

УДК 663.958.8

## ПОДБОР ОПТИМАЛЬНОГО МОДУЛЯ ЭКСТРАКЦИИ В РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЭКСТРАКТОВ ЧЕРНОГО И ЗЕЛЕННОГО ЧАЯ (*CAMELLIA SINENSIS*) С ВЫСОКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ

© Д.Ф. Игнатова\*, М.С. Воронина, Н.В. Макарова

Самарский государственный технический университет,  
ул. Молодогвардейская, 244, Самара, 443100, Россия, [dinara-bakieva@mail.ru](mailto:dinara-bakieva@mail.ru)

Известно, что различные факторы экстракции, такие как тип растворителя, температура, время, система растворителей, степень измельчения сырья, модуль экстракции значительно влияют на уровень антиоксидантных свойств продуктов растительного происхождения. Целью нашего исследования был подбор оптимального модуля экстракции для двух видов чая (*Camellia sinensis*) для получения экстрактов с высокими значениями общего содержания растворимых сухих веществ, фенолов, флавоноидов, танинов, антирадикальной активности по методу DPPH, восстанавливающей силы по методу FRAP. Объектами исследования выступали экстракты двух видов чая, полученные с использованием воды, степенью измельчения 0.5 мм, температурой экстракции 40–50 °С, временем экстракции 24 ч и различными вариантами модулей экстракции 1 : 10, 1 : 15, 1 : 20. Показатель содержания сухих растворимых веществ у черного и зеленого чая достигает высоких значений при использовании модуля экстракции 1 : 10 (9% и 9.6% соответственно), максимальное количество фенольных веществ (3139 мг (ГК)/100 г и 2045 мг (ГК)/100 г), флавоноидов (1644 мг (К)/100 г и 718 мг (К)/100 г), танинов (123 мг катехина/100 г и 56 мг катехина/100 г) экстрагировалось из экстрактов черного и зеленого чая при модуле экстракции 1 : 10. Наибольший показатель восстанавливающей силы был у экстрактов черного и зеленого чая с модулем экстракции 1 : 10 (8.73 ммоль Fe<sup>2+</sup>/кг и 15.84 ммоль Fe<sup>2+</sup>/кг). При модуле экстракции 1 : 10 экстракты черного и зеленого чая проявляли наименьшую антирадикальную активность (E<sub>c50</sub>= 0.39 мг/см<sup>3</sup> и E<sub>c50</sub>= 0.69 мг/см<sup>3</sup>). Таким образом, можно порекомендовать значение модуля 1 : 10 как наиболее приемлемое для получения экстрактов из черного и зеленого чая с высоким уровнем изучаемых показателей.

*Ключевые слова:* антиоксидантная активность, чай черный, чай зеленый, фенолы, флавоноиды, модуль экстракции.

---

**Для цитирования:** Игнатова Д.Ф., Воронина М.С., Макарова Н.В. Подбор оптимального модуля экстракции в разработке технологии производства экстрактов черного и зеленого чая (*Camellia sinensis*) с высокими показателями антиоксидантной активности // Химия растительного сырья. 2024. №1. С. 338–346. DOI: 10.14258/jcprm.20240112168.

---

### Введение

Чай производится из растения *Camellia sinensis* и является одним из самых популярных напитков во всем мире, уступая только воде. Он содержит до 30% растворимых ингредиентов, которые могут варьироваться в зависимости от сорта, климатических условий, генетического штамма, региона производства, сезона сбора урожая, положения листа, а также операций обработки. Полифенолы чая вызывают огромный интерес из-за предполагаемых связанных с ними полезных свойств. За последние несколько лет многочисленные исследования показали, что катехины и другие полифенолы в чае обладают мощной антиоксидантной активностью. Они действуют как антиоксиданты, поглощая азотные частицы и реактивный кислород, образующийся из-за различных окислительных стрессов и улавливая ионы металлов [1].

Полифенолы чая являются эффективным антиоксидантом, который может предотвращать и лечить заболевания, удаляя свободные радикалы и регулируя активность различных типов оксидаз в организме. Это связано с фенольной гидроксильной структурой, в которой электроны обладают эффектом сопряжения. Связывающая способность иона водорода ослабляется и, следовательно, с большей вероятностью диссоциирует, поэтому активный ион водорода нейтрализует свободные радикалы и другие активные формы кислорода, улавливая свободные радикалы [2].

---

\* Автор, с которым следует вести переписку.

Огромное разнообразие доступных чаев вызывает интерес к потенциальным преимуществам, которые каждый из них представляет для человеческого организма. На сегодняшний день проведено множество исследований различных сортов чая. Большинство этих исследований демонстрируют, что антиоксидантная активность снижается в следующем порядке: зеленый чай > улун > черный чай [3]. Антиоксидантная активность чая зависит не только от его вида, но также и от типа растворителя, степени измельчения сырья, времени, температуры и модуля экстракции. В последующих статьях показано влияние модуля экстракции на извлечение антиоксидантов из различных видов растительного сырья.

Розель (*Hibiscus sabdariffa L.*) – природный источник ценных компонентов, таких как фенолы, флавоноиды и антоцианы. Антоцианин обычно используется в пищевой промышленности для замены синтетических пигментов, а также обладает лечебными свойствами благодаря антиоксидантам. В данном исследовании [4] изменялись различные факторы, такие как мощность микроволн (20, 40, 60, 80, 100 Вт), частота микроволн (10, 20, 30, 40, 50 ГГц), продолжительность микроволнового излучения (5, 10, 15, 20, 25 мин), соотношение жидкости и твердого вещества (вода : материал, 2 : 1, 3 : 1, 4 : 1, 5 : 1, 6 : 1), температура экстракции (50, 55, 60, 65, 70 °С), влияющие на экстракцию фитохимических веществ. Результаты показали, что оптимальными условиями экстракции фитохимических компонентов из розеллы (*Hibiscus sabdariffa L.*) являются мощность микроволн 80 Вт, частота 40 ГГц, продолжительность микроволнового облучения 15 мин, соотношение жидкость : твердое вещество 4 : 1, температура 55 °С.

В статье [5] для извлечения общего количества флавоноидов из *Dendranthema indicum var. aromaticum* использовали различные условия экстракции. В качестве растворителя при экстракции были выбраны этанол и уксусная кислота, смешанные в различных соотношениях: этанол (30, 50 и 70%) и уксусная кислота (2, 5 и 10%). Условия экстракции были следующими: время экстракции 20, 30, 40, 50 и 60 мин, соотношением твердое вещество / жидкость (г/мл) (1 : 10, 1 : 15, 1 : 20, 1 : 25 и 1 : 30) и температура экстракции 30, 40, 50 и 60 °С. Доказано, что при экстракции с помощью ультразвука экстрагируется наибольшее количество флавоноидов из *Dendranthema indicum var. Aromaticum*. В качестве растворителя были выбраны этанол и уксусная кислота в объемном соотношении 70 : 2%. Наиболее приемлемыми условиями экстракции были время экстракции 40 мин, соотношение твердое вещество / жидкость 1 : 23 г/мл и температура 60 °С.

Исследования растения петая (*Parkia speciosa Hassk.*) показывают, что оно обладает антигипертензивным, противодиабетическим, обезболивающим и противоязвенным действием. В исследовании [6] был разработан метод ультразвуковой экстракции для эффективного извлечения активного соединения из листьев петая. Некоторые параметры, такие как концентрация этанола (0, 20, 40, 60, 70, 80, 100% об.), соотношение твердое вещество : жидкость (1 : 5; 1 : 10; 1 : 15; 1 : 20; 1 : 25; 1 : 30; 1 : 35; 1 : 40; 1 : 50 г/мл), время экстракции (15, 20, 25, 30, 35, 40, 50 мин) и температура экстракции (40, 45, 50, 55, 60, 65, 70 °С) были переменными и их оценивали по выходу экстракта и активности по улавливанию свободного радикала 1,1-дифенил-2-пикригидразила (DPPH). Полученный результат важен при использовании листьев петая, а также указывает на то, что ультразвуковая экстракция является рекомендуемым методом экстракции активных соединений из растительного материала. Самый высокий выход экстрактивных веществ наблюдался при концентрации этанола 40%, соотношении твердой и жидкой фазы 1 : 30, времени экстракции 30 мин и температуре экстракции 65 °С.

Статья [7] направлена на определение факторов, влияющих на процесс извлечения фенольных соединений из оливковых листьев. В этой работе использовались два метода экстракции, и были реализованы различные тесты с целью оптимизации извлечения фенольных соединений из оливковых листьев. Учитывались такие факторы, как время экстракции, температура (20, 30, 40 °С), соотношение растворителя и твердого вещества (20, 25, 30%) и концентрация этанола (50, 60, 70, 80%). Полученные результаты показывают, что оптимальными условиями для экстракции общих фенольных соединений из оливковых листьев являются: температура экстракции – 40 °С, соотношение растворитель / твердое вещество – 30 : 1 и концентрация этанола 80% (об./об.).

Чтобы максимизировать выход экстрагированных полифенольных соединений и антиоксидантов из побочных продуктов артишока сорта Сакиз, определяли оптимальные условия для оптимизации экстракции с помощью микроволн [8]. Для этого варьировали время экстракции (2–6 мин), соотношение этанол : вода (100–100 : 0), соотношение этанол-вода : твердое вещество (5 : 1 – 25 : 1). Исследование показало, что при микроволновой экстракции побочных продуктов из артишока сорта Сакиз (время экстракции 6 мин, соотношение этанол / вода 50 : 50 (об./об.), соотношение (этанол-вода) / твердое вещество 15 : 1 мл/г, мощность СВЧ 320 Вт, температура экстракции 80 °С) выход полифенольных веществ был максимальным.

В статье [9] исследованы оптимальные условия экстракции общих флавоноидов из листьев растения *Piper sarmentosum* Roxb. На первом этапе вначале было определено, что оптимальным растворителем для экстракции был этанол, а затем с помощью однофакторного метода было установлено влияние концентрации этанола (65, 70, 75%), времени экстракции (1.5, 2, 2.5 ч) и соотношения жидкость : твердое вещество (125 : 1, 150 : 1, 175 : 1) на выход общих флавоноидов. Лучшими условиями для экстракции флавоноидов из *Piper sarmentosum* Roxb. являются: время экстракции 1.5 ч, соотношение жидкость-твердое вещество 175 : 1, концентрация этанола 75%.

Целью [10] статьи является подбор оптимальных условий экстракции для листьев *Citrus unshiu* Marc. Подбирали растворитель (этанол, метанол, 2-пропанол, 50% 2-пропанол, 50% этанол, 50% метанол, вода), рН среды (2–12), соотношение растворитель / твердое вещество (10 : 1–50 : 1), время экстракции (10–60 мин). Выбор растворителя был наиболее важным параметром, влияющим на систему. Размер частиц показал небольшое влияние на выход по сравнению с другими переменными. Существенные различия наблюдаются при использовании кислых сред в оптимальных условиях экстракции.

Таким образом, на основании данных проанализированных литературных источников можно сделать вывод о решающем влиянии модуля экстракции на выход антиоксидантных веществ при процессах экстрагирования из растительного сырья.

Цель нашего исследования – подбор оптимального модуля экстракции для двух видов чая (*Camellia sinensis*), для получения экстрактов с высокими значениями общего содержания растворимых сухих веществ, общего содержания фенолов, флавоноидов, танинов, антирадикальной активности по методу DPPH, восстанавливающей силы по методу FRAP.

### **Экспериментальная часть**

Исследование проводилось на двух видах чая (*Camellia sinensis*): черном (Мацеста) и зеленом (Краснодарский), для которых в качестве растворителя использовалась вода, степень измельчения 0.5 мм, температура экстракции 40–50 °С и времени экстрагирования 24 ч. На испытания было представлено по три образца экстрактов с модулем экстракции 1 : 10, 1 : 15 и 1 : 20, в которых определяли показатели: общее содержание фенольных веществ, общее содержание флавоноидов, содержание танинов, антирадикальную активность по методу DPPH, восстанавливающую силу по методу FRAP, массовую долю сухих веществ.

Получение сырья с необходимой степенью измельчения: чай измельчали в мельнице, измельченное сырье просеивали через сито с размером 0.5 мм.

Получение экстракта с модулем экстракции 1 : 10, 1 : 15 и 1 : 20: 2 г исследуемого чая переносят в стеклянную колбу с притертой крышкой и заливают 20, 30 и 40 мл растворителя (для каждого растворителя три колбы). Экстракция чая продолжается 24 ч в термостате при температуре 40–50 °С. Полученный экстракт центрифугируют 15 мин при скорости 5000 об./мин.

Массовую долю растворимых сухих веществ экстракта чая определяют рефрактометрическим методом по ГОСТ ISO 2173-2013 «Продукты переработки фруктов и овощей. Рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ». Температуру экстракта доводят до +20 °С. На неподвижную призму рефрактометра наносят 2–3 капли экстракта и накрывают подвижной призмой. Подводят линию, разделяющую темное и светлое поле в окуляре, точно на перекрестье в окошке окуляра и считывают показатель массовой доли сухих веществ в исследуемом растворе. Измерение проводят трижды, а из полученных результатов выводят среднее арифметическое значение.

Определение общего содержания фенольных веществ в экстрактах чая проводилось на основе методики [11] с актуализацией для экстрактов чая. В экстракт чая на основе выбранного растворителя в количестве 0.25 см<sup>3</sup> добавляют воду в количестве 4 см<sup>3</sup>, 0.25 см<sup>3</sup> водного раствора реактива Фолина-Чокалтеу (в соотношении 1 : 1), 0.25 см<sup>3</sup> раствора насыщенного карбоната натрия. Полученную смесь оставляют на 30 мин, оптическую плотность проб измеряют на спектрофотометре (КФК-3-01 «ЗОМЗ») при длине волны 725 нм. По полученным значениям оптической плотности, используя калибровочную кривую, находят значения общего содержания фенольных веществ в мг галловой кислоты/100 г исходного сырья. В качестве стандартного вещества для построения калибровочной кривой использована галловая кислота ХЧ (химически чистая).

Общее содержание флавоноидов в экстрактах чая исследуют фотометрическим методом. Измерения оптической плотности раствора на спектрофотометре проводят при длине световой волны 510 нм. Для об-

работки результатов измерений в качестве исходной методики была взята [12] с изменениями для экстрактов чая. В исследуемый экстракт чая объемом 0.5 см<sup>3</sup> добавляют 2.5 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, затем 0.15 см<sup>3</sup> раствора нитрита натрия с концентрацией 5%, экспозиция 5 мин, прибавляют 0.3 см<sup>3</sup> 10%-го раствора хлорида алюминия, оставляют на 5 мин. Результаты общего содержания флавоноидов определяют по калибровочной кривой и выражают 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 [13]. Приготовления реагента ванилина: навеску ванилина растворяли в 4% соляной кислоте (0.5 г на 1 мл соответственно). Смешивают 1 мл экстракта чая и 5 мл раствора ванилина. Образцы и контроль (без ванилина) оставляют на 20 мин в темном месте, а затем измеряют оптическую плотность при длине волны 500 нм. Результаты общего содержания танинов определяют по калибровочной кривой и выражают в мг катехина / 100 г исходного сырья.

Определение антирадикальной активности по методу DPPH экстрактов чая в изучаемых растворителях проводилось с использованием раствора 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (DPPH) в этаноле, имеющего насыщенную пурпурно-синюю окраску. Методика [14] была взята за базу и доработана для экстрактов чая. Из экстрактов на основе каждого типа растворителя для каждого образца чая приготавливают растворы различной концентрации, из которых наливают в пробирку 0.2 см<sup>3</sup>, добавляют 2 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, 2 см<sup>3</sup> раствора DPPH. Готовые растворы оставляют в затемненном месте на 30 мин. На спектрофотометре измеряется оптическая плотность полученных растворов при длине световой волны 517 нм. Определение антирадикальной активности по методу DPPH ведется по показателю E<sub>c50</sub>, как концентрации экстракта чая, необходимой для поглощения 50% свободных радикалов DPPH.

В качестве исходной методики для определения восстанавливающей силы по методу FRAP используют метод [15] с модификацией для экстрактов чая. Смешивают в пробирке 0.1 см<sup>3</sup> экстракта чая, 3 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, 1 см<sup>3</sup> раствора реагента FRAP и выдерживают 4 мин в термостате при температуре 37 °С. Измерение оптической плотности полученного раствора измеряют на спектрофотометре при длине световой волны 593 нм. Результаты восстанавливающей силы по методу FRAP рассчитывают по калибровочному графику в ммоль Fe<sup>2+</sup>/1 кг исходного сырья. В качестве стандартного вещества для построения калибровочной кривой использован сульфат железа.

### **Обсуждение результатов**

Освежающие и полезные для здоровья свойства чая в первую очередь связаны с водорастворимыми компонентами, такими как полифенолы, кофеин, аминокислоты [16]. Общее количество растворимых твердых веществ является важным физико-химическим параметром качества чая и считается международным стандартом контроля качества. Общие растворимые твердые вещества состоят из нескольких биохимических соединений, таких как полифенолы, сахара, кофеин, аминокислоты и минералы [17].

Полученные результаты определения массовой доли растворимых сухих веществ в экстрактах черного и зеленого чая представлены на рисунке 1.

Максимальное количество сухих растворимых веществ экстрагируется из экстрактов черного и зеленого чая с модулем экстракции 1 : 10 (9 и 9.6% соответственно). При увеличении объема растворителя в соотношении твердое вещество / растворитель значения содержания сухих веществ уменьшаются. Черный чай: 1 : 15 – 8.7% и 1 : 20 – 9.4%, зеленый чай: 1 : 15 – 9.4% и 1 : 20 – 7.6%.

Наибольшее количество сухих веществ извлекается из экстрактов черного и зеленого чая при модуле экстракции 1 : 10.

Фенольные соединения обычно встречаются как в съедобных, так и в несъедобных растениях, они обладают множественными биологическими эффектами. Полифенолы представляют собой группу вторичных метаболитов, участвующих в поглощении перекиси водорода в растительных клетках. Интерес к растительным материалам, богатым полифенольными соединениями, в последнее время возрос из-за их высокой антиоксидантной активности, которая может обеспечить защиту от хронических заболеваний, таких как сердечно-сосудистые заболевания, нейрональные заболевания, катаракта и некоторые формы рака [18].

Из результатов исследования (рис. 2) содержания фенолов в экстрактах черного (1 : 10 – 3139 мг (ГК)/100 г, 1 : 15 – 3125 мг (ГК)/100 г, 1 : 20 – 3053 мг (ГК)/100 г) и зеленого чая с различным модулем экстракции видно, что при увеличении объема растворителя, добавляемого к измельченному сырью, показатели содержания фенольных веществ снижаются (1 : 10 – 2045 мг (ГК)/100 г, 1 : 15 – 1739 мг (ГК)/100 г, 1 : 20 – 1615 мг (ГК)/100 г).

Таким образом, максимальное количество фенольных веществ из черного и зеленого чая экстрагируется при модуле экстракции 1 : 10.

Флавоноиды – это соединения, широко распространенные в растениях. Многочисленные исследования биоактивных свойств флавоноидов в основном связаны со снижением риска различных типов рака и сердечно-сосудистых заболеваний, а также с их антиоксидантной, противовоспалительной и улавливающей радикалы активностью. Последние исследования положительного воздействия флавоноидов указали на действие некоторых из них, таких как кверцетин, при лечении диабета и ожирения, а также в качестве защитных элементов эпителиальных клеток желудка. Кроме того, флавоноиды обладают антимикробным действием, что, связанное с их антиоксидантной способностью, делает их полезными для пищевой промышленности в качестве натуральных консервантов или добавок в функциональные пищевые продукты [19].

Полученные результаты определения общего содержания флавоноидов в экстрактах черного и зеленого чая представлены на рисунок 3.

Значения содержания флавоноидов в экстрактах черного (1 : 10 – 1644 мг (К)/100 г, 1 : 15 – 1597 мг (К)/100 г, 1 : 20 – 1532 мг (К)/100 г) и зеленого чая увеличиваются прямо пропорционально увеличению объема растворителя (1 : 10 – 718 мг (К)/100 г, 1 : 15 – 632 мг (К)/100 г, 1 : 20 – 572 мг (К)/100 г).

Таким образом, при модуле экстракции 1 : 10, как из черного, так и из зеленого чая извлекается наибольшее количество флавоноидов.

Танины представляют собой большую и гетерогенную группу фенольных соединений с высокой молекулярной массой и высокой растворимостью в воде. Содержание танинов в чае колеблется от 13 до 30% по сухим веществам. Высокополимеризованные танины, содержащие большое количество гидроксильных групп, являются мощными антиоксидантами, но они также могут демонстрировать отрицательное влияние на организм, когда их потребление с пищей слишком высокое [20].

Результаты испытаний определения содержания танинов в экстрактах черного и зеленого чая с различным модулем экстракции представлены на рисунке 4.

В наших экспериментах максимальное количество танинов извлекается при соотношении твердое вещество: растворитель 1 : 10. С увеличением объема растворителя в экстрактах черного (1 : 10 – 123 мг катехина/100 г, 1 : 15 – 94 мг катехина/100 г, 1 : 20 – 78 мг катехина/100 г) и зеленого чая значения содержания танинов уменьшаются (1 : 10 – 56 мг катехина/100 г, 1 : 15 – 42 мг катехина/100 г, 1 : 20 – 34 мг катехина/100 г).

Из экстрактов черного и зеленого чая с модулем экстракции 1 : 10 извлекается наибольшее количество танинов.

Антирадикальная активность для антиоксидантов определяется с использованием реактива DPPH (1,1-дифенил-2-пикрилгидразил), так как это наиболее широко используемый метод благодаря его стабильности, простоте использования и удобству. Изменение цвета раствора указывают на способность антиоксидантных соединений поглощать водород. Когда DPPH реагирует с антиоксидантным соединением, которое может отдавать водород, он восстанавливается, и цвет меняется с темно-фиолетового на светло-желтый. Из-за атаки свободных радикалов на молекулы DPPH происходит отдача электрона или атома водорода, а антиоксиданты способны подавлять реактивные свободные радикалы [21]. В избытке свободные радикалы и окислители вызывают явление, известное как окислительный стресс; это вредный процесс, который может отрицательно повлиять на несколько клеточных структур, таких как мембраны, липиды, белки, липопротеины и дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК) [22].

Полученные результаты определения антирадикальной активности в экстрактах черного и зеленого чая представлены на рисунке 5.

Минимальные значения антирадикальной активности получены при модуле экстракции 1 : 10 для черного ( $EC_{50} = 0.39$  мг/см<sup>3</sup>) и зеленого ( $EC_{50} = 0.69$  мг/см<sup>3</sup>) чая. При увеличении объема растворителя в экстрактах значения антирадикальной активности увеличиваются в 2.5 (1 : 15 –  $EC_{50} = 0.99$  мг/см<sup>3</sup>) у черного чая, в 3 раза ( $EC_{50} = 2.04$  мг/см<sup>3</sup>) у зеленого чая для модуля 1 : 15. В 8 раз у черного чая ( $EC_{50} = 3$  мг/см<sup>3</sup>) и 4 раза у зеленого чая ( $EC_{50} = 2.57$  мг/см<sup>3</sup>) для 1 : 20, что в целом отрицательно сказывается на уровне антирадикальной активности.

Для получения минимальных показателей по улавливанию свободного радикала 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила у экстрактов черного и зеленого чая лучше всего подойдет модуль экстракции 1 : 10.

Анализ восстановления антиоксидантной силы железа (FRAP) основан на восстановлении бесцветного комплекса  $Fe^{3+}$  – TPTZ до насыщенного синего  $Fe^{2+}$  TPTZ после его взаимодействия с потенциальным антиоксидантом [23].

При уменьшении объема растворителя в соотношении твердое вещество / растворитель значения восстанавливающей силы (рис. 6) увеличиваются для черного чая: 1 : 10 – 8.73 ммоль  $Fe^{2+}/кг$ , 1 : 15 – 8.28 ммоль  $Fe^{2+}/кг$ , 1 : 20 – 8.01 ммоль  $Fe^{2+}/кг$ . Для зеленого чая: 1 : 10 – 15.84 ммоль  $Fe^{2+}/кг$ , 1 : 15 – 10.08 ммоль  $Fe^{2+}/кг$ , 1 : 20 – 9.63 ммоль  $Fe^{2+}/кг$ .

Для увеличения показателя восстанавливающей силы для черного и зеленого чая лучше использовать модуль экстракции 1 : 10.

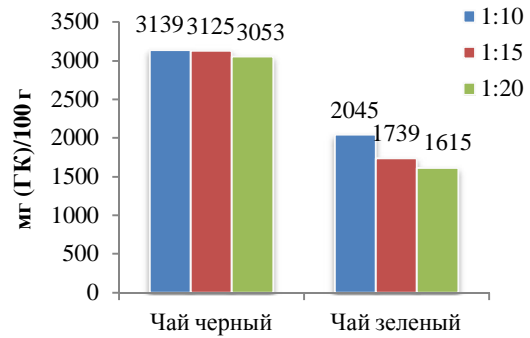
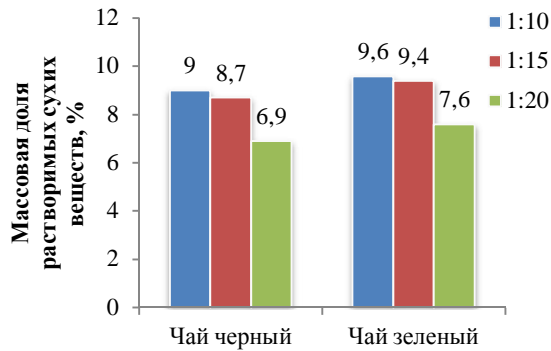


Рис. 1. Массовая доля сухих веществ в экстрактах черного и зеленого чая с модулем экстракции 1 : 10, 1 : 15 и 1 : 20

Рис. 2. Общее содержание фенольных веществ в экстрактах черного и зеленого чая с модулем экстракции 1 : 10, 1 : 15 и 1 : 20

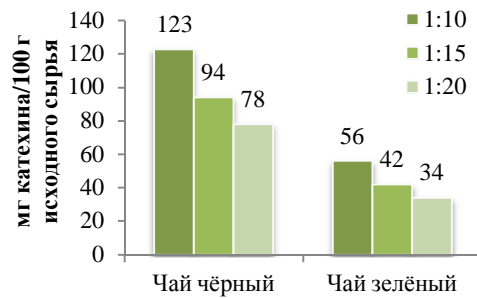
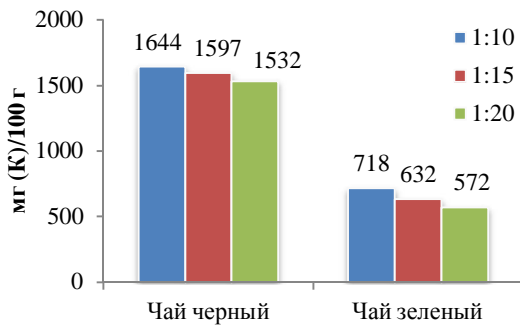


Рис. 3. Общее содержание флавоноидов в экстрактах черного и зеленого чая с модулем экстракции 1 : 10, 1 : 15 и 1 : 20

Рис. 4. Содержание танинов в экстрактах черного и зеленого чая с модулем экстракции 1 : 10, 1 : 15 и 1 : 20

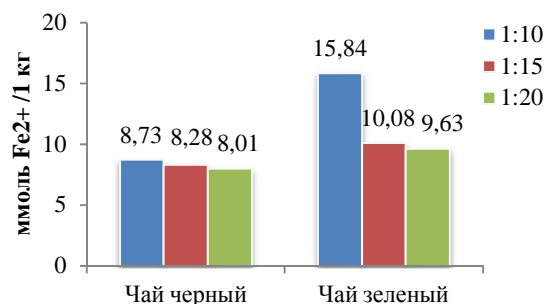
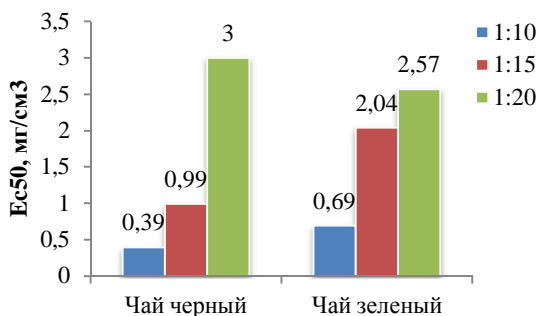


Рис. 5. Антирадикальная активность по методу DPPH в экстрактах черного и зеленого чая с модулем экстракции 1 : 10, 1 : 15 и 1 : 20

Рис. 6. Восстанавливающая сила по методу FRAP в экстрактах черного и зеленого чая с модулем экстракции 1 : 10, 1 : 15 и 1 : 20

### Выводы

В результате проведения исследования технологических параметров производства экстрактов черного и зеленого чая на основе воды, степенью измельчения 0.5 мм, температурой экстракции 40–50 °С и временем экстрагирования 24 ч, отличающихся модулем экстрагирования (1 : 10, 1 : 15 и 1 : 20) были получены следующие результаты:

- показатель содержания сухих растворимых веществ у черного и зеленого чая достигает высоких значений при использовании модуля экстракции 1 : 10 (9% и 9,6% соответственно);
- черный и зеленый чай показывает высокие значения содержания фенолов при модуле экстракции 1 : 10 (3139 мг (ГК)/100 г и 2045 мг (ГК)/100 г соответственно);
- высокие значения общего содержания флавоноидов наблюдались у экстрактов черного и зеленого чая при модуле экстракции 1 : 10 (1644 мг (К)/100 г и 718 мг (К)/100 г соответственно);
- большое количество танинов содержится в экстрактах черного и зеленого чая с модулем экстракции 1 : 10 (123 мг катехина/100 г и 56 мг катехина/100 г соответственно);
- антирадикальная активность для экстрактов черного и зеленого чая имеет наименьшие значения при использовании модуля экстракции 1 : 10 ( $E_{c50} = 0.39$  мг/см<sup>3</sup> и  $E_{c50} = 0.69$  мг/см<sup>3</sup> соответственно);
- у экстрактов черного и зеленого чая показатель восстанавливающей силы принимает высокие значения при модуле экстракции 1 : 10 (8.73 ммоль Fe<sup>2+</sup>/кг и 15.84 ммоль Fe<sup>2+</sup>/кг соответственно).

В ходе исследования было обнаружено, что при модуле экстракции 1 : 10 извлекается наибольшее количество сухих веществ, фенолов, флавоноидов, танинов, значения восстанавливающей силы принимают высокие, а антирадикальная активность наименьшие значения.

#### Финансирование

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Самарского государственного технического университета. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

#### Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

#### Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

### Список литературы

1. Tong T., Liu Y.-J., Kang J., Zhang C.-M., Kang S.-G. Antioxidant activity and main chemical components of a novel fermented tea // *Molecules*. 2019. Vol. 24. Pp. 1–14. DOI: 10.3390/molecules24162917.
2. Yan Z., Zhong Y., Duan Y., Li F. Chen Q. Antioxidant mechanism of tea polyphenols and its impact on health benefits // *Animal Nutrition*. 2020. Vol. 6. Pp. 115–123. DOI: 10.1016/j.aninu.2020.01.001.
3. Bartoszek M., Polak J., Chorążewski M. Comparison of antioxidant capacities of different types of tea using the spectroscopy methods and semi-empirical mathematical model // *Eur. Food Res. Technol.* 2017. Vol. 244. Pp. 595–601. DOI: 10.1007/s00217-017-2986-z.
4. Nguyen M.P. Microwave-assisted extraction of phytochemical constituents in roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) // *J. Pharm. Res. Int.* 2020. Vol. 32. Pp. 1–12. DOI: 10.9734/JPRI/2020/v32i230397.
5. Zhong L., Liu Y., Xiong B., Chen L., Zhang Y., Li C. Optimization of ultrasound-assisted extraction of total flavonoids from *dendranthema indicum* var. *aromaticum* by response surface methodology // *J. Anal. Methods Chem.* 2019. Vol. 2019. P. 10. DOI: 10.1155/2019/1648782.
6. Buanasari P., Palupi D., Serang Y., Pramudono B., Sumardiono S. Development of ultrasonic-assisted extraction of antioxidant compounds from Petai (*Parkia speciosa* Hassk.) leaves // *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2018. Vol. 349. Pp. 1–7. DOI: 10.1088/1757-899X/349/1/012009.
7. Elboughdiri N. Effect of time, solvent-solid ratio, ethanol concentration and temperature on extraction yield of phenolic compounds from olive leaves // *Engineering, Technology & Applied Science Research*. 2018. Vol. 8. Pp. 2805–2808.
8. Kayahan S., Saloglu D. Optimization and kinetic modelling of microwave-assisted extraction of phenolic contents and antioxidants from Turkish artichoke // *CyTA – J. Food*. 2020. Vol. 18. Pp. 635–643. DOI: 10.1080/19476337.2020.1800103.
9. Wei C., Li J., Ma Z., Qiao J., Zhao W., Liu Y. Study on the best extraction technology of total flavonoids from *Piper sarmentosum* Roxb. leaves and evaluation of antioxidant activity // *Conf. Series: Earth and Environmental Sci.* 2019. Vol. 330. Pp. 1–10. DOI: 10.1088/1755-1315/330/4/042061.
10. Cigeroğlu Z., Kırbaşlar Ş.İ., Şahin S., Köprücü G. Optimization and kinetic studies of ultrasound-assisted extraction on polyphenols from satsuma mandarin (*Citrus Unshiu* Marc.) Leaves // *Iran. J. Chem. Chem. Eng.* 2017. Vol. 36. Pp. 163–171.
11. Mohankumar J.B., Uthira L., Maheswari S.U. Total phenolic content of organic and conventional green leafy vegetables // *J. Nutr. Hum. Health*. 2018. Vol. 2. Pp. 1–6.

12. Kauser A., Shah S.M.A., Iqbal N., Murtaza M.A., Hussain I., Irshad A., Nasir S., Akram M., Munir N., Riaz M. *In vitro* antioxidant and cytotoxic potential of methanolic extracts of selected indigenous medicinal plants // *Progress in Nutrition*. 2018. Vol. 20. Pp. 706–712. DOI: 10.23751/pn.v20i4.7523.
13. Lrhorfi L.A., Dahmani F.Z., Elyahyoui O., Berrani A., Samama A., Kerroui S., Bengueddour R. The secondary metabolites composition of extracts genista quadriflora of morocco // *Eur. Sci. J.* 2016. Vol. 12. Pp. 79–88. DOI: 10.19044/esj.2016.v12n30p79.
14. Bouyahya A., Dakka N., Talbaoui A., El Moussaoui N., Abrini J., Bakri Y. Phenolic contents and antiradical capacity of vegetable oil from *Pistacia lentiscus* (L) // *J. Mater. Environ. Sci.* 2018. Vol. 9. Pp. 1518–1524.
15. Sharhan O., Heidelberg T., Hashim N.M., Salman A.A., Ali H.M., Jayash S.N. Synthesis and biological study of acridine-based imidazolium salts // *RSC Adv.* 2018. Vol. 8. Pp. 38995–39004. DOI: 10.1039/c8ra08138g.
16. Xiao W., Zhang Y., Fan C., Han L. A method for producing superfine black tea powder with enhanced infusion and dispersion property // *Food Chemistry*. 2017. Vol. 214. Pp. 242–247. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.07.096.
17. Manigandan N., Shanmugaselvam V.A., Surendar P. Handheld Electronic Nose (HEN) for Detection of Optimum Fermentation Time during Tea Manufacture and Assessment of Tea Quality // *J. Tea Sci. Research*. 2019. Vol. 9. Pp. 1–6. DOI: 10.21474/IJAR01/9413.
18. Supriha P., Radha K.V. Estimation of phenolic compounds present in the plant extracts using high pressure liquid chromatography, antioxidant properties and its antibacterial activity // *Indian J. Pharm. Edu. Res.* 2018. Vol. 52. Pp. 321–326. DOI: 10.5530/ijper.52.2.37.
19. Ledesma-Escobar C.A., Priego-Capote F., Luque de Castro M.D. Comparative study of the effect of sample pretreatment and extraction on the determination of flavonoids from lemon (*Citrus limon*) // *PLoS ONE*. 2016. Vol. 11. Pp. 1–16. DOI: 10.1371/journal.pone.0148056.
20. Garbowska B., Wiczorek J.K., Polak-Śliwińska M., Wiczorek Z.J. The content of minerals, bioactive compounds and anti-nutritional factors in tea infusions // *J. Elem.* 2018. Vol. 23. Pp. 369–380. DOI: 10.5601/jelem.2017.22.2.1306.
21. Jumal J., Ayomide A.F. Synthesis and radical scavenging activity of 6-hydroxyl-4-methylcoumarin and its derivatives // *AIP Conf. Proc.* 2018. Vol. 1972. Pp. 1–8. DOI: 10.1063/1.5041242.
22. Pizzino G., Irrera N., Cucinotta M., Pallio G., Mannino F., Arcoraci V., Squadrito F., Altavilla D., Bitto A. Oxidative stress: harms and benefits for human health // *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2017. Vol. 2017. P. 13.
23. Spiegel M., Kapusta K., Kołodziejczyk W., Saloni J., Zbikowska B., Hill G.A., Sroka Z. Antioxidant activity of selected phenolic acids–ferric reducing antioxidant power assay and qsar analysis of the structural features // *Molecules*. 2020. Vol. 25. Pp. 1–15. DOI: 10.3390/molecules25133088.

Поступила в редакцию 25 ноября 2022 г.

После переработки 8 декабря 2022 г.

Принята к публикации 7 сентября 2023 г.

*Ignatova D.F.\**, *Voronina M.S.*, *Makarova N.V.* SELECTION OF THE OPTIMAL EXTRACTION MODULE IN THE DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGY OF PRODUCTION OF BLACK AND GREEN TEA EXTRACTS (*CAMELLIA SINENSIS*) WITH HIGH INDICATORS OF ANTIOXIDANT ACTIVITY

*Samara State Technical University, Molodogvardeyskaya st., 244, Samara, 443100, Russia,*  
*e-mail: dinara-bakieva@mail.ru*

It is known that various factors of extraction, such as the type of solvent, temperature, time, solvent system, degree of grinding of raw materials, extraction modulus significantly affect the level of antioxidant properties of plant products. The aim of our study was to select the optimal extraction module for two types of tea (*Camellia sinensis*), to obtain extracts with high values of total soluble solids, phenols, flavonoids, tannins, antiradical activity according to the DPPH method, restoring strength according to the FRAP method. The objects of the study were extracts of two types of tea obtained using water, with a grinding degree of 0.5 mm, an extraction temperature of 40–50 °C, an extraction time of 24 h, and various versions of extraction modules 1 : 10, 1 : 15, 1 : 20. The indicator of the content of dry soluble substances in black and green tea reaches high values when using the extraction module 1 : 10 (9% and 9.6%, respectively), the maximum amount of phenolic substances (3139 mg (HA) / 100 g and 2045 mg (HA) / 100 g), flavonoids (1644 mg (K) / 100 g and 718 mg (K) / 100 g), tannins (123 mg catechin / 100 g and 56 mg catechin / 100 g) were extracted from black and green tea extracts at extraction module 1 : 10. The highest index of restorative power was observed in black and green tea extracts with an extraction modulus of 1 : 10 (8.73 mmol Fe<sup>2+</sup> / kg and 15.84 mmol Fe<sup>2+</sup> / kg). At an extraction modulus of 1 : 10, black and green tea extracts exhibited the least antiradical activity (Ec<sub>50</sub> = 0.39 mg / cm<sup>3</sup> and Ec<sub>50</sub> = 0.69 mg / cm<sup>3</sup>). Thus, we can recommend the value of the module 1 : 10 as the most acceptable for obtaining extracts from black and green tea with a high level of the studied parameters.

*Keywords:* antioxidant activity, black tea, green tea, phenols, flavonoids, extraction module.

**For citing:** Ignatova D.F., Voronina M.S., Makarova N.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2024, no. 1, pp. 338–346. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcpm.20240112168.

\* Corresponding author.



## References

1. Tong T., Liu Y.-J., Kang J., Zhang C.-M., Kang S.-G. *Molecules*, 2019, vol. 24, pp. 1–14. DOI: 10.3390/molecules24162917.
2. Yan Z., Zhong Y., Duan Y., Li F. Chen Q. *Animal Nutrition*, 2020, vol. 6, pp. 115–123. DOI: 10.1016/j.aninu.2020.01.001.
3. Bartoszek M., Polak J., Chorążewski M. *Eur. Food Res. Technol.*, 2017, vol. 244, pp. 595–601. DOI: 10.1007/s00217-017-2986-z.
4. Nguyen M.P. *J. Pharm. Res. Int.*, 2020, vol. 32, pp. 1–12. DOI: 10.9734/JPRI/2020/v32i230397.
5. Zhong L., Liu Y., Xiong B., Chen L., Zhang Y., Li C. *J. Anal. Methods Chem.*, 2019, vol. 2019, p. 10. DOI: 10.1155/2019/1648782.
6. Buanasari P., Palupi D., Serang Y., Pramudono B., Sumardiono S. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 2018, vol. 349, pp. 1–7. DOI: 10.1088/1757-899X/349/1/012009.
7. Elboughdiri N. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 2018, vol. 8, pp. 2805–2808.
8. Kayahan S., Saloglu D. *CyTA – J. Food*, 2020, vol. 18, pp. 635–643. DOI: 10.1080/19476337.2020.1800103.
9. Wei C., Li J., Ma Z., Qiao J., Zhao W., Liu Y. *Conf. Series: Earth and Environmental Sci.*, 2019, vol. 330, pp. 1–10. DOI: 10.1088/1755-1315/330/4/042061.
10. Ciğeroğlu Z., Kırbaşlar Ş.İ., Şahin S., Köprücü G. *Iran. J. Chem. Chem. Eng.*, 2017, vol. 36, pp. 163–171.
11. Mohankumar J.B., Uthira L., Maheswari S.U. *J. Nutr. Hum. Health.*, 2018, vol. 2, pp. 1–6.
12. Kauser A., Shah S.M.A., Iqbal N., Murtaza M.A., Hussain I., Irshad A., Nasir S., Akram M., Munir N., Riaz M. *Progress in Nutrition*, 2018, vol. 20, pp. 706–712. DOI: 10.23751/pn.v20i4.7523.
13. Lrhorfi L.A., Dahmani F.Z., Elyahyoui O., Berrani A., Samama A., Kerrouri S., Bengueddour R. *Eur. Sci. J.*, 2016, vol. 12, pp. 79–88. DOI: 10.19044/esj.2016.v12n30p79.
14. Bouyahya A., Dakka N., Talbaoui A., El Moussaoui N., Abrini J., Bakri Y. *J. Mater. Environ. Sci.*, 2018, vol. 9, pp. 1518–1524.
15. Sharhan O., Heidelberg T., Hashim N.M., Salman A.A., Ali H.M., Jayash S.N. *RSC Adv.*, 2018, vol. 8, pp. 38995–39004. DOI: 10.1039/c8ra08138g.
16. Xiao W., Zhang Y., Fan C., Han L. *Food Chemistry*, 2017, vol. 214, pp. 242–247. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.07.096.
17. Manigandan N., Shanmugaselvam V.A., Surendar P. *J. Tea Sci. Research*, 2019, vol. 9, pp. 1–6. DOI: 10.21474/IJAR01/9413.
18. Supritha P., Radha K.V. *Indian J. Pharm. Edu. Res.*, 2018, vol. 52, pp. 321–326. DOI: 10.5530/ijper.52.2.37.
19. Ledesma-Escobar C.A., Priego-Capote F., Luque de Castro M.D. *PLoS ONE*, 2016, vol. 11, pp. 1–16. DOI: 10.1371/journal.pone.0148056.
20. Garbowska B., Wiczorek J.K., Polak-Śliwińska M., Wiczorek Z.J. *J. Elem.*, 2018, vol. 23, pp. 369–380. DOI: 10.5601/jelem.2017.22.2.1306.
21. Jumal J., Ayomide A.F. *AIP Conf. Proc.*, 2018, vol. 1972, pp. 1–8. DOI: 10.1063/1.5041242.
22. Pizzino G., Irrera N., Cucinotta M., Pallio G., Mannino F., Arcoraci V., Squadrito F., Altavilla D., Bitto A. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2017, vol. 2017, p. 13.
23. Spiegel M., Kapusta K., Kołodziejczyk W., Saloni J., Zbikowska B., Hill G.A., Sroka Z. *Molecules*, 2020, vol. 25, pp. 1–15. DOI: 10.3390/molecules25133088.

Received November 25, 2022

Revised December 8, 2022

Accepted September 7, 2023

## Сведения об авторах

Игнатова Динара Фанисовна – кандидат технических наук, доцент, dinara-bakieva@mail.ru

Воронина Марианна Сергеевна – кандидат технических наук, доцент, marianna419@rambler.ru

Макарова Надежда Викторовна – доктор химических наук, профессор, makarovav1969@yandex.ru

## Information about authors

Ignatova Dinara Fanisovna – candidate of technical sciences, associate professor, dinara-bakieva@mail.ru

Voronina Marianna Sergeevna – candidate of technical sciences, associate professor, marianna419@rambler.ru

Makarova Nadezhda Viktorovna – doctor of chemical sciences, professor, makarovav1969@yandex.ru