

Научная статья

УДК 663.86

DOI: 10.17586/2310-1164-2024-17-1-35-43

Эффективность применения ферментных препаратов при водной экстракции фенольных веществ из листьев зеленого чая

А.Х. Аль-Ясари, Н.В. Баракова*, А.С. Басковцева, Р. Алхатиб, А.Г. Новоселов

Университет ИТМО, Россия, Санкт-Петербург

*n.barakova@mail.ru

Аннотация. Проведено исследование по получению экстракта зеленого чая с применением ферментных препаратов различной субстратной специфичности. В экспериментах использовали измельченные листья зеленого чая сорта Greenfield Flying Dragon с разной степенью измельчения: крупный помол – проход через сито Ø 1 мм – 56,4% и мелкий помол – проход через сито Ø 0,25 мм – 75%. Установлено, что выход фенольных веществ обоого помола отличается незначительно, но зависит от гидромодуля. Для получения водных экстрактов зеленого чая с высоким содержанием фенольных веществ рекомендуется использовать гидромодуль 1:20. Для оценки эффективности ферментных препаратов на выход фенольных веществ использовали средства разной субстратной специфичности: целлюлолитического (ЦеллоЛюкс-А, Viscoferm), пектолитического (Vegazym M, Fructozym P6-L, Fructozym BE, Fructozym MA, Fructozym Press, Pectinex Ultro) и протеолитического (Протосубтилин Г3х, Destizym Protocid Extra) действия. Оценка эффективности ферментного препарата проводили относительно контрольного образца (без внесения ферментного препарата). Получено, что из всех проанализированных ферментных препаратов наибольшее влияние на выход фенольных веществ при гидромодуле 1:20, температуре 50°C, экстрагировании в течение 30 мин, дозе внесения ферментного препарата 0,03% оказывает ЦеллоЛюкс-А, при этом выход фенольных веществ относительно контрольного образца увеличивается на 17,5%. Для определения оптимальных режимов экстрагирования фенольных веществ – температуры, длительности и дозы внесения ЦеллоЛюкс-А – использован метод полного факторного эксперимента (ПФЭ²³) и метод «крутого» восхождения. Определен режим получения экстракта зеленого чая (температура 60°C, длительность 75 мин, доза внесения ЦеллоЛюкс-А 0,09% от массы сырья), обеспечивающий концентрацию фенольных веществ в экстракте в количестве 988 мг/дм³. При таких параметрах экстрагирования выход фенольных веществ относительно контрольного образца увеличился на 45%. Экстракт из листьев зеленого чая может быть использован многими отраслями пищевой промышленности в качестве источника биологически активных веществ при производстве продуктов питания и напитков функционального назначения, а также фармакологическими компаниями, разрабатывающими технологии экстрактов из растительного сырья.

Ключевые слова: безалкогольные напитки; режим водной экстракции; экстракт зеленого чая; ферментный препарат ЦеллоЛюкс-А; фенольные вещества

Original article

Efficiency of enzyme preparations application in water extraction of phenolic compounds from green tea leaves

Arkan H. Al-Yasari, Nadezhda V. Barakova, Angelina S. Baskovtceva, Reem Alkhateeb, Alexander G. Novoselov

ITMO University, St. Petersburg, Russia

*n.barakova@mail.ru

Abstract. A study was conducted to obtain green tea extract using enzyme preparations of various substrate specificities. In the experiments, we used crushed green tea leaves of the Greenfield Flying Dragon variety with different degrees of grinding: coarse grinding, which included particles with a size of 56.4% passing through a Ø 1 mm sieve, and fine grinding, which included particles with a size of 100% passing through a Ø 1 mm sieve and 75% passing through a Ø 0.25 mm sieve. It was found that the yield of phenolic substances from coarse and fine grinding differs slightly but depends on the hydromodule. To obtain aqueous extracts of green tea with a high content of phenolic substances, it is recommended to use a hydro modulus of 1:20. To assess the effectiveness of enzyme preparations on the yield of phenolic substances, enzyme preparations of different substrate specificity were used: cellulolytic action – CelloLux-A, Viscoferm; proteolytic action – Vegazym M, Fructozym P6-L, Fructozym BE, Fructozym MA, Fructozym Press, Pectinex Ultro; proteolytic action – Protosubtilin G3x, Destizym Protocid Extra. The effectiveness of the enzyme preparation was assessed relative to the control sample (without adding the enzyme preparation) and expressed in %. As a result, it was found that of all the analyzed enzyme preparations, CelloLux-A has the greatest effect on the yield of phenolic substances

and increases the yield of phenolic substances by 40–96%. To determine the optimal modes for the extraction of phenolic substances: temperature, duration, and dose of application of CelloLux-A, the method used a full factorial experiment (FFE 2³) and the "steep" ascent method. As a result, a mode for obtaining green tea extract was determined that ensures the concentration of phenolic substances in the extract in the amount of 988 mg/dm³: temperature 60°C, duration – 1 hour, dose of CelloLux-A – 0.09% by weight of green tea leaves. Green tea leaf extract can be used by many sectors of the food industry as a source of biologically active substances in the production of functional foods and drinks.

Keywords: soft drinks; water extraction mode; green tea extract; enzyme preparation CelloLux-A; phenolic compounds

Введение

Чай является наиболее востребованным напитком во всем мире и производится из обработанных листьев вечнозеленого кустарника *Camellia sinensis*. Зеленый чай – это вид чая, который не подвергается ферментации после сбора. Его листья не окисляются так, как у черного, что позволяет сохранять природные соединения, входящие в их состав. Чай обладает важным для здоровья человека значением благодаря большому количеству полифенольных соединений и связанных с ними антиоксидантных свойств. Полифенолы чая включают в себя флавоноиды и их гликозиды, а также фенольные кислоты. На долю фенольных веществ приходится около 30% сухого веса зеленого чая [1].

В работах [2, 3] установлена корреляция между содержанием фенольных веществ и антиоксидантной, антирадикальной и антиканцерогенной активностью, продемонстрирован значительный потенциал зеленого чая для лечения сердечно-сосудистых заболеваний, рака, ожирения и диабета. Антиоксидантная активность фенольных соединений обусловлена их ролью в передаче сигналов клеткам и поддержании окислительно-восстановительного гомеостаза [4]. Окислительно-восстановительные свойства фенольных веществ позволяют им поглощать такие активные формы кислорода, как супероксидный радикал, синглетный кислород, гидроксильный радикал, оксид азота, диоксид азота и пероксинитрит, которые играют важную роль в канцерогенезе [1, 4].

В пищевой и фармацевтической промышленности широко применяют чайные экстракты, представляющие собой концентрированные формы активных веществ, извлеченных из чайных листьев. Они активно включаются в рецептуры пищевых продуктов с целью их обогащения веществами, полезными для организма [5].

В процессе экстрагирования биологически активных веществ из растительного сырья, в том числе и фенольных, важными параметрами являются степень измельчения сырья, выбор растворителя, гидромодуль (соотношения сырья и растворителя), температура и время экстрагирования [6]. Фенольные вещества в растениях находятся внутри растительной клетки, разрушение которой для максимального выхода фенольных веществ является главной задачей при получении экстрактов зеленого чая. При этом используют различные способы: термическую, УЗ, СВЧ обработку, фракционирование, обработку ферментными препаратами [7]. Клеточная стенка чая состоит из целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнина, пектиновых веществ [8]. Эти компоненты и белковые вещества, содержание которых находится в уровне 17,44% от массы сухих веществ [9, 10], и являются препятствием при извлечении биологически важных веществ, включая фенольные соединения.

Как правило, для получения чайного экстракта в качестве экстрагента используют либо воду, либо водно-спиртовые растворы. Водно-спиртовые растворы обеспечивают высокий выход фенольных веществ [11, 12]. При проведении экстракции фенольных веществ водно-спиртовым раствором крепостью от 40 до 96% об. при температурах 40, 50, 60°C установили, что более низкие температуры обеспечивают более высокий выход фенольных веществ [13, 14].

Вода также сильный полярный растворитель, имеет хорошую диффузионную способность и является одним из самых доступных, безопасных и экономически выгодных растворителей [15]. Наиболее высокие результаты по выходу растворимых сухих веществ были получены при водной экстракции при температуре, близкой к температуре кипения воды и даже выше (до 130°C) [15], но при высоких температурах хотя и повышается выход растворимых веществ, ухудшается качество экстракта, а выход фенольных веществ увеличивается незначительно.

Для повышения степени извлечения фенольных веществ из чайного сырья с применением водно-спиртового раствора исследователи [1, 16] использовали ферментные препараты с разной

субстратной специфичностью: целлюлазы, ксиланазы, протеиназы, танназы и пектиназы. Сочетание обработки целлюлазой с предварительной обработкой водно-спиртовым растворителем еще больше повысило экстрагируемость различных питательных и функциональных компонентов из отходов зеленого чая [17].

На примере настоя ройбуша, полученного из южноафриканского растения, показано [18], что предварительная обработка листьев пищевой целлюлазой, эстеразой феруловой кислоты и/или пектиназой увеличила выход растворимых твердых веществ из зеленого и ферментированного ройбуша при приготовлении настоя, тогда как эстераза феруловой кислоты и β -глюканаза/ β -ксиланаза повысили общий выход полифенолов. Комбинация β -глюканазы/ β -ксиланазы и пектиназы увеличила выход растворимых сухих веществ из ферментированного ройбуша по промышленным оценкам на 33%, снизила содержание аспалатина в экстракте, одновременно повысив содержание его аналога – флавона, изоориентина, который имеет значительную фармацевтическую ценность для лечения обоих типов сахарного диабета [18].

Исследования о влиянии ферментных препаратов на повышение выхода фенольных веществ из плодово-ягодного сырья при водной экстракции показали перспективность применения ферментных препаратов, но влияние ферментных препаратов на экстрагирование фенольных веществ из листьев зеленого чая с применением водной экстракции изучены недостаточно.

Для каждого вида растительного сырья необходимо подбирать свои ферментные препараты того или иного спектра действия, поскольку они имеют различные свойства по специфичности ферментов и содержат побочные активности, которые могут оказывать существенное влияние на их способность гидролизовать определенный субстрат [19]. Рынок ферментных препаратов представлен широким спектром, поэтому для зеленого чая актуально подобрать свой коммерческий препарат для наиболее эффективного извлечения фенольных веществ и определить режимы получения чайного экстракта с высоким содержанием фенольных веществ.

Цель работы – исследовать влияние ферментных препаратов различной субстратной специфичности на выход фенольных веществ из листьев зеленого чая и определить режимы получения водного экстракта.

Объекты и методы исследований

Для проведения экспериментов использовали чай зеленый Greenfield Flying Dragon (ООО «ОРИМИ», Россия, ТУ 91-001-39420178-97). Для разрушения клеточной стенки использовали ферментные препараты целлюлолитического действия: ЦеллоЛюкс-А производитель *Trichoderma viride* – целлюлаза (2000 ед./мл), ксиланаза и β -глюканаза (ООО «Сиббиофарм», Россия) и Viscoferm – ксиланаза, целлюлаза, альфа-амилаза, бета-глюканаза (АО «Новозаймс», Дания) и пектолитического действия: Vegazym M, Fructozym P6-L, Fructozym BE, Fructozym MA, Fructozym Press (Erbslöh, Германия), Pectinex Ultro (АО «Новозаймс», Дания). Для гидролиза белка использовали ферментные препараты протеолитического действия: Протосубтилин Г3х – активность протеазы 120 ед/г (ООО «Сиббиофарм», Россия) и Destizym Protocid Extra (Erbslöh, Германия).

Измельчение листьев зеленого чая осуществляли на лабораторной мельнице Stegler LM-250 (Китай) при разных режимах измельчения. Гранулометрический состав измельченного чая определяли ситовым методом с использованием сита диаметром 1; 0,5 и 0,25 мм. Было получено два вида помола: крупный – проход через сито \varnothing 1 мм – 56,4% и мелкий – проход через сито \varnothing 0,25 мм – 75%. Структуру чайного листа до и после обработки ферментным препаратом ЦеллоЛюкс-А исследовали под микроскопом Carl Zeiss модель Axio Lab A1 (Германия).

Ферментативную обработку смеси измельченных листьев зеленого чая и воды проводили на водяной бане LOIP LB-163 (Россия), скорость нагрева – один градус в минуту. Выбор температуры проводили по данным, приведенным в сертификатах на ферментные препараты.

Решающими факторами при экстрагировании биологически активных веществ с применением ферментных препаратов являются температура, продолжительность процесса экстрагирования и доза внесения ферментного препарата. Для оптимизации режимов экстрагирования фенольных веществ из листьев зеленого чая использовали методы математического планирования: метод Гаусса–Зейделя,

полный факторный эксперимент (ПФЭ) типа 2^n , где n – число факторов варьирования, и метод «крутого» восхождения [20].

Для оценки влияния температуры, длительности экстракции и применения ЦеллоЛюкс-А, содержащего целлюлазу, ксиланазу, бета-глюканазу, проведен полный факторный эксперимент для трех факторов на двух уровнях, выходным параметром была концентрация фенольных веществ в экстракте.

Содержание фенольных веществ определяли спектрофотометрическим методом с применением реактива Фолина–Чокальтеу. Суть метода заключается в окислительно-восстановительной реакции, в ходе которой восстанавливается фосфорно-молибденовая кислота и интенсивность окраски зависит от концентрации фенольных веществ [21]. Оптическую плотность растворов определяли на КФК-3 (погрешность измерения прибора не более 0,5%), при длине волны 400 нм в кювете с толщиной слоя 10 мм. Концентрацию фенольных веществ (мг/дм³) рассчитывали по калибровочной кривой в эквиваленте галловой кислоты сырья.

Для проведения статистического анализа использовался критерий Стьюдента (4,3). Все вычисления и статистические расчеты были осуществлены с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

Степень измельчения чайного листа оказывает влияние на выход фенольных веществ в процессе получения экстрактов. Это связано с тем, что измельчение повышает доступность растворителя к растительной клетке и ее содержимому. Экстракцию проводили при разной степени измельчения листьев зеленого чая и разным соотношении измельченных листьев и воды. Экстракцию проводили при температуре 50°C в течение 30 мин.

Таблица 1. Содержание фенольных веществ в чайном экстракте в зависимости от степени измельчения листа зеленого чая и гидромодуля

Table 1. The content of phenolic substances in tea extract depending on the grinding degree of green tea leaves and hydro modulus

Наименование помола	Концентрация фенольных веществ в экстракте зеленого чая, мг/дм ³			
	гидромодуль			
	1:15	1:20	1:25	1:30
крупный	643	653	641	634
мелкий	658	680	651	626

Исходя из результатов исследования, представленных в таблице 1, следует, что при экстрагировании фенольных веществ из измельченных листьев зеленого чая крупного и мелкого помола концентрация фенольных веществ в экстракте меняется незначительно. Кроме того, видно, что наибольший выход фенольных веществ получен при гидромодуле 1:20. В измельченных листьях зеленого чая при низком гидромодуле (1:15) затрудняется процесс диффузии воды в растительную клетку и ухудшается процесс экстракции фенольных веществ, а при гидромодуле выше 1:20 происходит более сильное разбавление экстракта водой, и концентрация фенольных веществ уменьшается. При проведении дальнейших исследований использовали мелкий помол и гидромодуль 1:20.

Изменение структуры чайного листа под действием ферментного препарата ЦеллоЛюкс-А, содержащего целлюлазу, ксиланазу и β-глюканазу представлена на рисунке 1. На представленных фотографиях видно, что при обработке листа зеленого чая ферментным препаратом происходит разупорядочение структуры растительной клетки, следовательно, можно говорить о целесообразности применения ферментных препаратов для экстрагирования фенольных веществ из листьев зеленого чая.

Результаты эксперимента о влиянии коммерческих ферментных препаратов различной субстратной специфичности на выход фенольных веществ из листьев зеленого чая представлены в таблице 2. Экстрагирование проводили при следующих режимах: соотношение измельченных листьев и воды (гидромодуль) – 1:20, температура – 50°C, время экстрагирования – 30 мин, доза внесения всех ферментных препаратов составила 0,03% от массы измельченных листьев.

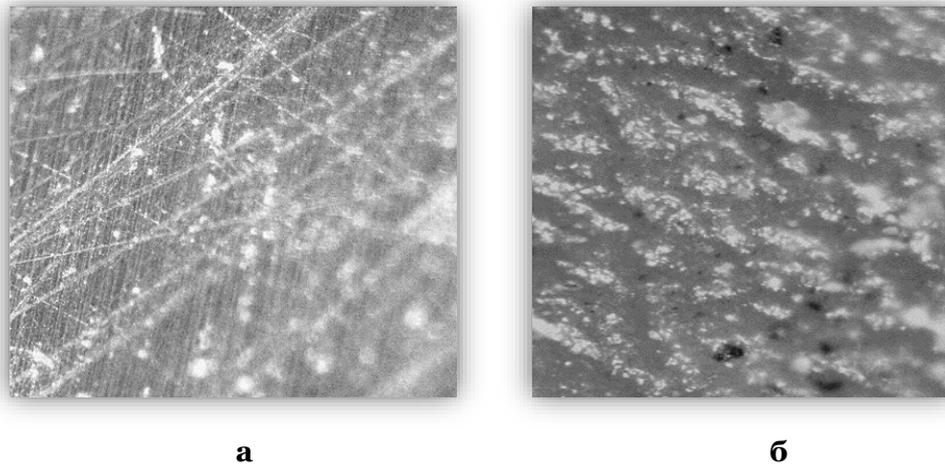


Рисунок 1. Лист зеленого чая: а – без обработки ферментным препаратом; б – после обработки ферментным препаратом
 Figure 1. A green tea leaf: a – without enzymatic treatment; b – after treatment with the enzymatic preparation

Таблица 2. Влияние коммерческих ферментных препаратов на выход фенольных веществ
 Table 2. Effect of commercial enzyme preparations on the yield of phenolic substances

Наименование ферментного препарата	Концентрация фенольных веществ в экстракте зеленого чая, мг/дм ³
Без ферментного препарата (контроль)	
–	680
Пектолитического действия	
Vegazym M	724
Fructozym P6-L	728
Fructozym BE	735
Fructozym MA	759
Fructozym Press	743
Pectinex Ultro	765
Протеолитического действия	
Destizym Protocid Extra	754
Протосубтилин ГЗх	765
Целлюлолитического действия	
Viscoferm	745
ЦеллоЛюкс-А	799

Исходя из результатов исследования, представленных в таблице 2, следует, что выход фенольных веществ зависит от субстратной специфичности ферментных препаратов: пектолитического, протеолитического и целлюлолитического действия. Наибольшее влияние оказывает ферментный препарат ЦеллоЛюкс-А, увеличивший выход фенольных веществ по сравнению с контрольным образцом на 17,5%.

Увеличение дозы ферментных препаратов не всегда приводит к улучшению результатов. Во время следующего эксперимента повысили дозы внесения ферментных препаратов. Экстрагирование проводили при тех же режимах: гидромодуль 1:20, температура 50°С, время ферментативной обработки – 30 мин. Полученные результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3. Влияние дозы внесения ферментного препарата на выход фенольных веществ
 Table 3. Effect of the dose of enzyme preparation on the yield of phenolic substances

Ферментный препарат	Концентрация фенольных веществ в экстракте зеленого чая, мг/дм ³					
	доза внесения ферментного препарата, % от массы сырья					
	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13
Fructozym MA	722	806	790	771	754	660
Протосубтилин ГЗх	786	816	749	773	774	589
ЦеллоЛюкс-А	795	839	845	783	774	682

Исходя из результатов исследования, представленных в таблице 3, следует, что применение ферментного препарата ЦеллоЛюкс-А в дозе внесения 0,07% от массы сырья оказало наибольшее влияние на выход фенольных веществ из листьев зеленого чая.

Для оптимизации параметров экстрагирования фенольных веществ проводили полный факторный эксперимент (ПФЭ 2³). За критерий оптимизации (Y) был принят один параметр – концентрация фенольных веществ в экстракте зеленого чая. В качестве переменных параметров оптимизации процесса и количества ферментного препарата выбраны следующие компоненты: X₁ – температура экстракции; X₂ – время экстракции; X₃ – доза внесения ЦеллоЛюкс-А; в таблице 4 представлен ПФЭ 2³.

Таблица 4. План ПФЭ 2³ в кодированных и натуральных единицах и концентрация фенольных веществ в экстрактах зеленого чая

Table 4. Design of FFE 2³ in coded and natural units, and the concentration of phenolic compounds in green tea extracts

№ опыта	Кодированная размерность факторов			Вспомогательные столбцы				Натуральная размерность факторов			Y – содержание фенольных веществ в экстракте зеленого чая, мг/дм ³
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₂ X ₃	X ₁ X ₃	X ₁ X ₂ X ₃	Температура экстракции, °С	Время экстракции, мин	Доза внесения ЦеллоЛюкс-А, % от массы сырья	
1	-	-	-	+	+	+	-	45	30	0,03	742
2	-	+	-	-	-	+	+	45	60	0,03	748
3	+	-	-	-	+	-	+	55	30	0,03	789
4	+	+	-	+	-	-	-	55	60	0,03	915
5	-	-	+	+	-	-	+	45	30	0,07	804
6	-	+	+	-	+	-	-	45	60	0,07	827
7	+	-	+	-	-	+	-	55	30	0,07	855
8	+	+	+	+	+	+	+	55	60	0,07	925
X _{0i}								50	45	0,05	
X _{iΔ}								5	15	0,02	

После реализации экспериментов по плану ПФЭ и статистической обработки данных получено уравнение регрессии, связывающее выход фенольных веществ в экстракте из листьев зеленого чая, температуру и время экстрагирования, которое адекватно описывает экспериментальные данные:

$$Y = 825,625 + 34,375 \cdot X_1 + 28,125 \cdot X_2 + 27,125 \cdot X_3 + 20,875 \cdot X_1 \cdot X_2 - 4,875 \cdot X_2 \cdot X_3 - 8,125 \cdot X_1 \cdot X_3 - 9,125 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3.$$

Исходные данные и результаты опытов по определению влияния режимов экстрагирования на выделение фенольных веществ при «крутом» восхождении представлены в таблице 5.

Таблица 5. План при «крутом» восхождении в кодированной и натуральной размерностях и выделение фенольных веществ при их экстрагировании из листьев зеленого чая

Table 5. Design for a steep ascent in coded and natural dimensions and the release of phenolic substances when extracted from green tea leaves

№ опыта	X ₁	X ₂	X ₃	Температура экстракции, °С	Время экстракции, мин.	Доза внесения ЦеллоЛюкс-А, % от массы сырья	Y – содержание фенольных веществ в экстракте зеленого чая, мг/дм ³
9	+	+	+	55	60	0,07	925
10	+	+	+	60	75	0,09	988
11	+	+	+	65	90	0,11	913
12	+	+	+	70	105	0,13	873
13	+	+	+	75	120	0,15	844
X _{0i}				50	45	0,05	
ΔX _i				5	15	0,02	



Рисунок 2. Накопление фенольных веществ в пробах, полученных по плану ПФЭ и крутого восхождения
Figure 2. Accumulation of phenolic compounds in samples obtained by FFE and steep ascent

Рекомендуемый режим экстракции фенольных веществ из листьев зеленого чая при степени измельчения листьев проход через сито \varnothing 0,25 мм – 75%: гидромодуль 1:20, температура 60°C, время 75 мин, доза внесения ЦеллоЛюкс-А 0,09% от массы сырья. При таких параметрах экстрагирования концентрация фенольных веществ в экстракте составит 988 мг/дм³, что на 45% выше концентрации фенольных веществ в контрольном образце (680 мг/дм³).

Заключение

Представленные результаты экспериментов доказывают, что коммерческие препараты различной субстратной специфичности отличаются друг от друга по эффективности действия в зависимости от компонента растительного сырья, на который направлены основные ферменты, содержащиеся в ферментном препарате. Следовательно, при работе с каким-либо растительным сырьем первоначально необходимо подобрать коммерческий ферментный препарат, обеспечивающий желаемые результаты.

Данные, полученные в ходе проведенных экспериментов, показали, что ферментные препараты различной субстратной специфичности (целлюлолитического, пектолитического, протеолитического действия) повышают выход фенольных веществ из листьев зеленого чая, но наибольшее влияние оказывает ферментный препарат целлюлолитического действия ЦеллоЛюкс-А. Рекомендованные параметры экстракции фенольных веществ из листьев зеленого чая помогут разработчикам функциональных продуктов питания, обогащенным фенольными веществами, и фармакологическим компаниям, разрабатывающим технологии экстрактов из растительного сырья.

Литература

1. Chandini S.K., Jaganmohan Rao L., Gowthaman M.K., Haware D.J., Subramanian R. Enzymatic treatment to improve the quality of black tea extracts. *Food Chemistry*. 2011, V. 127, no. 3, pp. 1039–1045. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.01.078
2. Федосеева А.А., Лебедкова О.С., Каниболоцкая Л.В., Шендрюк А.Н. Антиоксидантная активность настоев чая // Химия растительного сырья. 2008. № 3. С. 123–127.
3. Rusak G., Komes D., Likic S., Horzic D., Kovac M. Phenolic content and antioxidative capacity of green and white tea extracts depending on extraction conditions and the solvent used. *Food Chemistry*. 2008, V. 110, pp. 852–858. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.02.072
4. Wan X., Li D., Zhang Z. Antioxidant properties and mechanism of tea polyphenols. *Tea and tea products: Chemistry and health-promoting properties*. CRC Press: London, 2008, pp. 131–159. DOI: 10.1201/9781420008036.ch8
5. Шендеров Б.А., Доронин А.Ф. Чай и кофе – основа для создания функциональных напитков и продуктов питания // Пиво и напитки. 2004. № 2. С. 94–97.

6. Alara O.R., Abdurahman N.H., Ukaegbu Ch.I. Extraction of phenolic compounds: A review. *Current Research in Food Science*. 2021, V. 4, pp. 200–214. DOI: 10.1016/j.crfs.2021.03.011
7. Валулина Д.Ф., Макарова Н.В., Будьлин Д.В. Сравнительный анализ химического состава и антиоксидантных свойств разных видов чая как исходного сырья для производства чайных экстрактов // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 2. С. 249–255. DOI: 10.20914/2310-1202-2018-2-249-255
8. Асланова Г.И. Влияние ферментного препарата ЦеллоЛюкс–А на количество извлекаемых катехинов из листьев зеленого чая // Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции: сб. тр. Лесниково: Изд-во Курган. гос. с.-х. акад. им. Т.С. Мальцева, 2018. С. 117–120.
9. Щеголева И.Д., Молчанова Е.Н. Отходы чайного производства как дополнительный ресурс биологически активных веществ // *Health, Food & Biotechnology*. 2020. Т. 2. № 1. С. 153–164. DOI: 10.36107/hfb.2020.i1.s297
10. Татарченко И.А., Решетова Р.С. Изменение химического состава чайного листа при производстве зеленого и черного чая // *Пищевая промышленность*. 2014. № 6. С. 13–15.
11. Макрова Н.В., Игнатова Д.Ф., Еремеева Н.Б. Выбор технологии экстрагирования для зеленого чая, бобов кофе, Иван-чая // *Современная наука и инновации*. 2019. № 1. С. 120–129. DOI: 10.33236/2307-910X-2019-25-1-120-129
12. Setyoprato P. Extraction of phenolic compounds from green tea using ethanol. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2014, V. 9, no. 9, pp. 1516–1521.
13. Kim M.J., Ahn J.H., Kim S.B., Jo Y.H., Hwang B.Y., Lee M.K. Effect of extraction conditions of green tea on antioxidant activity and EGCG content: optimization using response surface methodology. *Natural Product Sciences*. 2016, V. 22, no. 4, pp. 270–274. DOI: 10.20307/nps.2016.22.4.270
14. Бибик И.В., Лоскутова Е.В. Исследование факторов, оказывающих влияние на процесс экстрагирования полифенольных соединений из плодово-ягодного сырья // *В мире научных открытий*. 2013. № 11.2. С. 65–75.
15. Поверин А.Д. Технология получения порошкового экстракта зеленого чая // *Пищевая промышленность*. 2008. № 7. С. 36–38.
16. Su E., Xia T., Gao L., Dai D., Zhang Z. Immobilization of β -glucosidase and its aroma-increasing effect on tea beverage. *Food and Bioproducts Processing*. 2010, V. 88, no. 2–3, pp. 83–39. DOI: 10.1016/j.fbp.2009.04.001
17. Kim J.H., Pan J.H., Heo W., Lee H., Kwon E.G., Lee H.G., Shin D.H., Liu R.H., Kim Y.J. Effects of cellulase from *Aspergillus niger* and solvent pretreatments on the extractability of organic green tea waste. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2010, no. 58, pp. 10747–10751. DOI: 10.1021/jf102346p
18. Coetzee G., Joubert E., van Zyl W.H., Viljoen–Bloom M. Improved extraction of phytochemicals from rooibos with enzyme treatment. *Food and Bioproducts Processing*. 2014, V. 92, no. 4, pp. 393–401. DOI: 10.1016/j.fbp.2013.08.013
19. Al-Yasari A., Barakova N., Alkhateeb R., Hovhannisyan F., Baskovtceva A., Kiprushkina E.I. Juice yield and pectin indicators in apple and carrot pomace. *Functional Foods in Health and Disease*. 2023, V. 13, no. 11, pp. 559–573. DOI: 10.31989/ffhd.v13i10.1186
20. Павленко И.В., Самуйленко А.Я., Еремец В.И., Нежута А.А., Канарская З.А., Канарский А.В. Разработка технологии производства симбиотического препарата Пролизэр на основе *Escherichia coli* VL-613. Часть 1. Оптимизация технологии культивирования *Escherichia coli* VL-613 для получения симбиотического препарата Пролизэр // Вестник Казанского технологического университета. 2013. № 9. С. 171–175.
21. Николаева Т.Н., Лапшин П.В., Загоскина Н.В. Методы определения суммарного содержания фенольных соединений в растительных экстрактах с реактивом Фолина–Дениса и реактивом Фолина–Чокальтеу: модификация и сравнение // *Химия растительного сырья*. 2021. № 2. С. 291–299. DOI: 10.14258/jcrpm.2021028250

References

1. Chandini S.K., Jaganmohan Rao L., Gowthaman M.K., Haware D.J., Subramanian R. Enzymatic treatment to improve the quality of black tea extracts. *Food Chemistry*. 2011, V. 127, no. 3, pp. 1039–1045. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.01.078
2. Fedoseyeva A.A., Lebedkova O.S., Kanibolotskaya L.V., Shendrik A.N. Antioxidant activity of tea infusions. *Khimiya rastitelnogo syrya*. 2008, no. 3, pp. 123–127. (In Russian)
3. Rusak G., Komes D., Likic S., Horzic D., Kovac M. Phenolic content and antioxidative capacity of green and white tea extracts depending on extraction conditions and the solvent used. *Food Chemistry*. 2008, V. 110, pp. 852–858. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.02.072
4. Wan X., Li D., Zhang Z. Antioxidant properties and mechanism of tea polyphenols. *Tea and tea products: Chemistry and health-promoting properties*. CRC Press: London, 2008, pp. 131–159. DOI: 10.1201/9781420008036.ch8
5. Shenderov B.A., Doronin A.F. Tea and coffee – basis for creation of functional drinks and food stuffs. *Beer and Beverages*. 2004, no. 2, pp. 94–97. (In Russian)
6. Alara O.R., Abdurahman N.H., Ukaegbu Ch.I. Extraction of phenolic compounds: A review. *Current Research in Food Science*. 2021, V. 4, pp. 200–214. DOI: 10.1016/j.crfs.2021.03.011

7. Valiulina D.F., Makarova N.V., Budylin D.V. Comparative analysis of the chemical composition and antioxidant properties of different types of tea as a raw material for the production of tea extracts. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2018, V. 80, no. 2, pp. 249–255. DOI: 10.20914/2310-1202-2018-2-249-255. (In Russian)
8. Aslanova G.I. Effect of the enzyme preparation CelloLux–A on the amount of extracted catechins from green tea leaves. *Resource-saving, environmentally friendly technologies for storing and processing agricultural products. Collection of works*. Lesnikovo, Kurgan State Agricultural Academy n.a. T.S. Maltseva Publ. 2018, pp. 117–120. (In Russian)
9. Schegoleva I.D., Molchanova E.N. Tea production waste as an additional resource of biologically active substances. *Health, Food & Biotechnology*. 2020, V. 2, no. 1, pp. 153–164. DOI: 10.36107/hfb.2020.11.s297 (In Russian)
10. Tatarchenko I.A., Reshetova R.S. Chemical composition change of tea leaves in the production of green and black tea. *Processing of Plant Raw Materials*. 2014, no. 6, pp. 13–15. (In Russian)
11. Makarova N.V., Ignatova D.F., Ereemeeva N.B. Selection of extraction technology for green tea, coffee beans, Ivan–tea. *Modern Science and Innovations*. 2019, no. 1, pp. 120–129. DOI: 10.33236/2307-910X-2019-25-1-120-129 (In Russian)
12. Setyoprato P. Extraction of phenolic compounds from green tea using ethanol. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2014, V. 9, no. 9, pp. 1516–1521
13. Kim M.J., Ahn J.H., Kim S.B., Jo Y.H., Hwang B.Y., Lee M.K. Effect of extraction conditions of green tea on antioxidant activity and EGCG content: optimization using response surface methodology. *Natural Product Sciences*. 2016, V. 22, no. 4, pp. 270–274. DOI: 10.20307/nps.2016.22.4.270
14. Bibik I.V., Loskutova E.V. Study of factors affecting the extraction process polyphenolic compounds from fruit raw material. *V Mire Nauchnykh Otkrytii*. 2013, V. 47, no. 11.2, pp. 65–75. (In Russian)
15. Poverin A.D. Technology of receiving of powder extract of green tea. *Food Industry*. 2008, no. 7, pp. 36–38. (In Russian)
16. Su E., Xia T., Gao L., Dai D., Zhang Z. Immobilization of β -glucosidase and its aroma-increasing effect on tea beverage. *Food and Bioproducts Processing*. 2010, V. 88, no. 2–3, pp. 83–39. DOI: 10.1016/j.fbp.2009.04.001
17. Kim J.H., Pan J.H., Heo W., Lee H., Kwon E.G., Lee H.G., Shin D.H., Liu R.H., Kim Y.J. Effects of cellulase from *Aspergillus niger* and solvent pretreatments on the extractability of organic green tea waste. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2010, no. 58, pp. 10747–10751. DOI: 10.1021/jf102346p
18. Coetzee G., Joubert E., van Zyl W.H., Viljoen–Bloom M. Improved extraction of phytochemicals from rooibos with enzyme treatment. *Food and Bioproducts Processing*. 2014, V. 92, no. 4, pp. 393–401. DOI: 10.1016/j.fbp.2013.08.013
19. Al-Yasari A., Barakova N., Alkhateeb R., Hovhannisyan F., Baskovtceva A., Kiprushkina E.I. Juice yield and pectin indicators in apple and carrot pomace. *Functional Foods in Health and Disease*. 2023, V. 13, no. 11, pp. 559–573. DOI: 10.31989/ffhd.v13i10.1186
20. Pavlenko I.V., Samuylenko A.Ya., Yeremets V.I., Nezhuta A.A., Kanarskaya Z.A., Kanarskiy A.V. Development of technology for the production of the symbiotic drug Prolizer based on *Escherichia coli* VL–613. Part 1. Optimization of cultivation technology for *Escherichia coli* VL–613 to obtain the symbiotic drug Prolyzer. *Bulletin of the Technological University*. 2013, V. 16, no. 9, pp. 171–175. (In Russian)
21. Nikolaeva T.N., Lapshin P.V., Zagoskina N.V. Method for determining the total content of phenolic compounds in plant extracts with Folin–Denis reagent and Folin–Chocalteu reagent: modification and comparison. *Chemistry of Plant Raw Material*. 2021, no. 2, pp. 291–299. DOI: 10.14258/jcprm.2021028250. (In Russian)

Информация об авторах

Аль-Ясари Аркан Хади – аспирант факультета биотехнологий

Надежда Васильевна Баракова – канд. техн. наук, доцент, доцент факультета биотехнологий

Ангелина Станиславовна Басковцева – аспирант факультета биотехнологий

Рим Алхатиб – магистрант факультета биотехнологий

Александр Геннадьевич Новоселов – д-р техн. наук, профессор, доцент образовательного центра «Энергоэффективные инженерные системы»

Information about the authors

Arkan H. Al-Yasari, Postgraduate Student, Faculty of Biotechnology

Nadezhda V. Barakova, Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Faculty of Biotechnology

Angelina S. Baskovtceva, Postgraduate Student, Faculty of Biotechnology

Reem Alkhateeb, Master student, Faculty of Biotechnology

Alexander G. Novoselov, D. Sci. (Eng.), Professor, Associate Professor of the Educational Center "Energy efficient engineering systems"

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

Статья поступила в редакцию 24.01.2024

Одобрена после рецензирования 26.02.2024

Принята к публикации 01.03.2024

The article was submitted 24.01.2024

Approved after reviewing 26.02.2024

Accepted for publication 01.03.2024