

Научная статья

УДК 663.97:543.544.5

DOI: 10.17586/2310-1164-2024-17-3-3-9

**«Алкогольная» ферментация табака в дубовых бочках.
Часть 2. Количественное изменение хлорогеновой кислоты и ее определение
методом ВЭЖХ**

И.В. Моисеев¹, Д.А. Карманов^{1*}, В.В. Лезный¹, Д.В. Бондаренко¹, Г.П. Синчин²

¹Погарская сигаретно-сигарная фабрика, Россия, Погар

²Дербентский коньячный комбинат, Россия, Дербент

*denis.karmanov.91@mail.ru

Аннотация. Исследовали количественное изменение хлорогеновой кислоты (ХГК) в табачном сырье в процессе его ферментации в дубовых бочках в газо-жидкостной среде коньячного дистиллята в течение шести месяцев. Объектом изучения являлся кубинский сигарный табак сорта НР. Количественное определение ХГК проводили на жидкостном хроматографе со спектрофотометрическим детектором методом внешнего стандарта в режиме градиентного элюирования. Внешний стандарт ХГК получали из зеленых зерен кофе экстракцией 40% водным раствором метанола с дальнейшей обработкой экстракта растворами Карреза и выпариванием обработанного экстракта на ротационном испарителе под вакуумом. В результате хроматографирования внешнего стандарта получена хроматограмма в виде двойного пика. Для анализа исследуемых образцов табака предварительно подготовили их водно-метанольные экстракты по методу Сокслета. Показано, что массовая доля ХГК в неферментированном табачном сырье составила 0,29%, в ферментированном – 0,19%, что соответствует убыли ХГК за время ферментации на 42,9%. Для выявления возможной диффузии ХГК из табачного сырья в дубовую клепку проводили аналогичный анализ дубовой стружки толщиной 1 мм, срезанной с внутренней поверхности бочки до и после процесса ферментации. Показано отсутствие ХГК в дубовой стружке, срезанной до ферментации табака. На хроматограмме экстракта дубовой стружки, срезанной после ферментации, обнаружен пик, соответствующий ХГК в количестве 0,047%. Однако его форма не позволяет однозначно утверждать, что данный пик непосредственно относится к ХГК.

Ключевые слова: табачное сырье; «алкогольная» ферментация; полифенолы; хлорогеновая кислота; экстракция; высокоэффективная жидкостная хроматография

Original article

**"Alcoholic" fermentation of tobacco in oak barrels.
Part 2. Quantitative change in chlorogenic acid and its determination by HPLC**

Igor V. Moiseev¹, Denis A. Karmanov^{1*}, Valerii V. Leznyi¹, Dmitriy V. Bondarenko¹, Gregoriy P. Sinchin²

¹Pogor Cigarette & Cigar Factory, Pogor, Russia

²Derbent Brandy Factory, Derbent, Russia

*denis.karmanov.91@mail.ru

Abstract. We studied a quantitative change in chlorogenic acid (CGA) content in raw tobacco during its fermentation in oak barrels in a gas-liquid medium of cognac distillate for six months. Cuban cigar tobacco of the HP variety was used as the object of research. Quantitative determination of CGA was carried out on a liquid chromatograph with a spectrophotometric detector using the external standard method in gradient elution mode. An external standard of CGA was obtained from green coffee beans by extraction with a 40% aqueous solution of methanol, followed by further treatment of the extract with Carrese solutions and evaporation of the treated extract on a rotary evaporator under vacuum. As a result of chromatography of the external standard, a chromatogram in the form of a double peak was obtained. To analyze the tobacco samples under study, their water-methanol extracts were first obtained using the Soxhlet method. HPLC results showed that the mass fraction of CGA in unfermented tobacco raw materials was 0,29%. In fermented tobacco, the content of CGA was 0,19%, which corresponds to a loss of CGA during fermentation by 42,9%. To identify the possible diffusion of CGA from tobacco raw materials into oak staves, a similar analysis was carried out on 1 mm thick oak chips cut from the inner surface of the barrel before and after the fermentation process. Chromatography results showed the absence of CGA in oak chips cut before tobacco fermentation. The chromatogram of the extract of oak chips cut after fermentation showed a peak corresponding to CGA in an amount of 0,047%. However, the peak shape does not allow to unequivocally state that this peak directly relates to CGA.

Keywords: raw tobacco; "alcoholic" fermentation; polyphenols; chlorogenic acid; extraction; high performance liquid chromatography

Введение

Данная статья является продолжением исследований, направленных на изучение процесса «алкогольной» ферментации табачного сырья в дубовых бочках в газо-жидкостной среде коньячного дистиллята. Ранее авторами было изложено обоснование необходимости проведения вышеуказанных исследований и представлены экспериментальные данные по количественному массопереносу танина дуба в табачное сырье в течение 6 месяцев [1]. Это позволило определить степень насыщения табачного сырья высокомолекулярными полифенолами и на основании их химических свойств оценить изменение вкусоароматического профиля табачного дыма в зависимости от времени ферментации исследуемого табака. Однако в табаке содержатся собственные низкомолекулярные полифенолы, обладающие схожими с танином свойствами, содержание которых также может изменяться в процессе «алкогольной» ферментации.

В *Nicotiana tabacum L.* (табак обыкновенный) идентифицировано более 15 биологически активных низкомолекулярных полифенолов [2]. Из этой группы веществ наибольший интерес представляет хлорогеновая кислота (ХГК) – депсид кофейной и хинной кислот. В связи с этим целью дополнительных исследований стало изучение количественного изменения ХГК в табачном сырье в процессе его «алкогольной» ферментации. При этом под термином «хлорогеновая кислота» подразумевается смесь трех основных изомерных форм, наиболее распространенных в природе: 3-кофеилхинной, 4-кофеилхинной и 5-кофеилхинной кислот [3].

Для достижения поставленной цели провели анализ научной литературы имеющихся методов количественного определения ХГК в растительных материалах, который выявил, что наиболее распространенными являются методы обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии (ОФ ВЭЖХ) с использованием внешнего стандарта. Хроматография проводится в режиме градиентного элюирования с фотометрическим детектированием при длине волны 325 нм [4–6].

Характерной особенностью ХГК является легкое превращение одних изомерных форм в другие даже в процессе пробоподготовки, что, естественно, усложняет ее количественное определение [7]. Вдобавок производители высокочистых реактивов, такие как Merck, Sigma-Aldrich и Acros Organics в качестве реактива (внешнего стандарта) предлагают именно 5-кофеилхинную кислоту, что не дает возможности правильно оценить содержание ХГК в ходе анализа природных объектов. В связи с этим целесообразнее использовать естественную смесь изомеров, полученную экстракцией из растительного материала с высоким содержанием ХГК [8]. Наиболее подходящим растительным материалом для этих целей являются зерна зеленого кофе, содержание ХГК в которых достигает 14% [9]. При этом наиболее простой и удобной окажется такая методика ВЭЖХ, которая будет определять все изомеры как одно единое вещество, т. е. на хроматограмме они будут идентифицироваться одним пиком [10].

Объекты и методы исследований

Объектом изучения, как и в предыдущей работе [1], стал кубинский (Ремедиос, Республика Куба) сигарный табак воздушной сушки (Dark air-cured, DAC) сорта НР урожая 2021 г., сферментированный в дубовой бочке из-под виноградного (коньячного) дистиллята 20-летней выдержки в течение шести месяцев. Хроматографический анализ исследуемых образцов на содержание ХГК проводили методом внешнего стандарта. Внешний стандарт ХГК получали из зеленых зерен кофе экстракцией водно-метанольным раствором с дальнейшим выпариванием экстракта до сухого продукта.

Методика получения стандартного образца ХГК. Стандартный образец ХГК получали из зеленых кофейных зерен согласно методике [11]. Зеленые кофейные зерна (*Colombia Supremo*) массой 5 г измельчали, заливали 60 см³ 40%-м раствором метанола, настаивали смесь в течение суток при постоянном перемешивании и фильтровали. Для осаждения из экстракта белков и других высокомолекулярных соединений его обрабатывали двумя растворами Карреза. Раствор Карреза № 1 готовили растворением 12,67 г K₄[Fe(CN)₆]·3H₂O в дистиллированной воде и доведением объема в мерной колбе до 100 см³ (0,3 М раствор). Раствор Карреза № 2 готовили растворением 21,95 г Zn(CH₃COO)₂·2H₂O в дистиллированной воде и доведением объема в мерной колбе до 100 см³ (1 М раствор). В водно-метанольный экстракт кофе добавляли по 10 см³ каждого из растворов. Смесь тщательно встряхивали и выдерживали в течение

10 мин. Образовавшийся осадок отфильтровывали. Во избежание разложения (гидролиза) и изомеризации ХГК фильтрат испаряли до сухого продукта при пониженной температуре под вакуумом [12] на ротационном испарителе ИР-1МЗ (ПАО «Химлаборприбор», Россия) по технологическим параметрам, представленным в таблице 1.

Таблица 1. Технологические параметры процесса испарения экстракта ХГК
 Table 1. Technological parameters of the evaporation process for CGA extract

Объем колбы испарителя	250 см ³
Давление вакуума	1 кПа
Частота вращения колбы испарителя	50 об/мин
Температура	40 °С

Методика определения ХГК методом ВЭЖХ. Исходный стандартный раствор с концентрацией 1,6 г/дм³ готовили растворением навески стандартного образца ХГК массой 80 мг в мерной колбе на 50 см³. Определение ХГК проводилось на жидкостном хроматографе Dionex UltiMate 3000 (Thermo Fisher Scientific, США) со спектрофотометрическим детектором в обращенно-фазовом режиме градиентного элюирования. Условия хроматографирования представлены в таблице 2.

Таблица 2. Условия хроматографирования ХГК
 Table 2. Conditions for chromatography of CGA

Хроматографическая колонка	Thermo Scientific Accalaim™ 120 C18 (3 μm; 2,1x150 mm)
длина волны детектора	325 нм
объем аликвоты	20 мм ³
подвижная фаза	ацетонитрил – 0,1% фосфорная кислота
градиентное соотношение подвижной фазы	0 мин – 0% ацетонитрила, 2 мин – 10% ацетонитрила, 7 мин – 40% ацетонитрила
скорость потока подвижной фазы	0,3 см ³ /мин
температура термостата колонок	30 °С
время анализа	15 мин

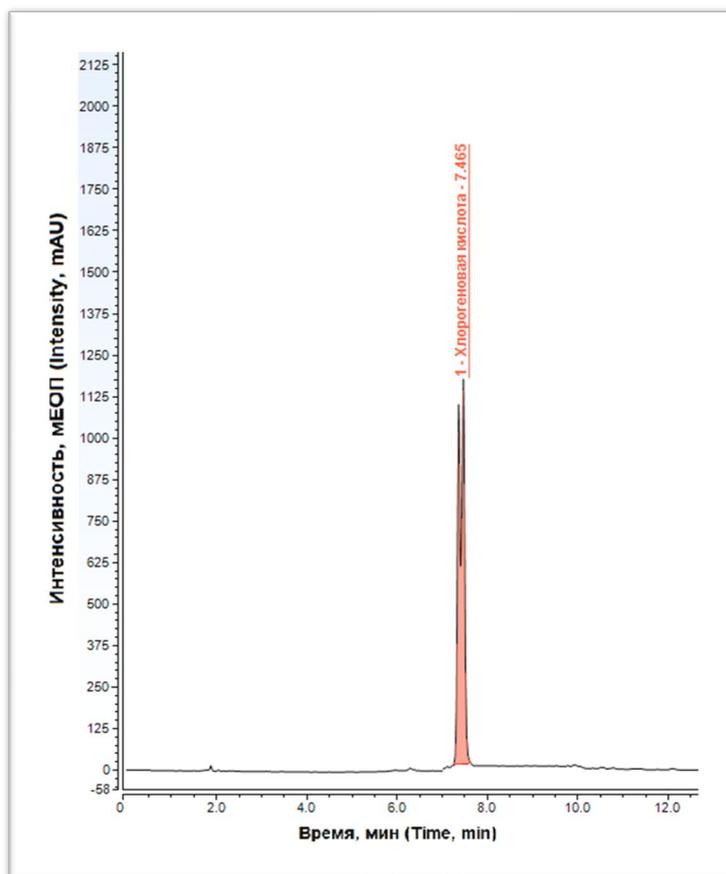


Рисунок 1 – Хроматограмма стандартного образца ХГК
 Figure 1. Chromatogram of a standard sample of CGA

На рисунке 2 представлена хроматограмма стандартного образца ХГК в виде двойного пика со следующими хроматографическими характеристиками: время удерживания – 7,465 мин, интенсивность – 1158 мЕОП, площадь пика – 163,73 мЕОП·мин.

Двойная форма пика, по-видимому, обусловлена частичным разделением изомерных форм ХГК в процессе хроматографирования, что не вполне отвечает поставленной цели. Однако данная форма пика может служить дополнительным «маркером» для выявления ХГК в исследуемых образцах табака.

Отсутствие иных пиков на хроматограмме показывает, что полученный по вышеуказанной методике стандартный образец ХГК, не содержит других мешающих анализу примесей.

Результаты и обсуждение

Из навесок образцов табака массой 10,00 г получали водно-метанольные экстракты с дальнейшим их анализом на содержание ХГК. Экстрагирование осуществляли в аппарате Сокслета 40%-м раствором метанола объемом 250 см³ в течение 4 ч [13, 14]. Хроматограммы экстрактов табака представлены на рисунке 2, из анализа которого видно, что в табачных экстрактах ХГК четко идентифицируется в виде двойных пиков, схожих со стандартом. Площадь пика на хроматограмме 1 составила 11,45 мЕОП·мин, на хроматограмме 2 – 6,54 мЕОП·мин, что соответствует массовой доле ХГК 0,28 и 0,16% для неферментированного и ферментированного табака соответственно. Следовательно, наблюдается убыль ХГК за время ферментации на 42,9%.

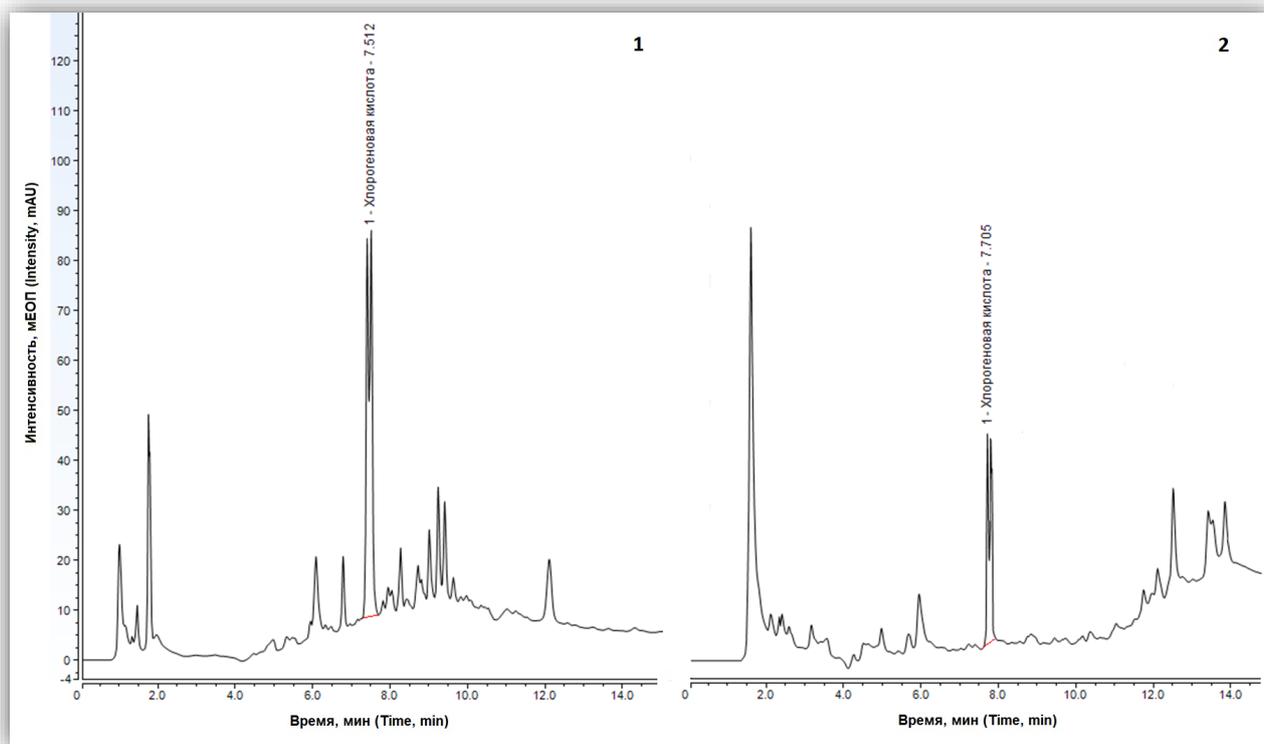


Рисунок 2 – Хроматограммы экстрактов табака до ферментации (1) и после ферментации (2)
Figure 2. Chromatograms of tobacco extracts before (1) and after fermentation (2)

Уменьшение содержания ХГК в табаке в процессе «алкогольной» ферментации наиболее вероятно происходит вследствие ее окисления и гидролиза до хинной и кофейной кислот [15]. Нельзя исключать и массоперенос ХГК из табачного сырья в дубовую клепку коньячной бочки. Поэтому для выявления возможной диффузии ХГК из табачного сырья в дубовую клепку проводили аналогичный анализ дубовой стружки толщиной 1 мм в количестве 10,00 г, срезанной с внутренней поверхности бочки до и после процесса ферментации. Хроматограммы экстрактов представлены на рисунке 3.

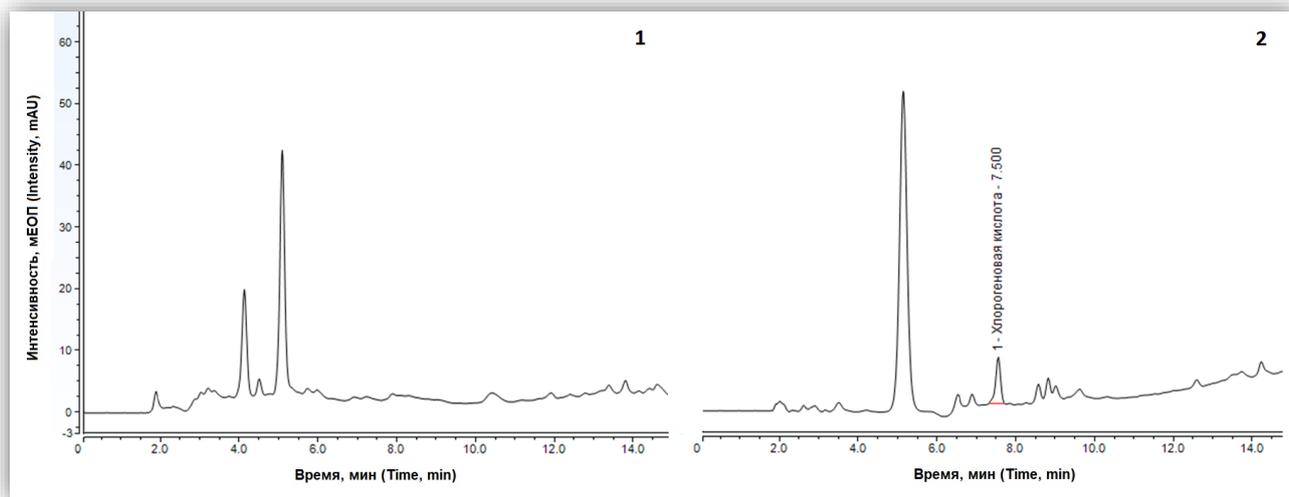


Рисунок 3 – Хроматограммы экстрактов дубовой стружки до ферментации табака (1) и после ферментации (2)
Figure 3. Chromatograms of oak chip extracts before (1) and after tobacco fermentation (2)

Анализ результатов хроматографии показал полное отсутствие ХГК в дубовой стружке, срезанной до ферментации табака в бочке. На хроматограмме экстракта дубовой стружки, срезанной после ферментации, обнаружен пик, соответствующий ХГК с площадью 1,93 мЕОП·мин, что соответствует массовой доле 0,047%. Однако его форма и малая интенсивность не позволяет однозначно утверждать, что данный пик непосредственно относится к ХГК. С большой долей вероятности пик может принадлежать какому-либо иному веществу, имеющему схожее время удерживания, и быть продуктом окисления вещества, идентифицированного на хроматограмме 1 (время удерживания \approx 4,0–4,2 мин) и отсутствующего на хроматограмме 2.

Заключение

В целом результаты исследований подтверждают литературные данные об уменьшении содержания ХГК в растительном материале вследствие процессов ее окисления и гидролиза. Следовало ожидать и незначительный, а возможно, и полностью отсутствующий массоперенос ХГК из табака в дубовую клепку, так как табачный лист обладает более высокой сорбирующей способностью по отношению к насыщенному дистиллятом дубовой клепке. Следовательно, диффузия любых веществ из табака в дуб должна в значительной степени подавляться.

Однако одновременное увеличение содержания в табаке высокомолекулярных полифенолов (танина) и уменьшение низкомолекулярных (ХГК) в процессе «алкогольной» ферментации требуют особого планирования и расчета времени ферментации для получения наиболее качественного и сбалансированного по вкусоароматическим показателям продукта. Таким образом, проведенные исследования, несомненно, имеют практическое значение для табачной промышленности, где ферментация табака играет важную роль в создании продукции премиум-класса. Полученные результаты могут значительно обогатить технологию производства табачных изделий, позволяя специалистам объективно предсказать изменения потребительских качеств табачного сырья в процессе ферментации.

Литература

1. Моисеев И.В., Карманов Д.А., Лезный В.В., Бондаренко Д.В., Синчин Г.П. «Алкогольная» ферментация табака в дубовых бочках. Часть 1. Массообмен танина и его косвенное количественное определение методом ВЭЖХ // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2024. № 2. С. 3–9. DOI: 10.17586/2310-1164-2024-17-2-3-9
2. Docheva M.H., Popova V.T., Ivanova T.A., Nikolova I.V.V., Hristeva T.H., Nikolov N.N. Polyphenol content and antioxidant activity of aqueous/methanol extracts from different tobacco species (*Nicotiana*). *Bulgarian Chemical Communications*. 2018. V. 50, Is. 4, pp. 553–559.
3. Дейнека В.И., Хлебников В.А., Сорокопудов В.Н., Анисимович И.П.. Хлорогеновая кислота плодов и листьев

- некоторых растений семейства Berberidaceae // Химия растительного сырья. 2008. № 1. С. 57–61.
4. Тищенко Е.А., Цюпко Т.Г., Милевская В.В., Темердашев А.З. Идентификация и хроматографическое определение биоактивных компонентов в образцах растворимого кофе // Аналитика и контроль. 2017. Т. 21. № 3. С. 251–261. DOI: 10.15826/analitika.2017.21.3.008
 5. Дейнека В.И., Олейниц Е.Ю., Блинова И.П., Дейнека Л.А. Селективность разделения изомерных хлорогеновых кислот в условиях обращенно-фазовой ВЭЖХ // Журнал аналитической химии. 2019. Т. 74. № 8. С. 588–594. DOI: 10.1134/S004445021908005X
 6. Блинова И.П., Олейниц Е.Ю., Саласина Я.Ю., Дейнека В.И., Ву Т.Н.А., Нгуен В.А. Одновременное определение хлорогеновых кислот и кофеина в кофе методом обращенно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2023. Т. 66. № 2. С. 45–52. DOI: 10.6060/ivkkt.20236602.6711.
 7. Xie C., Yu K., Zhong D., Yuan T., Ye F., Jarrell J.A., Millar A., Chen X. Investigation of isomeric transformations of chlorogenic acid in buffers and biological matrixes by ultraperformance liquid chromatography coupled with hybrid quadrupole/ion mobility/orthogonal acceleration time-of-flight mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2011, V. 59, no. 20, pp. 11078–11087. DOI: 10.1021/jf203104k
 8. Clifford M.N., Kirkpatrick J., Kuhnert N., Roozendaal H., Salgado P.R. LC-MSⁿ analysis of the cis isomers of chlorogenic acids. *Food Chemistry*. 2008, V. 106, Is. 1, pp. 379–385. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.05.081
 9. Farah A., Donangelo C.M. Phenolic compounds in coffee. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 2006, V. 18, no. 1, pp. 23–36. DOI: 10.1590/S1677-04202006000100003
 10. Шамилов А.А., Бубенчикова В.Н., Гарсия Е.Р., Ибаева Х.А., Ларский М.В. Разработка и валидация методики количественного определения фенольных соединений и хлорогеновой кислоты в голубики болотной листьях // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2022. Т. 25. № 2. С. 14–23. DOI: 10.29296/25877313-2022-02-03
 11. Farah A., Paulis T., Trugo L.C., Martin P.R. Effect of roasting on the formation of chlorogenic acid lactones in coffee. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005, V. 53, no. 5, pp. 1505–1513. DOI: 10.1021/jf048701t
 12. Куликова Н.Е., Чернобровина А.Г., Роева Н.Н., Попова О.Ю. Исследование процесса выпаривания для получения концентратов из растительного сырья // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 2. С. 335–346. DOI: 10.21603/2074-9414-2023-2-2438
 13. Федоренко Б.Н., Бородулин Д.М., Просин М.Д., Шафрай А.В., Лобасенко Б.А., Головачева Я.С. Определение рациональных технологических параметров работы экстрактора Сокслета при получении спиртовой настойки из ягод клюквы // Техника и технологии пищевых производств. 2020. Т. 50. № 1. С. 115–123. DOI: 10.21603/2074-9414-2020-1-115-123
 14. Моисеев И.В., Карманов Д.А., Лезный В.В., Кириллов Д.Д. Исследование количественного изменения никотина в табачном сырье в процессе естественной ферментации под прессом // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2022. № 4. С. 25–30. DOI: 10.17586/2310-1164-2022-15-4-25-30
 15. Gil M., Wianowska D. Chlorogenic acids – their properties, occurrence and analysis. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, sectio AA – Chemia*. 2017, V. 72, no. 1, pp. 61–104. DOI: 10.17951/aa.2017.72.1.61

References

1. Moiseev I.V., Karmanov D.A., Leznyy V.V., Bondarenko D.V., Sinchin G.P. "Alcoholic" fermentation of tobacco in oak barrels. Part 1. Tannin mass transfer and its indirect quantitative determination by HPLC. *Processes and Food Production Equipment*. 2024, no. 2, pp. 3–9. DOI: 10.17586/2310-1164-2024-17-2-3-9 (In Russian)
2. Docheva1 M.H., Popova V.T., Ivanova T.A., Nikolova1 V.V., Hristeva1 T.H., Nikolov N.N. Polyphenol content and antioxidant activity of aqueous/methanol extracts from different tobacco species (Nicotiana). *Bulgarian Chemical Communications*. 2018. V. 50, Is. 4, pp. 553–559.
3. Deineka V.I., Khlebnikov V.A., Sorokopudov V.N., Anisimovich I.N. The chlorogenic acid of fruits and leaves of some plants of the family Berberidaceae. *Chemistry of Plant Raw Material*. 2008, no. 1, pp. 57–61. (In Russian)
4. Tishchenko E.A., Tsiupko T.G., Milevskaia V.V., Temerdashev A.Z. Identification and chromatographic determination of bioactive components in the instant coffee samples. *Analytics and Control*. 2017, V. 21, no. 3, pp. 251–261. DOI: 10.15826/analitika.2017.21.3.008 (In Russian)
5. Deineka V.I., Oleinits E.Yu., Blinova I.P., Deineka L.A. Selectivity of the separation of isomeric chlorogenic acids under the conditions of reversed-phase HPLC. *Journal of Analytical Chemistry*. 2019, V. 74, no. 8, pp. 588–594. DOI: 10.1134/S004445021908005X (In Russian)
6. Blinova I.P., Oleinits E.Yu., Salasina Ya.Yu., Deineka V.I., Vu T.N.A., Nguyen V. A. Simultaneous determination of chlorogenic acids and caffeine by reversed-phase HPLC. *ChemChemTech*. 2023, V. 66, no. 2, pp. 45–52. DOI: 10.6060/ivkkt.20236602.6711 (In Russian)
7. Xie C., Yu K., Zhong D., Yuan T., Ye F., Jarrell J.A., Millar A., Chen X. Investigation of isomeric transformations of chlorogenic acid in buffers and biological matrixes by ultraperformance liquid chromatography coupled with hybrid quadrupole/ion mobility/orthogonal acceleration time-of-flight mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2011, V. 59, no. 20, pp. 11078–11087. DOI: 10.1021/jf203104k

8. Clifford M.N., Kirkpatrick J., Kuhnert N., Roozendaal H., Salgado P.R. LC-MSⁿ analysis of the cis isomers of chlorogenic acids. *Food Chemistry*. 2008, V. 106, Is. 1, pp. 379–385. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.05.081
9. Farah A., Donangelo C.M. Phenolic compounds in coffee. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 2006, V. 18, no. 1, pp. 23–36. DOI: 10.1590/S1677-04202006000100003
10. Shamilov A.A., Bubenchikova V.N., Garsiya E.R., Ibaeva Kh.A., Larsky M.V. Investigation and validation of quantitative analysis of phenolic compounds and chlorogenic acid in the *Vaccinium uliginosum* leaves. *Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry*. 2022, V. 25, no. 2, pp. 14–23. DOI: 10.29296/25877313-2022-02-03 (In Russian)
11. Farah A., Paulis T., Trugo L.C., Martin P.R. Effect of roasting on the formation of chlorogenic acid lactones in coffee. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005, V. 53, no. 5, pp. 1505–1513. DOI: 10.1021/jfo48701t
12. Kulikova N.E., Chernobrovina A.G., Roeva N.N., Popova O.Yu. Evaporation as a method for obtaining plant concentrates. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2023, V. 53, no. 2, pp. 335–346. DOI: 10.21603/2074-9414-2023-2-2438 (In Russian)
13. Fedorenko B.N., Borodulin D.M., Prosin M.D., Shafray A.V., Lobasenko B.A., Golovacheva Ya.S. Rational technological parameters of the Soxhlet extractor in the production of alcoholic extracts from cranberries. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2020, V. 50, no. 1, pp. 115–123. DOI: 10.21603/2074-9414-2020-1-115-123 (In Russian)
14. Moiseev I.V., Karmanov D.A., Leznyy V.V., Kirillov D.D. Quantitative change of nicotine in tobacco raw materials during natural fermentation under pressure. *Processes and Food Production Equipment*. 2022, no. 4, pp. 25–30. DOI: 10.17586/2310-1164-2022-15-4-25-30 (In Russian)
15. Gil M., Wianowska D. Chlorogenic acids – their properties, occurrence and analysis. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, sectio AA – Chemia*. 2017, V. 72, no. 1, pp. 61–104. DOI: 10.17951/aa.2017.72.1.61

Информация об авторах

Игорь Викторович Моисеев – д-р техн. наук, президент компании
Денис Александрович Карманов – руководитель научно-технической лаборатории
Валерий Владимирович Лёзный – заместитель генерального директора по технологии
Дмитрий Владленович Бондаренко – председатель совета директоров
Григорий Петрович Синчин – заместитель директора

Information about the authors

Igor V. Moiseev, D. Sci. (Eng.), President of the company
Denis A. Karmanov, Head of the Scientific and Analytical Laboratory
Valerii V. Leznyy, Deputy General Director for Technology
Dmitriy V. Bondarenko, Chairman of the Board of Directors
Gregoriy P. Sinchin, Deputy Director

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

Статья поступила в редакцию 26.06.2024
Одобрена после рецензирования 29.07.2024
Принята к публикации 31.07.2024

The article was submitted 26.06.2024
Approved after reviewing 29.07.2024
Accepted for publication 31.07.2024