

Определение маркеров прижизненного употребления содержащих рицин объектов в крови и моче

С.С. Барсегян¹, Р.А. Калёкин^{1,2}, А.А. Волкова^{1,2}, А.М. Орлова¹

¹ Российский центр судебно-медицинской экспертизы, Москва, Российская Федерация;

² Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Установление факта острого и летального отравления веществами цитотоксического действия в настоящее время остаётся актуальной задачей для судебно-медицинской экспертизы. Рицин относится к данной группе веществ и является наиболее токсичным представителем, который может привести к необратимым последствиям для здоровья человека при попадании в организм.

Цель исследования — разработка методики экспресс-анализа для обнаружения веществ-маркеров при установлении факта отравления рицином в биологических объектах для целей и задач судебно-медицинской экспертизы.

Материалы и методы. Описаны оптимальные условия изолирования рицинина и рицинолевой кислоты как веществ-маркеров наличия рицина. Исследовали извлечение из крови и мочи. Исследование проводили современными хроматографическими методами (высокоэффективная жидкостная/газовая хроматография в сочетании с тандемной масс-спектрометрией).

Результаты. По результатам исследования разработана экспресс-методика обнаружения рицинина и рицинолевой кислоты в биологических жидкостях, для которой требуется всего 200 мкл биологической жидкости. Определены хроматографические и масс-спектрометрические характеристики для идентификации рицинина и рицинолевой кислоты. Авторами установлено наличие токсичного рицинина в продуктах переработки семян клещевины обыкновенной, который может быть причиной отравления человека.

Заключение. Представлена экспресс-методика судебно-химического и химико-токсикологического исследования при отравлении рицином хроматографическими методами — высокоэффективной жидкостной хроматографией в сочетании с тандемной масс-спектрометрией и газовой хроматографией в сочетании с тандемной масс-спектрометрией, основанная на определении веществ-маркеров — рицинина и рицинолевой кислоты — в биологических объектах.

Ключевые слова: рицин; рицинин; рицинолевая кислота; высокоэффективная жидкостная хроматография в сочетании с тандемной масс-спектрометрией; ВЭЖХ/МС/МС; газовая хроматография в сочетании с тандемной масс-спектрометрией; ГХ/МС/МС; отравление рицином; вещества-маркеры; кровь; моча.

Как цитировать:

Барсегян С.С., Калёкин Р.А., Волкова А.А., Орлова А.М. Определение маркеров прижизненного употребления содержащих ринцин объектов в крови и моче // Судебная медицина. 2023. Т. 9, № 4. С. 000–000. DOI: <https://doi.org/10.17816/fm11244>

Рукопись получена: 02.06.2023 Рукопись одобрена: 06.10.2023 Опубликовано: 14.11.2023

Determination of markers of lifetime use of ricin-containing substances in blood and urine

Samvel S. Barsegyan¹, Roman A. Kalekin^{1,2}, Alla A. Volkova^{1,2}, Alevtina M. Orlova¹

¹ Russian Centre of Forensic Medical Expertise, Moscow, Russian Federation;

² Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: of Establishing the fact of acute and lethal poisoning with cytotoxic substances currently remains an urgent task for forensic medical examination. Ricin belongs to this group of substances and is the most toxic representative, which can lead to irreversible consequences if ingested into the human body.

AIM: Development of a rapid analysis technique for detecting marker substances when establishing the fact of ricin poisoning in biological objects for the purposes and tasks of forensic medical examination.

MATERIALS AND METHODS: Have described optimal conditions for isolating ricinin and ricinolic acid, as markers of the presence of ricin. Extraction from blood and urine was investigated. The study was conducted by modern chromatographic methods (high-performance liquid chromatography tandem mass spectrometry and gas chromatography coupled with tandem mass spectrometry).

RESULTS: According to the results of the study, an express method for the detection of ricinin and ricinoleic acid in biological fluids, seeds has been developed, which requires only 200 µl of biological fluid. Chromatographic and mass spectrometric characteristics were determined for identification of ricinin and ricinolic acid. The authors have established the presence of toxic ricinin in the products of processing of castor seeds, which can be a causal cause of poisoning of a person.

CONCLUSION: An express technique of forensic chemical and chemical-toxicological examination of ricin poisoning by chromatographic methods — high-performance liquid chromatography tandem mass spectrometry and gas chromatography coupled with tandem mass spectrometry, based on the determination of marker substances in biological objects — ricinin and ricinolic acid, is presented.

Keywords: ricin; ricinin; ricinolic acid; high-performance liquid chromatography tandem mass spectrometry; HPLC/MS/MS; gas chromatography coupled with tandem mass spectrometry; GC/MS/MS; ricin poisoning; marker substances; blood; urine.

To cite this article:

Barsegyan SS, Kalekin RA, Volkova AA, Orlova AM. Determination of markers of lifetime use of ricin-containing substances in blood and urine. *Russian Journal of Forensic Medicine*. 2023;9(4):000–000. DOI: <https://doi.org/10.17816/fm11244>

Received: 02.06.2023 Accepted: 06.10.2023 Published: 14.11.2023

ОБОСНОВАНИЕ

Рицин (ricin) — чрезвычайно ядовитое вещество, содержащееся в семенах растения клещевины обыкновенной (*Ricinus communis*). Клещевина обыкновенная представляет собой кустарник или небольшое дерево, произрастающее в регионах мира с тропическим и умеренным климатом (рис. 1).

Рицин — два полипептида, которые связаны между собой дисульфидной связью. Механизм действия биомолекулы рицина: А-цепь попадает в цитоплазму и ферментативно инактивирует рибосомы, а В-цепь на поверхности клетки далее связывается с углеводами. Молекулярная масса цепи А составляет 32 кДа, цепи В — 34 кДа. Рицин оказывает прямое цитотоксическое действие за счёт ингибирования синтеза белка [1–3].

Токсичность рицина для человека зависит от пути введения его в организм. Смертельная доза для рицина при пероральном введении составляет примерно 0,3 мг/кг. Для животных средняя ингаляционная летальная доза (lethal dose, LD₅₀) равна 3–5 мкг/кг, средняя пероральная LD₅₀ составляет в среднем 20 мг/кг. При инъекционном пути введения отравление происходит при небольших дозах за счёт лучшей биодоступности. Для человека смертельная доза при употреблении семян клещевины может составить от 4 до 8 штук [4].

Ввиду достаточно простого способа выделения рицина из семян клещевины, по сравнению с другими токсичными веществами растительного происхождения, или синтеза он может быть использован в криминальных целях, в том числе в качестве потенциального инструмента при террористических актах [5, 6]. Однако многие судебно-химические лаборатории не проводят исследований на такие биомолекулы, как рицин. В таких случаях возможно определение низкомолекулярных компонентов из клещевины обыкновенной, которые могут быть маркерами для установления факта отравления рицином. Основные вещества-маркеры наличия рицина в организме человека — алкалоид ричинин и рицинолевая кислота (табл. 1).

Семена клещевины обыкновенной содержат около 30–50% масла, известного под названием «касторовое». Это масло содержит до 81–86% специфической рицинолевой (рицинолеиновой) кислоты, которая отсутствует в маслах из других растений. Из одного килограмма семян получается около 0,3–0,5 кг масла и 0,5–0,7 кг касторового жмыха. В семенах клещевины обыкновенной, в основном в их оболочке, может содержаться до 3% рицина. Эта часть растения является самой ядовитой. Все остальные части растения (листья, семена и жмых) содержат ричинин [4, 7].

Цель исследования — предложить методику экспресс-анализа для обнаружения веществ-маркеров при установлении факта отравления рицином в биологических объектах при судебно-химическом и химико-токсикологическом исследовании.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом сравнения был экстракт из клещевины обыкновенной (семена и касторовое масло) с содержанием рицинина и рицинолевой кислоты. Объектом исследования являлись кровь и моча от лиц, предположительно употребивших семена клещевины обыкновенной или касторовое масло. Исследование проводили на жидкостном и газовом хромато-масс-спектрометрах.

В объектах сравнения (экстракты из семян и касторового масла) были идентифицированы методом масс-спектрометрии рицинин и рицинолевая кислота по библиотечным данным масс-спектров, которые являлись «рабочими стандартными образцами» ввиду отсутствия в доступе для судебно-химических и химико-токсикологических подразделений стандартов этих веществ.

Пробоподготовка образцов

Пробоподготовку проводили по оптимизированной методике [3].

Высокоэффективная жидкостная хроматография в сочетании с тандемной масс-спектрометрией (ВЭЖХ/МС/МС). В пробирки на 1,5 мл типа Эппендорф отдельно вносили по 200 мкл крови и мочи, затем вносили по 600 мкл метанола, далее встряхивали в течение 3 минут и центрифугировали, извлечение упаривали в токе тёплого воздуха. Полученный сухой остаток разводили в 200 мкл смеси 0,1% раствора муравьиной кислоты в 10% водном растворе ацетонитрила. Органическую фазу отбирали объёмом 10 мкл и исследовали.

Газовая хроматография в сочетании с тандемной масс-спектрометрией (ГХ/МС/МС). В пробирки на 1,5 мл типа Эппендорф отдельно вносили по 200 мкл крови и мочи, затем вносили по 600 мкл метанола, далее встряхивали в течение 3 минут и центрифугировали, извлечение упаривали в токе тёплого воздуха. Полученный сухой остаток разводили в 200 мкл этилацетата. Органическую фазу отбирали объёмом 10 мкл и исследовали.

Изолирование алкалоидов из касторового масла. Изолирование алкалоидов проводили подкисленной водой. Полученную водную фазу экстрагировали методом жидкость-жидкостной экстракции органическими растворителями. К 1 мл масла добавляли воду, подкисленную щавелевой кислотой, до значения рН среды равной 2–3, настаивали в течение 1 часа при периодическом помешивании, встряхивали, центрифугировали. Экстрагирование из водной фазы проводили диэтиловым эфиром. Водную фазу доводили до рН 8–9 путём подщелачивания её раствором аммиака и экстрагировали далее смесью этилацетат-гептан-изопропанол (5:5:1). На фильтр наносили слой безводного сульфата натрия, и полученное извлечение фильтровали, затем упаривали досуха в токе тёплого воздуха. Сухой остаток разводили в 1000 мкл смеси 0,1% раствора муравьиной кислоты в 10% водном растворе ацетонитрила. Органическую фазу отбирали объёмом 10 мкл и исследовали.

Условия хроматографирования

Условия хроматографирования ВЭЖХ/МС/МС. Анализ проводили по оптимизированной методике [3] на хромато-масс-спектрометре модели Orbitrap Exploris 120 при использовании режима полного сканирования и дальнейшей фрагментации ионов — FullMS-ddMS2, что позволяет обеспечивать регистрацию молекулярного иона вещества и характеристичных фрагментов в диапазоне молекулярных масс от 50 до 750 Да. Аналитическая колонка — Acclaim™ RSLC 120 C18 (2.2 μm, 120 Å, 2.1×100 mm) Dionex Bonded Silica Products (Thermo Scientific,

США). Термостатирование аналитической колонки — 30°C. Скорость потока для подвижной фазы составляла 0,5 мл/мин. Использовали двухкомпонентную подвижную фазу, где фаза А — 0,1% водный раствор муравьиной кислоты, а фаза В — 100% ацетонитрил (для ВЭЖХ). Для анализа вводили пробу в автоматическом режиме объёмом 10 мкл. Параметры градиентного элюирования представлены в табл. 2.

Условия хроматографирования ГХ/МС/МС. Анализ выполняли на хромато-масс-спектрометре с трёхкврупольным масс-селективным детектором Thermo Scientific TQ9000 (QQQ), оснащённым автоматическим отбором образцов и газовым хроматографом TRACE 1310 GC, с использованием параметров и подобранного градиентного повышения температуры (табл. 3).

В вышеописанных условиях хроматографирования время удерживания рицинина составило 3,32 мин, а рицинолевой кислоты — 14,52 мин. Для рицина — Precursor m/z [M+H]⁺ (Precursor m/z 165,0659), а для рицинолевой кислоты — Precursor m/z [M-H]⁻ (Precursor m/z 297,2435). Полученные результаты хроматографирования статистически обработаны ($n=6$); относительное стандартное отклонение для рицинина составило 12,0%, для рицинолевой кислоты — 5,1%.

Этическая экспертиза

Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов, так как исследование проводилось без исследования на людях и животных, а использовались биологические образцы, направленные на исследование.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Предложенные методы использовали для идентификации веществ-маркеров при употреблении семян клещевины обыкновенной в случаях подозрения на отравление веществами растительного происхождения.

На основании проведённого исследования в экспертных образцах крови и мочи были обнаружены рицинин и рицинолевая кислота. Полученные результаты хроматографического разделения и идентификации рицинина и рицинолевой кислоты из крови и мочи представлены на рис. 2–5.

Относительное стандартное отклонение времени удерживания рицинина и рицинолевой кислоты в извлечениях из биологических объектов указано в работах отечественных авторов [8, 9], где сообщается, что подобранные условия пробоподготовки и хроматографирования позволяют идентифицировать рицинин и рицинолевую кислоту в извлечениях из биологической матрицы с учётом её влияния.

ОБСУЖДЕНИЕ

Отравления могут быть вызваны не только семенами клещевины, но и кустарно изготовленным касторовым маслом, содержащим высокие концентрации рицинина. Одним из этапов производства касторового масла должна быть экстракционная очистка продуктов от токсичных алкалоидов, в том числе рицинина.

Согласно ГОСТу 18102-95¹, показатели пищевой и потребительской ценности (органолептические и физико-химические показатели) должны соответствовать требованиям, указанным в табл. 4. Как видно из табл. 4, содержание в масле рицинина по данному ГОСТу не контролируется и не регламентировано. Для проверки данного предположения мы исследовали несколько образцов касторового масла, продаваемых в аптечной сети. Результаты исследования показали (см. рис. 4), что во всех образцах касторового масла, полученных из аптечных сетей, был обнаружен токсичный алкалоид рицинин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны методика пробоподготовки и установлены оптимальные условия изолирования рицинина и рицинолевой кислоты из биологических жидкостей, а также методика пробоподготовки касторового масла с целью дальнейшего проведения исследования современными хроматографическими методами (ВЭЖХ/МС/МС и ГХ/МС/МС). Методы включают в себя простую и быструю пробоподготовку, для которой требуется всего 200 мкл биологической жидкости, и позволяют установить наличие маркеров рицина в организме человека.

Разработана экспресс-методика обнаружения рицинина и рицинолевой кислоты (маркеров наличия рицина) в крови, моче, семенах клещевины и касторовом масле.

Определены хроматографические и масс-спектрометрические характеристики (время удерживания и масс-спектры) для последующей идентификации рицинина и рицинолевой кислоты при судебно-химическом и химико-токсикологическом исследованиях.

В продуктах переработки семян клещевины обыкновенной установлено наличие токсичного рицинина, который может быть причиной отравления людей.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: С.С. Барсегян, Р.А. Калёкин, А.А. Волкова, А.М. Орлова — сбор данных, написание текста рукописи, научное редактирование текста рукописи, е и одобрение окончательного варианта рукописи.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare no apparent or potential conflicts of interest.

¹ ГОСТ 18102-95. Группа Р11. Межгосударственный стандарт. Масло касторовое медицинское. Технические условия. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200022096>.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. S.S. Barsegyan, A.A. Volkova, R.A. Kalekin, A.M. Orlova — data collection, writing the text of the manuscript, critical revision of the manuscript, editing and approve the final manuscript.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савоченко А.И., Филькова К.И. Действие рицина на организм // Известия Российской военно-медицинской академии. 2018. Т. 37, № 1 (S1-2). С. 187–190.
2. Чепур С.В., Аль-Шехадат Р.И., Гоголевский А.С., и др. Молекулярные аспекты цитотоксичности рицина // Medline.ru. Российский биомедицинский журнал. 2021. Т. 22. С. 271–292.
3. Калёкин Р.А., Волкова А.А., Орлова А.М., и др. Судебно-химическое и химико-токсикологическое исследование методом ВЭЖХ-МС/МС при отравлении рицином // Судебно-медицинская экспертиза. 2023. Т. 66, № 3. С. 34–39. doi: 10.17116/sudmed20236603134
4. Привалова Е.Г., Миревич В.И. Основы фитотоксикологии. Обзор растительных объектов. Элементы фитохимического анализа: учебное пособие. Иркутск, 2018. 102 с.
5. Арстамян О.М., Ткачишин В.С., Алексейчук А.Ю. Современные ядовитые вещества в качестве террористической угрозы обществу // Медицина неотложных состояний. 2016. № 2. С. 11–20.
6. Мельниченко О.Г. РИЦИН как возможное биотеррористическое оружие и его влияние на сердечно-сосудистую систему // Студенческий вестник. 2022. № 10-3. С. 24–25.
7. Одинец С.И. Биометрический анализ семядольных листьев проростков клещевины // Научно-технический бюллетень Института масличных культур НААН. 2018. № 26. С. 60–71. doi: 10.36710/ioc-2018-26-07
8. Волкова А.А., Калёкин Р.А., Орлова А.М. Обнаружение клобазама и его метаболита в моче методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с тандемным масс-спектрометрическим детектированием при отравлении // Судебная медицина. 2022. Т. 8, № 4. С. 47–55. doi: 10.17816/fm705
9. Калекин Р.А., Москалева Н.Е., Волкова А.А., и др. Определение залеплона и клобазама методом высокоэффективной жидкостной хроматографии – тандемной масс-спектрометрии с высоким разрешением с использованием технологии Orbitrap // Судебно-медицинская экспертиза. 2022. Т. 65, № 2. С. 24–28. doi: 10.17116/sudmed20226502124

REFERENCES

1. Savochenko AI, Filkova KI. Effects of ricin on human's body. *Russian Military Medical Academy Reports*. 2018;37(1 S1-2):187–190. (In Russ).
2. Chepur SV, Al-Shekhadat RI, Gogolevsky AS, et al. Molecular aspects of ricin cytotoxicity. *Medline.ru*. 2021;22:271–292. (In Russ).
3. Kalekin RA, Volkova AA, Orlova AM, et al. Forensic chemical and chemicotoxicological examination of ricin poisoning by the HPLC-MS/MS method. *Forensic Medical Expertise*. 2023;66(3):34–39. (In Russ). doi: 10.17116/sudmed20236603134

4. Privalova EG, Mirovich VI. Fundamentals of phytotoxicology. Overview of plant objects. Elements of phytochemical analysis: A textbook. Irkutsk; 2018. 102 p. (In Russ).
5. Arstamyán OM, Tkachishin VS, Aleksiichuk AYu. Modern poisonous substances as a terrorist threat to society. *Emergency Medicine*. 2016;(2):11–20. (In Russ).
6. Melnichenko OG. Ricin as a possible bioterrorist weapon and its impact on the cardiovascular system. *Student Bulletin*. 2022;(10-3):24–25. (In Russ).
7. Odinets SI. Biometric analysis of cotyledon leaves of castor seedlings. *Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oilseed Crops NAAS*. 2018;(26):60–71. (In Russ). doi: 10.36710/ioc-2018-26-07
8. Volkova AA, Kalekin RA, Orlova AM. Detection of Clobazam and its metabolite in urine by high performance liquid chromatography with tandem mass spectrometric detection in case of poisoning. *Russian Journal of Forensic Medicine*. 2022;8(4):47–55. (In Russ). doi: 10.17816/fm705
9. Kalekin RA, Moskaleva NE, Volkova AA, Orlova A.M., Markin P.A., Nevmyatova S.R., Appolonova S.A. Determination of zaleplon and clobazam by high performance liquid chromatography – high resolution tandem mass spectrometry using Orbitrap technology. *Forensic Medical Expertise*. 2022;65(2):24–28. (In Russ). doi: 10.17116/sudmed20226502124

ОБ АВТОРАХ	AUTHORS' INFO
* Калёкин Роман Анатольевич , д-р фарм. наук; адрес: Российская Федерация, 125284, Москва, ул. Поликарпова, д. 12/13; ORCID: 0000-0002-4989-3511; eLibrary SPIN: 2473-7421; e-mail: himija@rc-sme.ru	* Roman A. Kalekin , Dr. Sci. (Pharm.); address: 12/13 Polikarpov street, 125284 Moscow, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-4989-3511; eLibrary SPIN: 2473-7421; e-mail: himija@rc-sme.ru
Барсегян Самвел Сережаевич , канд. фарм. наук; ORCID: 0000-0001-6234-4253; eLibrary SPIN: 1261-1536; e-mail: himija@rc-sme.ru	Samvel S. Barsegyan , Cand. Sci. (Pharm.); ORCID: 0000-0001-6234-4253; eLibrary SPIN: 1261-1536; e-mail: himija@rc-sme.ru
Волкова Алла Андреевна , канд. фарм. наук; ORCID: 0000-0002-9882-2330; e-mail: himija@rc-sme.ru	Alla A. Volkova , Cand. Sci. (Pharm.); ORCID: 0000-0002-9882-2330; e-mail: himija@rc-sme.ru
Орлова Алевтина Михайловна , канд. фарм. наук; ORCID: 0000-0002-5419-1418; eLibrary SPIN: 7685-2315; e-mail: himija@rc-sme.ru	Alevtina M. Orlova , Cand. Sci. (Pharm.); ORCID: 0000-0002-5419-1418; eLibrary SPIN: 7685-2315; e-mail: himija@rc-sme.ru
* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author	

Таблица 1. Характеристики веществ-маркеров рицина

Table 1. Characteristics of Ricin marker substances

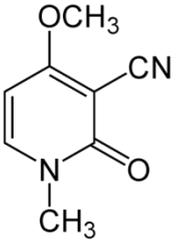
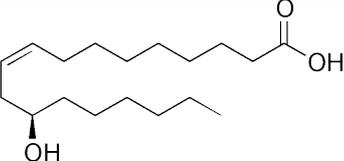
Вещество-маркер	Структурная формула	Химическая формула	Моноизотопная масса
Рицинин		$C_8H_8O_2N_2$	164.0585
Рицинолевая кислота		$C_{18}H_{34}O_3$	298.2507

Таблица 2. Программа градиентного элюирования

Table 2. Gradient Elution program

Время, мин	Фаза А, %	Фаза В, %
0	99	1
1	99	1
4	79	21
8	71	29
13	36	64
15	1	99
17,1	1	99
17,3	99	1
19	99	1

Таблица 3. Параметры хроматографирования методом газовой хроматографии в сочетании с тандемной масс-спектрометрией

Table 3. Parameters gas chromatography coupled with tandem mass spectrometry Chromatography

Аналитическая колонка	Agilent HP 5-MS (30 м × 0,25 мм × 0,25 мкм)		
МС/МС режим			
Газ. носитель (Carrier gas)	Гелий		
Режим (Mode)	Неразделённый (Splitless)		
Время без разделения (Splitless time)	0,90 мин		
Расход при разделении (Split flow)	50,0 мл/мин		
Программа градиентного повышения температуры			
№	Температура, °С/мин	Температура, °С	Время, мин
0	-	50	3,00
1	10,0	310	12,00
Параметры работы источника ионизации			
Тип ионизации	Электрораспыление		
Температура линии передачи в МС (MS transfer line)	200°С		

temp)	
Температура источника ионов (Ion source temp)	200°C
Поток газа в режиме ХИ (CI gas flow)	1,00 мл/мин

Таблица 4. Органолептические и физико-химические показатели касторового масла**Table 4.** Organoleptic and physico-chemical parameters of castor oil

Наименование показателя	Характеристика и нормы	Метод испытания
Прозрачность	Прозрачное, без мути	По ГОСТ 5472
Запах и вкус	Запах слабый, вкус своеобразный, свойственный рафинированному касторовому маслу	По ГОСТ 5472
Цвет	Не темнее светло-жёлтого	По ГОСТ 5472
Растворимость при 20°C	Полная	По ГОСТ 5483
Плотность при 20°C, г/см ³	0,948–0,96 К	По ГОСТ 3900
Кислотное число, мг КОН/г, не более	1,5	По ГОСТ 5476
Число омылений, мг КОН/г	176–186	По ГОСТ 5478
Массовые доли влаги и летучих веществ, %, не более	0,15	По ГОСТ 11812
Йодное число, мг J ₂ /100 г	82–88	По ГОСТ 5475 (метод Кауфмана)

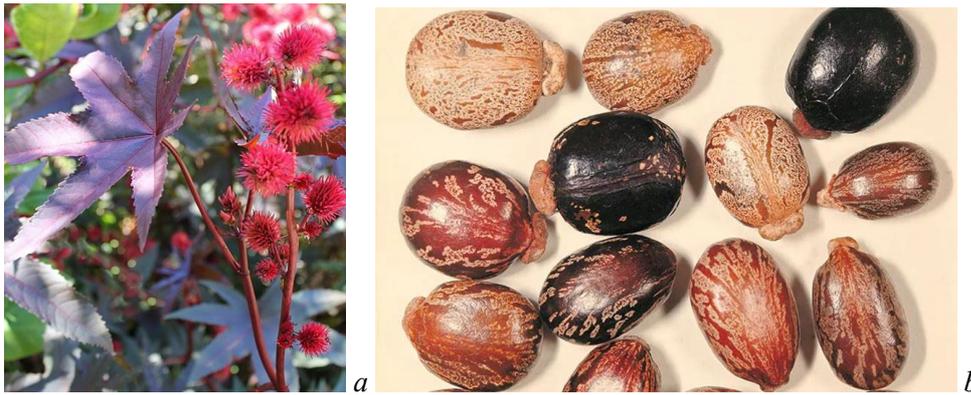


Рис. 1. Клещевина обыкновенная (a) и семена клещевины (b).
Fig. 1. Castor is a shrub (a) and seeds (b).

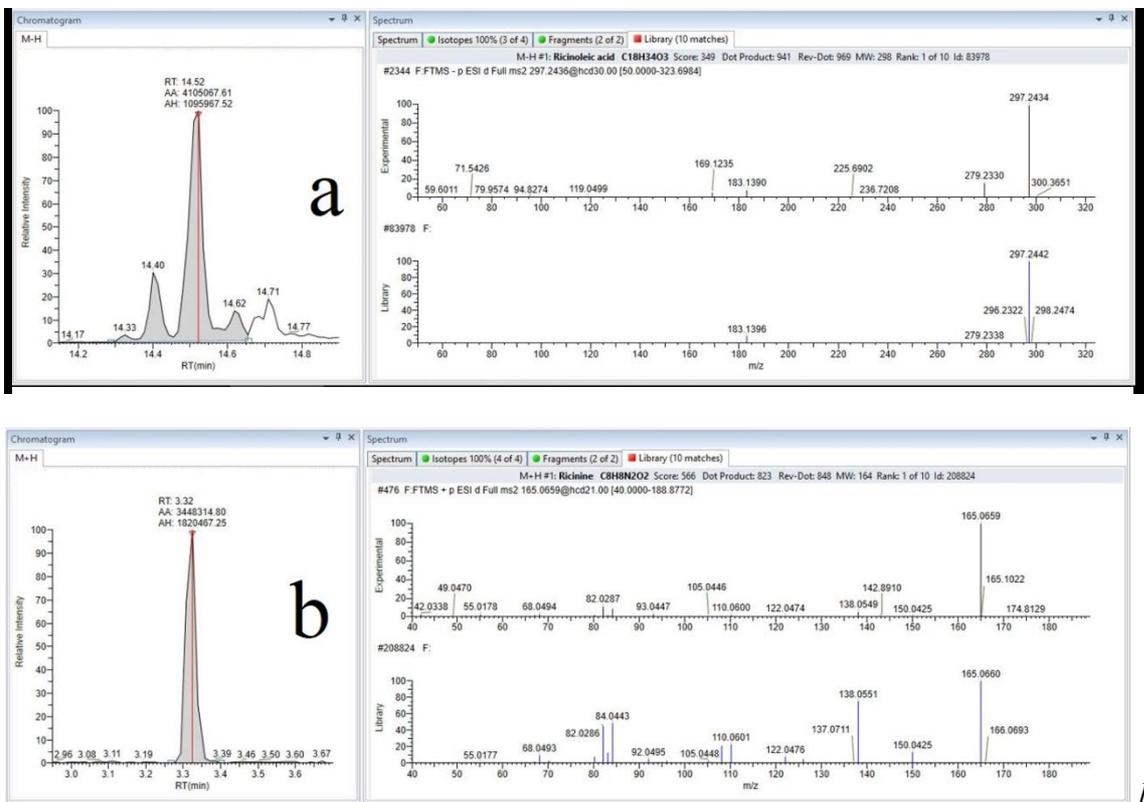


Рис. 2. Фрагмент хроматограммы и спектрограмма рицинолевой кислоты (a) и рицинина (b) в извлечении из крови методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в сочетании с тандемной масс-спектрометрией.
Fig. 2. Chromatogram fragment and spectrogram of ricinolic acid (a) and ricinin (b) in blood extraction by high-performance liquid chromatography tandem mass spectrometry

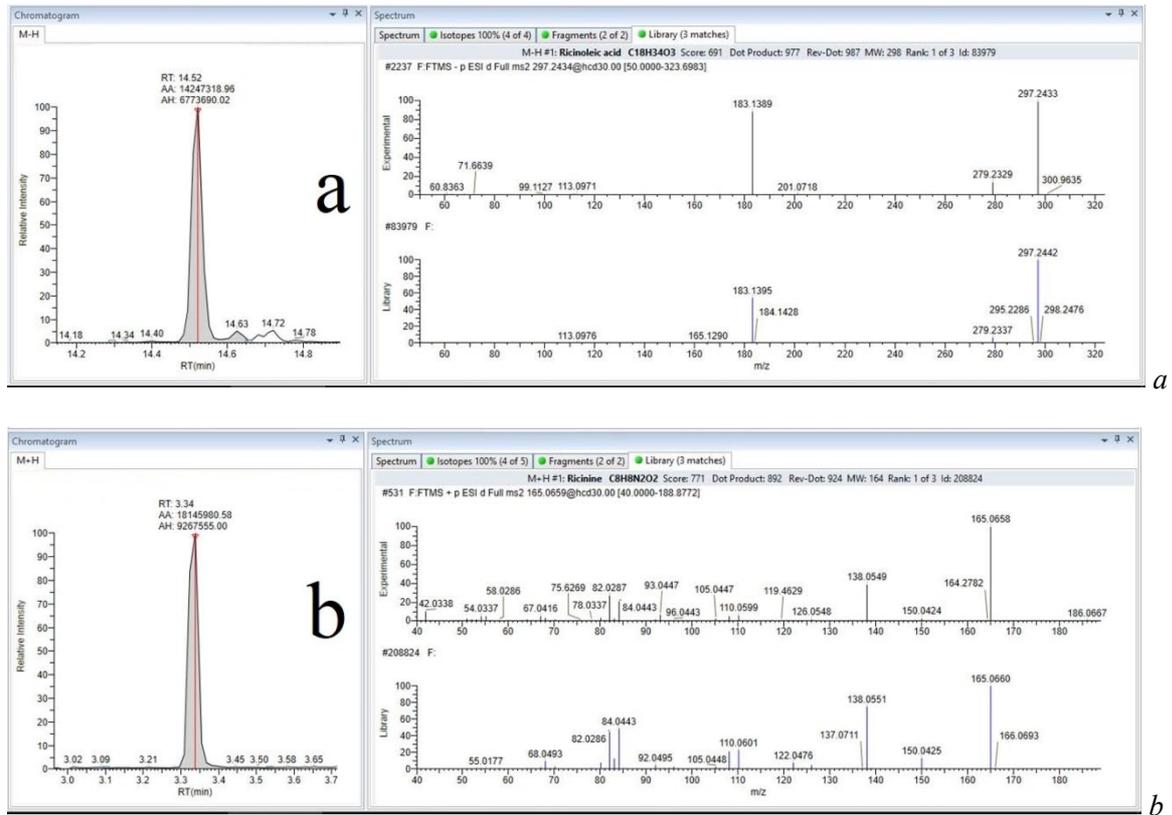


Рис. 3. Фрагмент хроматограммы и спектрограмма рицинолевой кислоты (a) и рицинина (b) в извлечении из мочи методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в сочетании с тандемной масс-спектрометрией.

Fig. 3. Fragment of chromatogram and spectrogram of ricinolic acid (a) and ricinin (b) in urine extraction by high-performance liquid chromatography tandem mass spectrometry

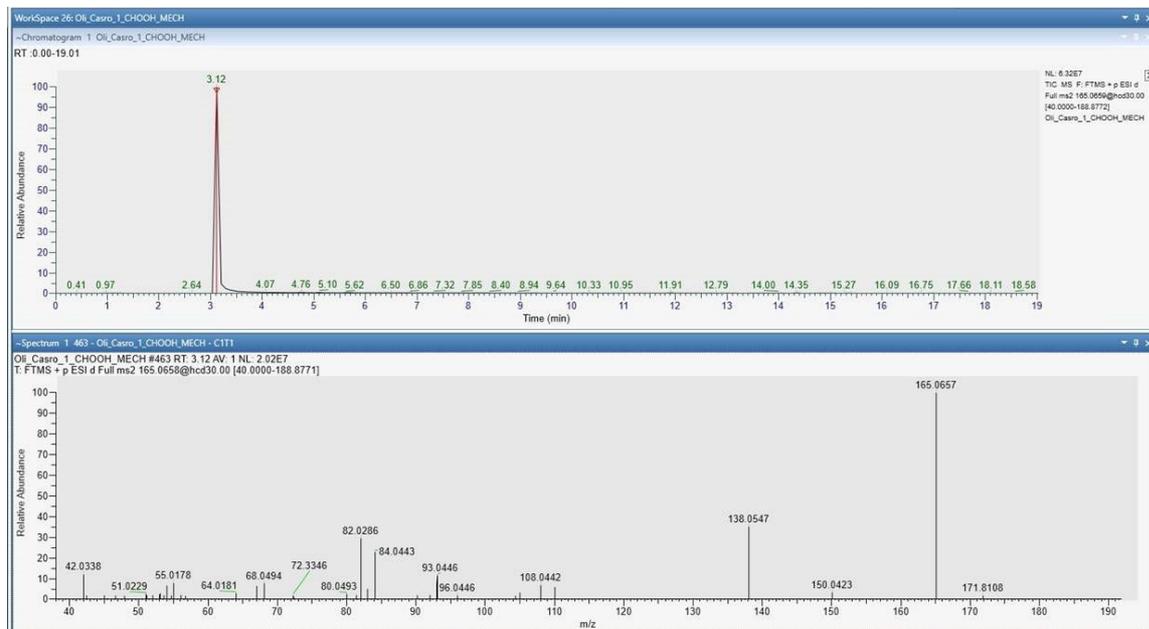


Рис. 4. Хроматограмма и MS/MS-спектрограмма рицинина в извлечении из касторового масла методом газовой хроматографии в сочетании с тандемной масс-спектрометрией.

Fig. 4. Chromatogram and MS/MS spectrogram of ricinin in castor oil extraction by gas chromatography coupled with tandem mass spectrometry.

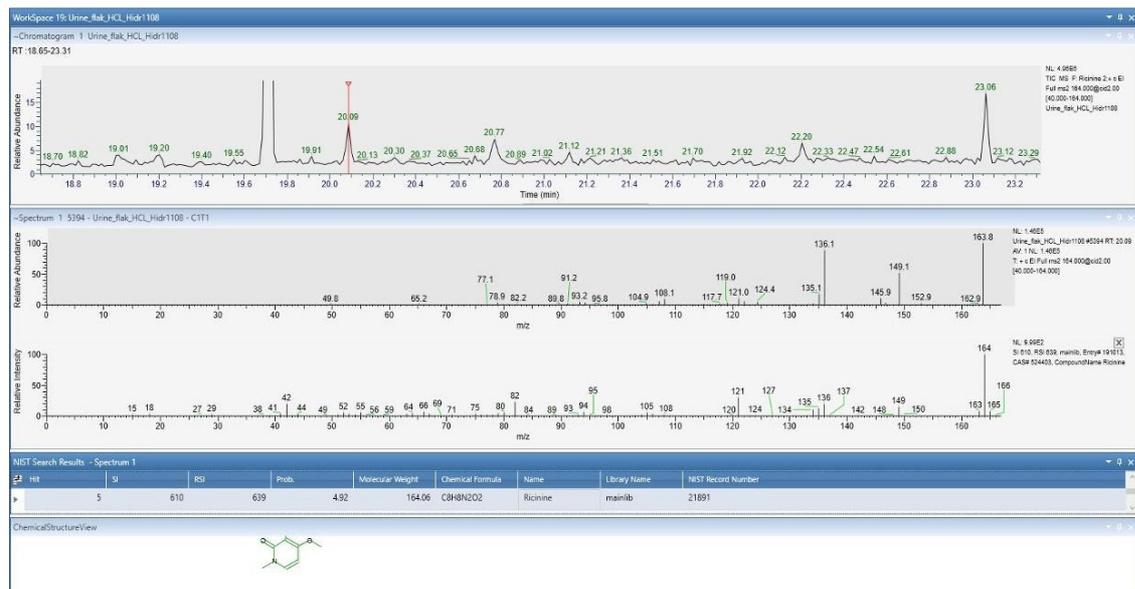


Рис. 5. Фрагмент хроматограммы и спектрограмма ризицина из извлечения из мочи методом газовой хроматографии в сочетании с тандемной масс-спектрометрией.

Fig. 5. Fragment of chromatogram and spectrogram of ricinin from urine extraction by gas chromatography coupled with tandem mass spectrometry.