстрактах зерен зеленого кофе робуста при температурах 20–25°C; 40–50°C и $t_{\text{кип.раств.}}$.

Figure 9. Antiradical activity by the DPPH method in various extracts of green coffee Robusta beans at the temperatures of 20–25°C, 40–50°C, and $t_{\text{boiling solvent}}$

Для получения минимальных показателей по улавливанию свободного радикала 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила для экстрактов зерен зеленого кофе робуста (*Coffea canephora*) оптимальным будет являться температура равная температуре кипения растворителя.

Результаты испытаний определения восстанавливающей силы в экстрактах зерен зеленого кофе робуста с различной температурой экстракции представлены на рисунке 10.

Экстракты зеленого кофе робуста (*Coffea canephora*) показывают высокие значения показателя восстанавливающей силы при температуре экстракции 40–50°C – 15,93 ммоль Fe²⁺/кг. При температуре равной температуре кипения растворителя и температуре 20–25°C экстракты показывают меньшие значения – 12,24 ммоль Fe²⁺/кг и 11,7 ммоль Fe²⁺/кг соответственно.

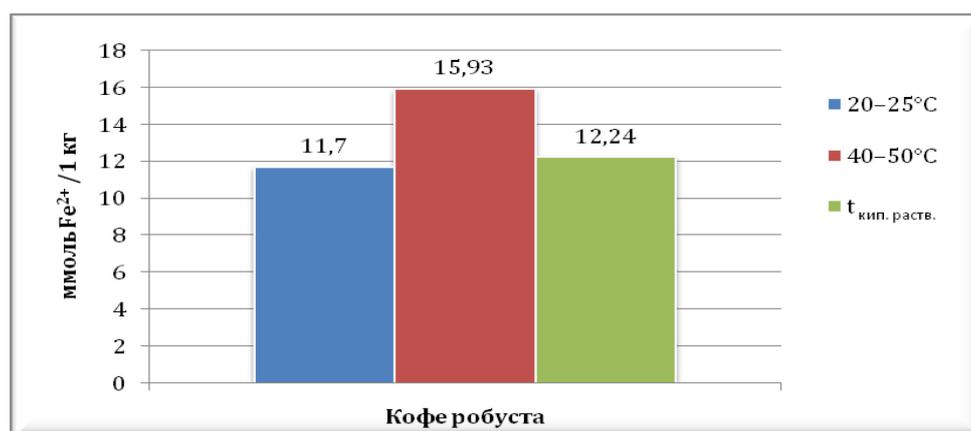


Рисунок 10 – Результаты исследования восстанавливающей силы по методу FRAP в различных экстрактах зерен зеленого кофе робуста при температурах 20–25°C; 40–50°C и $t_{\text{кип.раств.}}$.

Figure 10. Restoring force determined by the FRAP method in various extracts of green coffee Robusta beans at the temperatures of 20–25°C; 40–50°C, and $t_{\text{boiling solvent}}$

Таким образом, для получения высоких показателей восстанавливающей силы у зеленого кофе робуста (*Coffea canephora*) нужно использовать температуру экстракции 40–50°C.

Заключение

На основании исследования оптимальной степени измельчения и температуры экстракции для экстрактов кофе робуста были получены следующие результаты:

- максимальные значения общего содержания фенольных веществ обнаружены в экстракте кофе робуста со степенью измельчения 0,5 (864 мг (ГК)/100 г);
- наивысшие показатели общего содержания флавоноидов установлены для экстрактов кофе робуста со степенью измельчения 1,0 (492 мг (К)/100 г);
- большое содержание танинов наблюдается в экстрактах со степенью измельчения 0,5 (102 мг катехина/100 г);
- низкая антирадикальная активность обнаружена в кофе Робуста при степени измельчения 0,5 ($EC_{50} = 5,3$ мг/см³);
- наибольший показатель восстанавливающей силы обнаружен в экстракте кофе робуста со степенью измельчения 0,5 (14,04 ммоль Fe²⁺/1 кг);
- для экстрактов кофе со степенью измельчения 0,5 фенольные вещества показывают высокие значения при температуре экстракции 40–50°C (864 мг (ГК)/100 г);
- для экстрактов кофе со степенью измельчения 0,5 показатели общего содержания флавоноидов принимают высокие значения при температуре экстракции равной температуре кипения растворителя (652 мг (К)/100 г);
- для экстрактов кофе со степенью измельчения 0,5 высокое содержание танинов наблюдается в экстрактах с температурой равной температуре кипения растворителя (186,6 мг катехина/100 г);
- для экстрактов кофе со степенью измельчения 0,5 значения антирадикальной активности минимальны для экстрактов с температурой экстракции равной температуре кипения растворителя ($EC_{50} = 0,8$ мг/см³);
- для экстрактов кофе со степенью измельчения 0,5 значения восстанавливающей силы достигают высоких значений при температуре экстракции 40–50°C (15,93 ммоль Fe²⁺/кг).

Таким образом, на основании полученных результатов, для высоких значений общего содержания фенолов, флавоноидов, танинов, восстанавливающей силы и низких значений антирадикальной активности для зерен зеленого кофе робуста (*Coffea canephora*) можно рекомендовать использовать степень измельчения 0,5 и температуру экстракции 40–50°C.

Новизна данных исследований заключается в том, что в работе показано влияние различных степеней измельчения кофе (0,5; 1,0 и 1,6) и температур экстракции (20–25°C; 40–50°C и $t_{\text{кип. раств}}$) на выход антиоксидантных веществ из экстрактов зерен зеленого кофе робуста с использованием в качестве растворителя соотношения воды и спирта 75/25.

Практическая значимость работы заключается в использовании результатов исследования для создания продуктов с высоким содержанием антиоксидантных веществ.

Литература/References

1. Król K., Gantner M., Tatarak A., Hallmann E. The content of polyphenols in coffee beans as roasting, origin and storage effect. *Eur. Food Res. Technol.* 2020, V. 246, pp. 33–39.
2. Brzezicha J., Błażejewicz D., Brzezińska J., Grembecka M. Green coffee VS dietary supplements: A comparative analysis of bioactive compounds and antioxidant activity. *Food Chem. Toxicology.* 2021, V. 155, pp. 1–12.
3. Sualeh A., Tolessa K., Mohammed A. Biochemical composition of green and roasted coffee beans and their association with coffee quality from different districts of southwest Ethiopia. *Heliyon.* 2020, V. 6, pp. 1–9.
4. Angeloni G., Guerrini L., Masella P., Innocenti M., Bellumori M., Parenti A. Characterization and comparison of cold brew and cold drip coffee extraction methods. *Sci. Food Agric.* 2018, V. 99, pp. 391–399.
5. Rao N.Z., Fuller M., Grim M.D. Physiochemical characteristics of hot and cold brew coffee chemistry: the effects of roast level and brewing temperature on compound extraction. *Foods.* 2020, V. 9, pp. 1–12.
6. Fuller M., Rao N.Z. The effect of time, roasting temperature, and grind size on caffeine and chlorogenic acid concentrations in cold brew coffee. *Sci. Rep.* 2017, V. 7, pp. 1–12.
7. Derossi A., Ricci I., Caporizzi R., Fiore A., Severini C. How grinding level and brewing method (Espresso, American, Turkish) could affect the antioxidant activity and bioactive compounds in a coffee cup. *J. Sci. Food Agric.* 2018, V. 98, pp. 3198–3207.

8. Budylin D.V., Makarova N.V. Comparative analysis of chemical composition and antioxidant properties of different kinds of coffee beans as a raw material for the production of coffee extracts. *Modern Science and Innovation*. 2019, no. 2, pp. 108–116. (In Russian)
9. Budylin D.V., Makarova N.V., Karpova M.O., Ignatova D.F. Study of the technology for the production of extracts of grains of black roasted coffee Arabica (*Coffea Arabica*) and green coffee Robusta (*Coffea Canephora*) with antioxidant activity: determination of the type of solvent. *Storage and Processing of Farm Products*. 2020, no. 3, pp. 149–161. (In Russian)
10. Loganayaki N., Siddhuraju P., Manian S. Antioxidant activity and free radical scavenging capacity of phenolic extracts from *Helicteres isora* L. and *Ceiba pentandra* L. *J. Food Sci. Technol.* 2011, V. 50, pp. 687–695.
11. Abdeltaif S.A., SirElkhatim K.A., Hassan A.B. Estimation of Phenolic and Flavonoid Compounds and Antioxidant Activity of Spent Coffee and Black Tea (Processing) Waste for Potential Recovery and Reuse in Sudan. *Recycling*. 2018, V. 3, pp. 1–9.
12. Daniel G., Mani S. Quantitative estimation of plant metabolites in ethanolic seed extracts of *Theobroma cacao* (L.) and *Coffea arabica* (L.). *Int. J. Chem. Stud.* 2016, V. 4, pp. 130–134.
13. Choi B., Koh E. Spent coffee as a rich source of antioxidative compounds. *Food Sci. Biotechnol.* 2017, V. 26, pp. 921–927.
14. Siva R., Rajikin N., Haiyee Z.D., Ismail W.I.W. Assessment of antioxidant activity and total phenolic content from green coffee *Robusta* sp. Beans. *Malaysian J. Anal. Sci.* 2016, V. 20, pp. 1059–1065.
15. Zhang T., Zheng J., Yu Z., Huang X., Zhang Q., Tian X., Peng C. Functional characteristics of phenolic compounds accumulated in young leaves of two subtropical forest tree species of different successional stages. *Tree Physiology*. 2018, V. 38, pp. 1486–1501.
16. Minatel I.O., Borges C.V., Ferreira M.I., Gomez H.A.G., Chen C.O., Lima G.P.P. Phenolic Compounds: Functional Properties, Impact of Processing and Bioavailability. *Phenolic Compounds – Biological Activity*. 2017, V. 1, pp. 1–26.
17. Rodrigues F., Palmeira-de-Oliveira A., Neves J., Sarmiento B., Amaral M.H., M Beatriz M., Oliveira P.P. Coffee silver skin: a possible valuable cosmetic ingredient. *Pharm. Biol.* 2015, V. 53, pp. 386–394.
18. Ivey K.L., Chan A.T., Izard J., Cassidy A., Rogers G.B., Rimm E.B. Role of dietary flavonoid compounds in driving patterns of microbial community assembly. *mBIO*. 2019, V. 10, Is. 5, e01205–19.
19. Lamy E., Pinheiro C., Rodrigues L., Silva F.C., Lopes O.S., Tavares S., Gaspar R. Determinants of tannin-rich food and beverage consumption: oral perception vs. Psychosocial aspects. *Tannins: Biochemistry, Food Sources and Nutritional Properties*. 2016, V. 1, pp. 29–58.
20. Goodman B.A., Yeretziyan C. Free radical processes in coffee I—solid samples. *Processing and Impact on Active Components in Food*. 2015, V. 1, pp. 559–566.
21. Fernandes R.P.P., Trindade M.A., Tonin F.G., Lima C.G., Pugine S.M.P., Munekata P.E.S., Lorenzo J.M., Melo M.P. Evaluation of antioxidant capacity of 13 plant extracts by three different methods: cluster analyses applied for selection of the natural extracts with higher antioxidant capacity to replace synthetic antioxidant in lamb burgers. *J. Food Sci. Technol.* 2016, V. 53, pp. 451–460.

Информация об авторах

Мария Олеговна Карпова – инженер кафедры технологии и организации общественного питания

Надежда Викторовна Макарова – д-р хим. наук, профессор, зав. кафедрой технологии и организации общественного питания

Динара Фанисовна Игнатова – канд. техн. наук, доцент кафедры технологии и организации общественного питания

Дмитрий Валерьевич Будылин – ведущий инженер

Information about the authors

Maria O. Karpova, Engineer

Nadezhda V. Makarova, D. Sc., Professor, Head of the Department Technology and Organization of Public Catering

Dinara F. Ignatova, Ph. D., Associate Professor of the Department Technology and Organization of Public Catering

Dmitry V. Budylin, Leading Engineer

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests

Статья поступила в редакцию 22.07.2021

Одобрена после рецензирования 17.09.2021

Принята к публикации 20.09.2021

The article was submitted 22.07.2021

Approved after reviewing 17.09.2021

Accepted for publication 20.09.2021