









Н.П. Антонова 
С.Д. Кахраманова  
С.Д. Алиджанова 
С.С. Прохвятилова 
Е.П. Шефер 

Алкалоиды термопсиса: обзор методов количественного определения

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Научный центр экспертизы средств медицинского применения»
Министерства здравоохранения Российской Федерации,
Петровский б-р, д. 8, стр. 2, Москва, 127051, Российская Федерация

✉ Кахраманова Сабина Джейхуновна; kahramanovasd@expmed.ru

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Основными алкалоидами травы термопсиса ланцетного являются термопсин (N-метилцитизин), пахикарпин и анагинин; в семенах преобладает цитизин, применяемый для лечения табачной зависимости. Различия в токсичности и фармакологической активности индивидуальных алкалоидов требуют не только контроля их общей суммы, но и мониторинга содержания каждого из алкалоидов.

ЦЕЛЬ. Оценка перспективности применения отдельных аналитических методов для количественного определения алкалоидов термопсиса.

ОБСУЖДЕНИЕ. Фармакопейный титриметрический метод является трудоемким, длительным, недостаточно точным, поскольку определение конечной точки титрования сопряжено с существенной погрешностью; требует использования токсичных растворителей и может быть применен только для определения суммы алкалоидов без их дифференциации. Спектрофотометрические методы не позволяют надежно определять индивидуальные алкалоиды из-за недостаточной селективности (наложение спектров отдельных алкалоидов), результаты чувствительны к условиям пробоподготовки. Наиболее надежными инструментальными методами качественного и количественного анализа травы термопсиса являются тонкослойная хроматография и высокоэффективная жидкостная хроматография.






ВЫВОДЫ. В фармакопейном анализе для разделения и количественного определения индивидуальных алкалоидов (цитизина и термопсина), а также для идентификации примесей семян термопсиса в лекарственных препаратах, не предназначенных для лечения табачной зависимости, могут быть использованы методы тонкослойной и высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Ключевые слова: термопсис ланцетный; стандартизация; лекарственное растительное сырье; хроматография; тонкослойная хроматография; ВЭЖХ; трава; семена; высокоэффективная жидкостная хроматография; титриметрия; спектрофотометрия; количественный анализ; алкалоиды; цитизин; термопсин

Для цитирования: Антонова Н.П., Кахраманова С.Д., Алиджанова С.Д., Прохвятилова С.С., Шефер Е.П. Алкалоиды термопсиса: обзор методов количественного определения. *Регуляторные исследования и экспертиза лекарственных средств*. 2025;15(6):692–700. <https://doi.org/10.30895/1991-2919-2025-15-6-692-700>

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУ «НЦЭСМП» Минздрава России № 056-00001-25-00 на проведение прикладных научных исследований (номер государственного учета НИР 124022200096-0).

Потенциальный конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Natalia P. Antonova 
Sabina D. Kakhramanova 
Sultana D. Alidzhanova 
Svetlana S. Prokhvatilova 
Elena P. Shefer 

Quantitation Methods of Thermopsis Alkaloids: A Review

Scientific Centre for Expert Evaluation of Medicinal Products,
8/2 Petrovsky Blvd, Moscow 127051, Russian Federation

✉ Sabina D. Kakhramanova; kakhramanovsd@expmed.ru

ABSTRACT

INTRODUCTION. The major alkaloids of *Thermopsis lanceolata* (R. Br.) herb are thermopsine (N-methylcytisine), pachycarpine, and anagyrene, while the seeds predominantly contain cytisine used to treat tobacco addiction. Differing toxicity and pharmacological activity of separate alkaloids requires both control of their total content and monitoring of each individual alkaloid.

AIM. This study aimed to prospectively assess the use of certain analytical methods for quantitation of Thermopsis alkaloids.

DISCUSSION. Pharmacopoeial titrimetric method is labour-intensive, time-consuming, has low detection accuracy of the test solution at the titration endpoint, uses toxic solvents, and, most importantly, only determines the sum of alkaloids without differentiating them. Spectrophotometric methods as well do not allow for the reliable determination of individual alkaloids due to the lack of selectivity (spectral overlap for certain alkaloids), and the determination depends heavily on the sampling conditions. So far, the most reliable instrumental methods for Thermopsis herb assay are thin-layer chromatography (TLC) and high-performance liquid chromatography (HPLC).

CONCLUSIONS. TLC and HPLC methods can be used in pharmacopoeial analysis to isolate and quantify individual alkaloids (identify cytisine and thermopsine), as well as to identify the impurities from Thermopsis seeds in medicinal products not intended for the treatment of tobacco addiction.

Keywords: *Thermopsis lanceolata*; standardization; herbal medicinal products; chromatography; thin-layer chromatography; TLC; herb; seeds; high-performance liquid chromatography; HPLC; titrimetry; spectrophotometry; assay; alkaloids; cytisine; thermopsine

For citation: Antonova N.P., Kakhramanova S.D., Alidzhanova S.D., Prokhvatilova S.S., Shefer E.P. Quantitation methods of thermopsis alkaloids: A review. *Regulatory Research and Medicine Evaluation*. 2025;15(6):692–700. <https://doi.org/10.30895/1991-2919-2025-15-6-692-700>

Funding. The study was conducted by the Scientific Centre for Expert Evaluation of Medicinal Products as part of publicly funded research project No. 056-00001-25-00 (R&D Registry No. 124022200096-0).

Disclosure. The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Трава термопсиса ланцетного (*Thermopsis lanceolata* R. Br.) широко применяется в медицине в качестве отхаркивающего средства [1, 2]. Фармакологическая активность этого лекарственного растительного сырья (ЛРС) обусловлена комплексом биологически активных соединений, основную долю которых составляют хинолизидиновые алкалоиды. В траве термопсиса ланцетного, заготовленной в период с начала цветения до плодоношения, преобладающим алкалоидом является термопсин (N-метилцитизин), обуславливающий отхаркивающий эффект. Кроме термопсина в траве содержатся алкалоиды пахикарпин и анагинин, а также сапонины и дубильные вещества. Основным действующим веществом семян термопсиса ланцетного

является алкалоид цитизин, применяемый в качестве средства для лечения табачной зависимости [3–5].

В Российской Федерации и ряде стран СНГ фармакопейным методом количественного определения суммы алкалоидов термопсиса остается титриметрия¹, которая, несмотря на свою доступность, обладает рядом существенных недостатков: не позволяет определять содержание индивидуальных алкалоидов, является трудоемким и длительным методом, имеет недостаточно высокую точность, требует использования большого количества токсичных органических растворителей. Фармакологическая активность и токсичность отдельных алкалоидов термопсиса значительно различаются, поэтому

¹ ФС.2.5.0096.18 Термопсиса ланцетного трава. Государственная фармакопея Российской Федерации. XIV изд. Т. 4. М.; 2018.

критически важны разработка и внедрение высокоселективных, точных и воспроизводимых инструментальных методик количественного определения содержания индивидуальных соединений, а не только контроля их суммы [6].

Цель работы – оценка перспективности применения отдельных аналитических методов для количественного определения индивидуальных алкалоидов термопсиса.

Для анализа, оценки и обоснования перспективы применения современных инструментальных методов количественного определения алкалоидов термопсиса осуществлялся поиск научной литературы с использованием библиографических баз данных eLIBRARY.RU, Scopus, с помощью поискового инструмента Google Scholar с 2020 г. по настоящее время по ключевым словам «*Thermopsis lanceolata*», «HPLC», «TLC», «thermopsine determination», «cytisine determination», «трава термопсиса ланцетного», «алкалоиды термопсиса».

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Характеристика лекарственного растительного сырья и препаратов термопсиса

Термопсис (*Thermopsis* sp.) – род многолетних травянистых растений (включает около 30 видов) с характерным внешним видом: прямые ветвистые многочисленные стебли; очередные тройчатые листья; желтые крупные цветки, собранные в верхушечные кисти. Цветение с апреля по май, плоды – бобы продолговато-эллиптической формы, созревают к началу августа [7, 8]. Наиболее значимый в медицине вид – термопсис ланцетный (*Thermopsis lanceolata* R. Br.) [9, 10], произрастает на территории Сибири, Дальнего Востока, Китая, Монголии [11]. Трава термопсиса ланцетного содержит хинолизидиновые алкалоиды, сесквитерпены, лигнаны, изофлавоны, птерокарпаны [12, 13] и является официальным ЛРС в Российской Федерации. Сырье заготавливают с начала цветения до появления плодов². Монографии на ЛРС термопсиса в ведущих мировых фармакопеях отсутствуют³.

Фармакологическая активность травы термопсиса ланцетного обусловлена комплексом

хинолизидиновых алкалоидов, среди которых ключевую роль играют термопсин (основной маркер травы), цитизин (основной маркер семян), пахикарпин (D-спартеин), анагинин и метилцитизин [14]. Цитизин обладает выраженным рефлекторным действием на дыхательный центр (агонист никотиновых рецепторов) [15], а термопсин и пахикарпин оказывают прямое стимулирующее действие на гладкую мускулатуру бронхов, обеспечивая мощный отхаркивающий эффект.

На территории Российской Федерации зарегистрировано 5 лекарственных растительных препаратов на основе травы термопсиса ланцетного, выпускаемых более чем 10 производителями (табл. 1)⁴. Все зарегистрированные препараты относятся к фармакотерапевтической группе препаратов, применяемых при кашле и простудных заболеваниях (отхаркивающие средства).

Контроль качества травы термопсиса ланцетного

Стандартные методы контроля качества травы термопсиса ланцетного основываются на способности алкалоидов вступать в реакцию нейтрализации с кислотами с образованием солей. После экстракции из растительной матрицы и очистки от нейтральных и кислых примесей сумма алкалоидов количественно определяется измерением массы их нерастворимых комплексов (гравиметрия) либо методом кислотно-основного титрования (титриметрия).

Титриметрия является основным фармакопейным методом контроля качества травы термопсиса ланцетного, позволяющим определять содержание суммы алкалоидов в пересчете на термопсин. Основные этапы методики: экстракция (выделение и экстракция алкалоидов в органический слой), очистка (промывка хлороформного извлечения водным раствором аммиака с целью удаления веществ неалкалоидной природы, которые также могут быть оттитрованы щелочным титрантом, что приведет к завышению результата), отгонка растворителя и растворение полученного остатка в хлористоводородной кислоте (для перевода оснований алкалоидов в соли), обратное титрование (титрование избытка хлористоводородной кислоты раствором натрия гидроксида в присутствии метилового красного)⁵.

² Там же.

³ Pharmacopoeia of the People's Republic of China. Vol. I. Beijing; 2015; European Pharmacopoeia. 11th ed. Strasbourg; 2025; British Pharmacopoeia. V. 4. London; 2018; Japanese Pharmacopoeia. 16th ed. Tokyo; 2006; Государственная фармакопея Республики Беларусь. II изд. Т. 2. Молодечно; 2016; United States Pharmacopoeia. USP41-NF36. Rockville; 2024; Indian Pharmacopoeia. New Delhi; 2010; Государственная фармакопея Республики Казахстан. Астана; 2015.

⁴ <https://grls.rosminzdrav.ru/Default.aspx>

⁵ ФС.2.5.0096.18 Термопсиса ланцетного трава. Государственная фармакопея Российской Федерации. XIV изд. Т. 4. М.; 2018.

Таблица 1. Лекарственные растительные препараты на основе термопсиса ланцетного травы, зарегистрированные на территории Российской Федерации

Table 1. Russian pharmaceutical market of *Thermopsis lanceolata* R. Br. herb preparations

Торговое наименование <i>Trade name</i>	Международное непатентованное наименование <i>International non-proprietary name</i>	Лекарственная форма <i>Dosage form</i>	Производитель <i>Company</i>
Термопсиса сироп с солодкой <i>Thermopsis syrup with licorice</i>	Термопсиса ланцетного экстракт жидкий, солодки корней экстракт сухой, калия бромид, натрия бензоат, аммония хлорид <i>Thermopsis lanceolata liquid extract, licorice roots dry extract, potassium bromide, sodium benzoate, ammonium chloride</i>	Сироп <i>Syrup</i>	ЗАО «ВИФИТЕХ» <i>VIFITEH</i>
Амтерсол® <i>Amtersol®</i>	Аммония хлорид+Калия бромид+Натрия бензоат+Солодки корней экстракт+Термопсиса ланцетного травы экстракт <i>Ammonium chloride+Potassium bromide+Licorice root extract+Thermopsis lanceolata herb extract</i>	Сироп <i>Syrup</i>	ООО «Дансон-РУ» <i>Danhson-RU</i>
Коделак® Бронхо <i>Codelac® Broncho</i>	Амброксол+Натрия гидрокарбонат+Натрия глицирризинат+Термопсиса ланцетного травы экстракт <i>Ambroxol+Sodium hydrocarbonate+Sodium benzoate+Sodium glycyrrhizinate+Thermopsis lanceolata herb extract</i>	Таблетки <i>Tablets</i>	АО «Отисифарм Про» <i>OTCPharm Pro</i>
Микстура от кашля для взрослых сухая <i>Dry cough mixture for adults</i>	Аммония хлорид+Натрия бензоат+Натрия гидрокарбонат+Солодки корней экстракт+Термопсиса ланцетного травы экстракт <i>Ammonium chloride+Sodium benzoate+Sodium hydrocarbonate+Licorice root extract+Thermopsis lanceolata herb extract</i>	Порошок для приготовления раствора для приема внутрь <i>Powder for oral solution</i>	ОАО «Ивановская фармацевтическая фабрика»; ЗАО «ФП Мелиген»; ЗАО «Московская фармацевтическая фабрика»; ООО «Тульская фармацевтическая фабрика»; ЗАО «ВИФИТЕХ»; ООО «ЛЮМИ» <i>Ivanovo Pharmaceutical Factory; FP Meligen; Moscow Pharmaceutical Factory; Tula Pharmaceutical Factory; VIFITEH; LUMI</i>
Таблетки от кашля; «Термопсол®» таблетки от кашля; Таблетки от кашля «Реневал» <i>Cough tablets; Thermopsol® cough tablets; Renewal cough tablets</i>	Термопсиса ланцетного трава+[Натрия гидрокарбонат] <i>Thermopsis lanceolata herb+[Sodium hydrocarbonate]</i>	Таблетки <i>Tablets</i>	ООО «Формула-ФР»; ЗАО «ВИФИТЕХ»; ООО «ЮжФарм»; ООО «Микфетин»; ОАО «Фармстандарт-Томскхимфарм»; АО «ПФК Обновление»; АО «Татхимфармпрепараты»; АО «Усолье-Сибирский химфармзавод»; ОАО «ДАЛЬ-ХИМФАРМ»; ЗАО «Московская фармацевтическая фабрика» <i>Formula-FP; VIFITEH; YuzhPharm; Mikfetin; Pharmstandard-Tomskhimpharm; PFK Renewal; Tatchempharmpreparaty; Usolie-Sibirskoye Chimpharmzavod; DALKHIMPHARM; Moscow Pharmaceutical Factory</i>

Таблица составлена авторами по данным Государственного реестра лекарственных средств / The table was adapted by the authors from the State Register of Medicines

К основным преимуществам титриметрического определения можно отнести относительную простоту и доступность. Однако такой способ стандартизации является недостаточным в случае стандартизации ЛРС, морфологические группы которого содержат сильнодействующие биологически активные соединения с различающейся активностью и токсичностью.

Другим методом, используемым в анализе алкалоидов термопсиса, является **спектрофотометрия (СФМ)**. Прямая спектрофотометрия позволяет количественно определить содержание цитизина и термопсина благодаря способности

алкалоидов поглощать свет в ультрафиолетовой области спектра. Максимумы поглощения цитизина и термопсина близки: максимумы поглощения цитизина отмечены при длине волны 240–250 и 305–310 нм, а термопсин имеет сходный спектр с незначительными батохромными и гипсохромными сдвигами [16]. Для повышения селективности и чувствительности анализа применяются реакции алкалоидов с кислыми красителями (например, бромтимоловый синий) с образованием устойчивых окрашенных ион-ассоциатов, которые экстрагируются в органическую фазу [16]. Преимуществами СФМ можно назвать относительную простоту и быстроту

анализа, доступность оборудования, высокую чувствительность. Недостатками, как и в титриметрии, является невозможность дифференциации индивидуальных соединений (определяют сумму алкалоидов), длительная пробоподготовка, наложение спектров других соединений и неспецифичность реакций с красителями. В современной лабораторной практике данный метод используется чаще в качестве экспресс-скрининга, а в арбитражном анализе предпочтение отдается хроматографическим методам, обеспечивающим необходимую селективность [17].

Для полноценной оценки качества, особенно с точки зрения стандартизации отдельных биологически активных веществ, классические методы анализа должны дополняться современными селективными инструментальными методами высокоэффективной тонкослойной хроматографии (ВЭТСХ) и высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ)⁶.

Тонкослойная хроматография (ТСХ). Метод основан на разделении сложной смеси компонентов экстракта термопсиса за счет их различной способности к сорбции на неподвижной фазе и десорбции подвижной фазой (системой растворителей). Идентификация термопсина и цитизина возможна благодаря их поглощению УФ-излучения и дальнейшей визуализации на пластинке с флуоресцентным индикатором в виде темных пятен на зеленом флуоресцирующем фоне. Для повышения специфичности в качестве раствора для обработки пластинки используется реактив Драгендорфа [18].

Для полуколичественного анализа применим метод высокоэффективной ТСХ с денситометрическим детектированием (ВЭТСХ-денситометрия). После хроматографического разделения и обработки пластинки реактивом Драгендорфа проводится сканирование в денситометре. Интенсивность сигнала (площадь пика) пропорциональна количеству вещества в зоне адсорбции, что позволяет оценить содержание цитизина или термопсина по калибровочному графику [19].

ТСХ представляет собой незаменимый скрининговый и качественный метод для стандартизации травы термопсиса [20]. Его ключевыми преимуществами являются наглядность и возможность прямого сравнения многих образцов. Для полуколичественного определения индивидуальных алкалоидов метод ТСХ-денситометрии представляется хорошей альтернативой ВЭЖХ, однако для арбитражного анализа и получения

более точных и воспроизводимых результатов метод ВЭЖХ более предпочтителен.

Капиллярный электрофорез. Смесь алкалоидов разделяют за счет образования при подкислении положительных ионов, мигрирующих к катоду с разной скоростью в зависимости от размера частицы (молекулы), ее заряда и гидрофобности. Для проведения анализа не требуются дорогостоящие реактивы, скорость разделения составляет 15 мин [21]. Основными недостатками метода по сравнению с ВЭЖХ являются относительно низкая чувствительность и производительность, а также сложность проведения анализа при рутинном контроле.

Иммуноферментный анализ (ИФА) — высокоспецифичный метод, основанный на реакции «антиген–антитело». В качестве антигена выступает молекула конкретного алкалоида (например, цитизина) [22, 23]. Алкалоид конъюгируют с белком-носителем и иммунизируют животных для получения специфических антител. Специфические антитела, иммобилизованные на планшете, избирательно связывают только целевой алкалоид из образца. Связывание детектируется вторичными антителами, мечеными ферментом (например, пероксидазой хрена), который катализирует окрашивание субстрата. Интенсивность окраски пропорциональна концентрации определяемого алкалоида [24, 25]. К преимуществам метода можно отнести высокую специфичность и чувствительность, к недостаткам — непригодность для анализа многокомпонентных смесей и высокую стоимость. Метод мог бы найти применение в научных лабораториях, проводящих узкоспециализированные исследования, например по изучению динамики накопления конкретного алкалоида в растении в ответ на различные воздействия без учета остальных компонентов смеси. Однако для стандартизации лекарственного растительного сырья метод малопригоден.

Высокоэффективная жидкостная хроматография основана на разделении компонентов сложной смеси за счет их взаимодействия с подвижной и неподвижной фазами при прохождении образца через хроматографическую колонку. В анализе алкалоидов, как правило, используется обращенно-фазовая ВЭЖХ [26]. После очистки от балластных веществ метод ВЭЖХ позволяет разделить и количественно определить основные алкалоиды травы и семян термопсиса (термопсин, пахикарпин, цитизин

⁶ Чайковская ДЛ, Гавриченко СС. Медицинские аспекты химического производства таблеток от кашля с термопсисом. В кн.: *Химия и жизнь*. Новосибирск: Золотой колос; 2022. С. 452–8.

и др.), что является основным преимуществом метода [27]. Относительная погрешность метода, как правило, не превышает 2%. К преимуществам метода ВЭЖХ относят высокую чувствительность и возможность полной автоматизации. С использованием ВЭЖХ можно установить содержание не только суммы, но и основных индивидуальных алкалоидов (например, термопсина или цитизина), контролируя тем самым стабильность фармакологического действия лекарственных препаратов, содержащих лекарственное растительное сырье термопсиса. Метод ВЭЖХ используется в научной деятельности для поиска новых биологически активных соединений в термопсисе ланцетном и близкородственных видах [13, 26–29].

Для наглядности информация о методах анализа алкалоидов травы термопсиса ланцетного представлена в *таблице 2*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Титриметрия может использоваться в фармакопейном анализе и рутинном контроле, но не обеспечивает полноценной оценки качества травы термопсиса ланцетного; методы ТСХ и СФМ применимы в экспресс-скрининге; КЭ и ИФА не нашли практического применения в рутинном анализе многокомпонентных смесей и могут быть использованы только для узкопрофильных исследований. Для селективного и точного количественного определения индивидуальных алкалоидов

Таблица 2. Сравнительная характеристика методов анализа алкалоидов термопсиса

Table 2. Comparison of analytical methods for *Thermopsis alkaloids*

Метод анализа <i>Method</i>	Принцип метода <i>Principles</i>	Преимущества <i>Advantages</i>	Недостатки <i>Disadvantages</i>	Основная сфера применения <i>Primary use</i>
Титриметрия <i>Titrimetry</i>	Экстракция, очистка, кислотно-основное титрование суммы алкалоидов <i>Extraction, purification, acid-base titration</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Простота; • доступность • <i>Simplicity;</i> • <i>availability</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Невозможность определения отдельных алкалоидов; • трудоемкость и длительность анализа; • нечеткий переход окраски в конечной точке титрования; • недостаточная специфичность; • использование токсичных растворителей • <i>Inability to identify certain alkaloids;</i> • <i>labour intensity and duration of an analysis;</i> • <i>lack of specificity;</i> • <i>use of toxic solvents</i> 	Рутинный анализ, фармакопейный контроль качества <i>Routine analysis, pharmacopoeial quality control</i>
Спектрофотометрия <i>Spectrophotometry</i>	Измерение поглощения в видимой области спектра алкалоидами или их окрашенными комплексами с красителями <i>Absorption measurement by alkaloids/ alkaloid-colourant complexes in the visible spectrum</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Относительная простота; • относительная доступность; • высокая чувствительность • <i>Relatively simple;</i> • <i>relatively affordable;</i> • <i>highly sensitive</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Не позволяет определять отдельные алкалоиды; • высокие требования к пробоподготовке; • высокая погрешность измерений • <i>Individual alkaloids not identifiable;</i> • <i>high sampling requirements;</i> • <i>inaccuracy of measurements</i> 	Экспресс-скрининг; научные исследования <i>Express screening; scientific research</i>
Тонкослойная хроматография, высокоэффективная тонкослойная хроматография с денситометрическим детектированием <i>Thin-layer chromatography, thin-layer chromatography-densitometry</i>	Разделение на хроматографической пластинке смеси алкалоидов; идентификация после обработки реактивом Драгендорфа; полуколичественное определение денситометром <i>Separation of mixed alkaloids on a chromatographic plate; identification after treating with Dragendorff's reagent</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Наглядность; • возможность одновременного сравнения нескольких образцов; • высокая селективность; • доступная альтернатива ВЭЖХ • <i>Good visualisation;</i> • <i>simultaneous comparison of several samples;</i> • <i>highly selective;</i> • <i>an affordable alternative to high-performance liquid chromatography</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Недостаточная точность количественного определения по сравнению с ВЭЖХ; • трудоемкость денситометрического сканирования • <i>Lack of assay precision compared to high-performance liquid chromatography;</i> • <i>labour-intensive densitometry</i> 	Качественный и полуколичественный анализ; экспресс-скрининг <i>Qualitative and semi-quantitative analysis; express screening</i>

Продолжение таблицы 2

Table 2 (continued)

Метод анализа <i>Method</i>	Принцип метода <i>Principles</i>	Преимущества <i>Advantages</i>	Недостатки <i>Disadvantages</i>	Основная сфера применения <i>Primary use</i>
Высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ) <i>High-performance liquid chromatography</i>	Высокоselectивное разделение в колонке с обращенной фазой с УФ или масс-спектрометрическим детектированием <i>Highly selective separation in the reverse phase column with UV- or mass spectrometry detection</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Высокая селективность, точность и чувствительность; • возможность определения индивидуальных алкалоидов; • возможность разделения сложных смесей • <i>Highly selective, precise and sensitive;</i> • <i>individual alkaloids are identifiable;</i> • <i>chemical compounds can be separated</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Высокая стоимость оборудования; • необходимость очистки испытуемого образца • <i>High equipment cost;</i> • <i>test sample requires purification</i> 	Научные исследования; арбитражный анализ; разработка новых лекарственных препаратов <i>Scientific research; arbitration analysis; development of new medicinal products</i>
Капиллярный электрофорез <i>Capillary electrophoresis</i>	Разделение заряженных частиц (алкалоидов) в капилляре под действием высокого напряжения <i>Separation of charged particles (alkaloids) in a capillary under high voltage</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Высокая эффективность разделения; • высокая скорость анализа; • малый расход реактивов • <i>Highly efficient separation;</i> • <i>high-speed analysis;</i> • <i>low expense of reagents</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Относительно низкая чувствительность; • меньшая воспроизводимость по сравнению с ВЭЖХ; • недостаточная распространенность в рутинном анализе • <i>Relatively low sensitivity;</i> • <i>lower reproducibility compared to high-performance liquid chromatography;</i> • <i>uncommon in the routine analysis</i> 	Научные исследования <i>Scientific research</i>
Иммуноферментный анализ <i>Enzyme-linked immunosorbent assay</i>	Высокоспецифичное определение на основе реакции антиген-антитело для конкретного алкалоида (например, цитизина) <i>Highly-specific determination based on antigen-antibody reaction for a given alkaloid (e.g., cytisine)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Высокая специфичность и чувствительность; • возможность одновременного скрининга большого количества образцов • <i>Highly-specific and sensitive;</i> • <i>multiple samples can be used simultaneously</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Непригодность для анализа многокомпонентных смесей; • крайне высокая стоимость; • непригодность для рутинных анализов • <i>Not applicable in complex compounds;</i> • <i>extremely high cost;</i> • <i>not suitable for routine analysis</i> 	Научные исследования <i>Scientific research</i>

Таблица составлена авторами / The table was prepared by the authors

травы термописа ланцетного наилучшим методом является ВЭЖХ, для полуколичественного определения – ВЭТСХ-денситометрия.

Разработка и внедрение ВЭЖХ-методики анализа алкалоидов термописа ланцетного в фар-

макопейную практику позволит дополнить контроль суммарного содержания алкалоидов анализом индивидуальных соединений, что соответствует общемировым тенденциям стандартизации сильнодействующего ЛРС.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Горелов АВ, Орлова СН, Усенко ДВ и др. Результаты Всероссийского многоцентрового исследования применения комбинированного препарата Коделак® Бронхо у пациентов с продуктивным кашлем. *Инфекционные болезни: Новости. Мнения. Обучение.* 2024;13(4):139–49. Gorelov AV, Orlova SN, Usenko DV, et al. The results of the All-Russian multicenter study of the use of the antitussive drug Codelac®Broncho in patients with productive cough. *Infectious Diseases: News, Opinions, Training.* 2024;13(4):139–49 (In Russ.). <https://doi.org/10.33029/2305-3496-2024-13-4-139-149>
2. Kakhramanova SD, Bokov DO, Rendyuk TD, et al. Evaluation of the nomenclature of herbal expectorants on Russian pharmaceutical market: current status and future prospects. *Systematic Reviews in Pharmacy.* 2020;11(6):196–205. EDN: [SREGOO](https://doi.org/10.33029/2305-3496-2020-11-6-196-205)
3. Liu CF, Tan JG, Wu XY, et al. Isoflavones and stilbenes with antifungal activities from the seeds of *Thermopsis lanceolata* R. Br. *J Agric Food Chem.* 2025;73(19):12014–25. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5c00617>
4. Namdar D, Mulder PP, Ben-Simchon E, et al. New analytical approach to quinolizidine alkaloids and their assumed

- biosynthesis pathways in lupin seeds. *Toxins*. 2024;16(3):163. <https://doi.org/10.3390/toxins16030163>
5. Ning F, Zhu H, Yan H, et al. Separation and purification of quinolyridine alkaloids from seeds of *Thermopsis lanceolata* R. Br. by conventional and pH-zone-refining counter-current chromatography. *J Sep Sci*. 2023;46(16):2300053. <https://doi.org/10.1002/jssc.202300053>
6. Оковитый СВ, Марьюшкина ВС, Суханов ДС, Селизарова НО. Фармакологические подходы к рациональному выбору комбинированных мукоактивных препаратов. *Лечащий врач*. 2020;(12):41–5. Okovity SV, Mar'yushkina VS, Sukhanov DS, Selizarova NO. Pharmacological approaches to the rational choice of combined mucocactive drugs. *Lechaschy Vrach*. 2020;(12):41–5 (In Russ.). <https://doi.org/10.26295/OS.2020.95.33.009>
7. Abdiniyazova GJ, Madiyarova NO. Medicinal value of plants *Thermopsis alterniflora* Regel & Scmalsh. *Journal of Modern Educational Achievements*. 2023;5(5):498–501.
8. Dorjee T, Gao F, Zhou Y. The complete chloroplast genome of *Thermopsis lanceolata*: genome structure and its phylogenetic relationships within the family *Fabaceae*. *Mitochondrial DNA Part B*. 2022;7(12):2076–80. <https://doi.org/10.1080/23802359.2022.2154623>
9. Олейникова ТА. Региональный фармацевтический рынок отхаркивающих лекарственных препаратов: структура и оценка доступности. *Региональный вестник*. 2020;(3):85–7. Oleynikova TA. Regional pharmaceutical market of expectorant drugs: Structure and availability assessment. *Regional Bulletin*. 2020;(3):85–7 (In Russ.). EDN: [ZYZWRY](https://doi.org/10.26295/OS.2020.95.33.009)
10. Рябова ОА. Препараты растительного происхождения, обладающие противокашлевым действием, в ассортименте аптек Иркутской области. В кн.: *Природные соединения и здоровье человека*. Иркутск; 2020. С. 127–30. Ryabova OA. Plant preparations with antitussive effect in the range of pharmacies in the Irkutsk region. In: *Natural compounds and human health*. Irkutsk; 2020. P. 127–30 (In Russ.). EDN: [PPNOME](https://doi.org/10.26295/OS.2020.95.33.009)
11. Grudinskaya LM, Gemejiyeva NG, Karzhaubekova ZZ. The Kazakhstan medicinal flora survey in a leading families volume. *Bulletin of Karaganda University*. 2020;100(4):39–51. <https://doi.org/10.31489/2020bmg4/39-51>
12. Wu XY, Tan JG, Liu CF, et al. Chemical constituents of the herb of *Thermopsis lanceolata* R. Br. and their stimulation of seed germination of *Triticum aestivum* L. *Phytochemistry*. 2025;236:114512. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2025.114512>
13. Zhang P, An Q, Yi P, et al. Thermlanseedlines A–G, seven thermopsine-based alkaloids with antiviral and insecticidal activities from the seeds of *Thermopsis lanceolata* R. Br. *Fitoterapia*. 2022;158:105140. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2022.105140>
14. Zhang P, Zou JB, An Q, et al. Two new cytosine-type alkaloids from the seeds of *Thermopsis lanceolata*. *J Asian Nat Prod Res*. 2022;24(12):1141–9. <https://doi.org/10.1080/10286020.2021.2020759>
15. Wang X, Yang J, Huang P, et al. Cytisine: state of the art in pharmacological activities and pharmacokinetics. *Biomed Pharmacother*. 2024;171:116210. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2024.116210>
16. Bucci AM, Bustos AY, Frias MDLA, Ledesma AE. Characterization of interaction between low-density lipoprotein (LDL) and alkaloid N-methyl cytosine: The potential protective effect on lipid oxidation. *Chemistry Select*. 2025;10(7):e202402990. <https://doi.org/10.1002/slct.202402990>
17. Peng H, Yang F, Luo Y, et al. Identification and content determination of toxic alkaloids in *Aconitum brachypodum*. *Matrix Sci Pharma*. 2023;7(1):17–21. https://doi.org/10.4103/mtsps.mtsps_6_23
18. Gadhvi K, Modi K, Shah M. Quantitative analysis of cytosine in *Thermopsis alterniflora* using high-performance thin-layer chromatography. *Int J Curr Pharm Res*. 2023;15(2):33–5. <https://doi.org/10.22159/ijcpr.2023v15i2.2087>
19. Моргунов ИМ, Антонова НП, Шефер ЕП и др. Применение метода ВЭТСХ-денситометрии в количественном определении суммы алкалоидов термопсиса экстракта сухого. *Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения. Регуляторные исследования и экспертиза лекарственных средств*. 2023;13(2):173–83. Morgunov IM, Antonova NP, Shefer EP, et al. Determination of the total alkaloid content of thermopsis dry extract by HPTLC-densitometry. *Bulletin of the Scientific Centre for Expert Evaluation of Medicinal Products. Regulatory Research and Medicine Evaluation*. 2023;13(2):173–83 (In Russ.). <https://doi.org/10.30895/1991-2919-2023-446>
20. Ibrayev MK, Nurkenov OA, Rakhimberlinova ZB, et al. Synthesis, properties and spatial structure of 4-[(3, 5-Dimethyl-1, 2-oxazol-4-yl) sulfonyl] cytosine. *Plants*. 2022;12(1):137. <https://doi.org/10.3390/plants12010137>
21. Сандрюхина МВ, Никитина ТГ. Определение содержания хинолизидиновых алкалоидов в семенах люпина дикорастущего и термопсиса ланцетного методами капиллярного электрофореза и ВЭЖХ. В кн.: *Разработка лекарственных средств – традиции и перспективы*. Томск; 2021. С. 60–62. Sandryukhina MV, Nikitina TG. Determination of quinolizidine alkaloids in wild lupine and lanceolate *Thermopsis* seeds by capillary electrophoresis and HPLC. In: *Drug development: Traditions and prospects*. Tomsk; 2021. P. 60–62 (In Russ.).
22. Yang Y, Hu L, Chen T, et al. Chemical and biological investigations of antiviral agents against plant viruses conducted in China in the 21st century. *Genes*. 2024;15(12):1654. <https://doi.org/10.3390/genes15121654>
23. Yuan S, Ibrahim IAA, Ren R. Anti-urolithiatic activity of daidzin in ethylene glycol-induced urolithiasis in rats. *Appl Biochem Biotechnol*. 2023;195(2):905–18. <https://doi.org/10.1007/s12010-022-04124-y>
24. Bandopadhyay R, Rathod SSS, Mishra A. Enzyme-linked immunosorbent assay. In: *Analysis of naturally occurring food toxins of plant origin*. CRC Press; 2022. P. 215–44.
25. Li X, Guo L, Sun M, et al. Broad-specificity immunochromatographic strip assay for alkaloids: From hapten design to antibody recognition. *Anal Chem*. 2025;97(34):18509–18. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.5c02224>
26. Jia X, Zhang H, Jiang X, et al. Profiling and quantitation of alkaloids in different parts of *Sophora alopecuroides* L. extracts by high-performance liquid chromatography with electrospray ionisation ion mobility spectrometry detection. *Phytochem Anal*. 2021;32(6):1003–10. <https://doi.org/10.1002/pca.3042>
27. Hoyer C, Ostermann AI, Kappenstein O. Validation of multi-analyte methods for the determination of quinolizidine alkaloids in food and feed with LC-MS/MS—results of a collaborative method validation study. In: *11th International Symposium on recent advances in food analysis*. Prague; 2024.
28. Nowak K, Szpot P, Zawadzki M, Chłopaś-Konowalek A. Method for determination of cytosine in post-mortem biological matrices and its application to two forensic cases. *Forensic Toxicol*. 2025;43(2):385–94. <https://doi.org/10.1007/s11419-024-00710-3>
29. Terzi H, Yildiz M, Yildiz SH, et al. Organ-specific antioxidant capacities and cytotoxic effects of *Thermopsis turcica* extracts in breast cancer. *Istanbul J Pharm*. 2024;54(1):80–8. <https://doi.org/10.26650/IstanbulJPharm.2024.1354832>

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства критериям ICMJE. Наибольший вклад распределен следующим образом: С.Д. Кахраманова — работа с источниками литературы, написание текста рукописи, формулировка выводов; С.Д. Алиджанова — работа с источниками литературы; Н.П. Антонова — концепция работы, участие в формулировании выводов, утверждение окончательной версии рукописи для публикации; С.С. Прохвятилова — работа с источниками литературы, участие в формулировании выводов; Е.П. Шефер — участие в формулировании выводов.

Authors' contributions. All the authors confirm that they meet the ICMJE criteria for authorship. The most significant contributions were as follows. *Sabina D. Kakhramanova* analysed literature data, drafted the manuscript, and formulated conclusions. *Sultana D. Alidzhanova* analysed literature data. *Natalia P. Antonova* conceptualised the study, participated in formulating conclusions, and approved the final version for publication. *Svetlana S. Prokhvatilova* analysed literature data and participated in formulating conclusions. *Elena P. Shefer* participated in formulating conclusions.

ОБ АВТОРАХ / AUTHORS

Антонова Наталия Петровна, канд. биол. наук / **Natalia P. Antonova**, Cand. Sci. (Biol.)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7818-5303>

Кахраманова Сабина Джейхуновна, канд. фарм. наук / **Sabina D. Kakhramanova**, Cand. Sci. (Pharm.)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8160-7829>

Алиджанова Султана Джумалиевна / **Sultana D. Alidzhanova**

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9988-8931>

Прохвятилова Светлана Степановна, канд. фарм. наук / **Svetlana S. Prokhvatilova**, Cand. Sci. (Pharm.)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3278-1994>

Шефер Елена Павловна, канд. фарм. наук / **Elena P. Shefer**, Cand. Sci. (Pharm.)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8389-4799>

Поступила 26.09.2025

После доработки 17.11.2025

Принята к публикации 10.12.2025

Received 26 September 2025

Revised 17 November 2025

Accepted 10 December 2025