

УДК 547.814.5:582.942(470.638)

КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ И НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОВИЛИК (CUSCUTA L.)

© С.Л. Аджиахметова*, Н.М. Дибижева, Д.И. Поздняков, Э.Т. Оганесян

Пятигорский медико-фармацевтический институт – филиал ФГБОУ ВО
ВолгГМУ, пр. Калинина, 11, Пятигорск, 357532, Россия, similla503@mail.ru

В обзоре обобщены данные по систематике, распространению, компонентному составу и основным видам биологической активности повилик (*Cuscuta L.*), наиболее распространенных в России. Доказано, что летучие вещества растений-хозяев играют важную роль для растения-паразита рода *Cuscuta* в выборе своего хозяина. Обнаружена крупномасштабная межрастительная транслокация белков, которая играет важную роль во взаимодействиях между растением-хозяином и повиликой и даже между хозяевами, соединенными мостиком повилики. В настоящее время подробно изучены биологически активные соединения паразитов рода *Cuscuta L.* Разнообразный химический состав напрямую коррелирует с определенными видами фармакологической активности. Обобщены данные по химическому составу основных групп метаболитов *Cuscuta* с указанием конкретных соединений. Основными классами анализируемых объектов явились: флавоноиды, фенольные кислоты, алкалоиды, лигнаны, стероиды, жирные кислоты, полисахариды, гликозиды смол и летучие масла. Разнообразный химический состав напрямую коррелирует с определенными видами фармакологической активности: эстрогенная, гепатопротекторная, цитотоксическая, гипогликемическая, противомикробная, противоопухолевая, антиоксидантная. Также было изучено антифиброзное и антиостеопоротическое действия. Приведенная в обзоре информация показывает, что растения рода *Cuscuta* являются перспективными для дальнейшего изучения.

Ключевые слова: *Cuscuta L.*, компонентный состав, вторичные метаболиты, биологическая активность.

Для цитирования: Аджиахметова С.Л., Дибижева Н.М., Поздняков Д.И., Оганесян Э.Т. Компонентный состав и некоторые особенности биологической активности повилик (*Cuscuta L.*) // Химия растительного сырья. 2025. №3. С. 5–22. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250315253>.

Растительные паразиты – растения, полностью лишенные хлорофилла, живущие на других растениях и получающие от них питательные вещества (облигатные паразиты). К таким биоморфам относятся 32 вида (*Cuscuta epithymum* и еще 8 видов этого рода, *Lathraea squamaria*, *Diphelypaea coccinea*, *Phelipanche ramosa* и еще 6 видов этого рода, *Orobanche coerulescens* и еще 13 видов этого рода) [1].

К стеблевым паразитным растениям относятся все виды повилики, которые прорастают из семян, находящихся в почве. Молодые побеги голопаразита, лишенные листьев, обвивают растение-хозяина, с помощью присосок (гаусторий) проникают в его тело и высасывают питательные вещества и воду, при этом связь с почвой теряется [2, 3]. Гаустории развиваются через 5–6 дней после первого контакта между растением-хозяином и паразитом [4].

Гаустории у повиликовых являются специализированными структурами, обеспечивающими метаболические взаимодействия паразита с хозяином. Процесс развития гаусторий и установления трофической связи повилик с хозяевами впервые предложен для *C. lehmanniana* Л.К. Еленевым в 1952 году [5, 6].

На основании типов клеток и морфологических характеристик у видов *Cuscuta* классифицировали органогенез гаустория на четыре стадии развития [7]. **Фаза инициации:** как только растения *Cuscuta* находят своих хозяев и успешно обвивают их, следующим шагом становится начало инициации гаустории и формирование предгаустории, которая представляет собой незрелую гаусториальную структуру, наблюдаемую до проникновения в ткани хозяина [8]. **Фаза адгезии (прикрепленные гаустории):** предгаустории продолжают расти по направлению к хозяину и образуют адгезивные диски (также известные как опоры или верхний гаусторий) [9]. **Фаза проникновения (вторжение в гаусторий):** развитие гаустория вступает в фазу проникновения (также

* Автор, с которым следует вести переписку.

известную как интрузивная фаза). *Фаза сосудистого соединения (зрелый гаусторий)*: заключительным этапом создания функционального гаустория является установление успешной сосудистой связи между хозяином и паразитом. Поисковые гифы продолжают расти в поисках сосудистых тканей хозяина [10].

G. Engelmann в 1859 г. обобщил данные по 77 видам повилик, а *T.G. Yuncker* в 1932 г. уже указал на существование 158 видов, из которых 25 им ранее были описаны впервые. *А.Л. Тахтаджян* (1987 г.) приводит данные о существовании 170 видов в роде *Cuscuta* L. Описание новых видов повилик продолжается [3, 5, 6].

Ранее предлагалась выделять Повиликовые (*Cuscutaceae Dumort.*) в отдельное семейство, представленное одним родом собственно повилика (*Cuscuta* L.) и объединяющее более 200 видов, широко распространенных во всех странах мира [3, 5, 6, 11].

И.Г. Бейлин считает, что род *Cuscuta* L. следует относить к семейству *Cuscutaceae*, однако современные исследования показали, что род *Cuscuta* L. правильнее относить к семейству Вьюнковые (*Convolvulaceae Juss., nom. cons.*) [12, 13].

С учетом биологических и морфологических особенностей рода *Cuscuta* L., *G. Engelmann* в 1859 г. предложил выделить в нем три подрода: *Grammica* Engelm., *Cuscuta* Engelm., *Monogyna* Engeim [5, 14–18].

В России наиболее распространены около 10 видов повилик. Подрод *Grammica* включает повилику полевую (*C. campestris* Yunck.), китайскую (*C. chinensis* Lam.), Тинео (*C. tinei* Insenga); в подрод *Cuscuta* входят повилика сближенная (*C. approximata* Bob.), льняная (*C. epilinum* Weihe), тимьяновая (*C. epithymum* (L.) L.), европейская (*C. europaea* L.); в подрод *Monogyna* – повилика Леманна (*C. lemanniana* Bunge), хмелевидная (*C. lupuliformis* Krock.), одностолбиковая (*C. monogyna* Vahl) [14, 19–24].

На рисунке 1 представлены фотографии *C. campestris*, произрастающей на верблюжьей колючке обыкновенной (*Alhagi pseudalhagi* (M.Bieb.) Desv.), свекле обыкновенной (*Beta vulgaris* L.), нивянике обыкновенном (*Leucanthemum vulgare* Lam.) в окрестностях с. Новкус-Артезиан Нефтекумского района Ставропольского края. Фотографии выполнены С.Л. Аджиахметовой 11.07.2023 г.

Механизмы взаимодействия между растениями-паразитами рода *Cuscuta* и растениями-хозяевами показаны в работе *M.C. Mescher* с соавторами [25]. Считают, что летучие вещества растений-хозяев играют важную роль в выборе растением-паразитом своего хозяина. Саженцы повилики пятиугольной (*C. pentagona* Engelm.) проявляют тенденцию к направленному росту в сторону томата (*Solanum lycopersicum*), а не пшеницы, демонстрируя способность различать и выбирать летучие вещества от более и менее предпочтительных хозяев. Обнаружено, что три соединения из томата: α -пинен, β -мирцен и β -фелландрен вызывают направленный рост. Установлено, что (Z)-3-гексенилацетат, присутствующий в пшеничной смеси, обладает репеллентными свойствами, чем и объясняется более низкая привлекательность пшеницы для повилики.

Исследовано влияние заражения повиликой на защиту томатов от насекомого свекольная совка (*Spodoptera exigua*) [26]. Зараженные повиликой томаты продуцировали в ответ на повреждение насекомыми только одну треть фитогормона жасмоновой кислоты (рис. 2) в отличие от незараженных растений. Жасмонаты запускают синтез антимикробных и инсектицидных соединений, а также белков, блокирующих пищеварительные ферменты травоядных животных.

Зараженные паразитами растения содержали больше салициловой кислоты, которая, возможно, ингибирует жасмоновую кислоту.

Томат, в отличие от незараженных растений в ответ на повреждения совкой, выделял значительно меньше летучих веществ (α -пинен, β -пинен, β -мирцен, 2-карен, *n*-цимен, β -фелландрен, лимонен, (E)- β -оцимен, линалоол; сесквитерпен β -кариофиллен; и гомотерпен (E,E)-4,8,12-триметил-1,3,7,11-тридекатетраен). Хотя паразитизм ослабил защиту от травоядных, рост насекомых на пораженных паразитами листьях томатов был медленнее. В совокупности эти результаты показывают, что растения-паразиты могут влиять на процесс защиты растений-хозяев от травоядных.

В работе *J.B. Runyon* с соавторами [27] были изучены фитогормоны и жирные кислоты в томатах, пораженных *C. pentagona*. Прикрепление паразита к 10-дневным растениям томата вызвало мало биохимических изменений, но повторное прикрепление через 10 дней вызвало 60-кратное увеличение выработки жасмоновой кислоты, 30-кратное увеличение салициловой кислоты. Паразитизм также вызывал увеличение содержания свободной линоленовой, линоловой кислот и абсцизовой кислот. Эти результаты представляют собой первое документальное подтверждение гормональной передачи сигналов растений, индуцируемой паразитическим растением, и показывают, что реакция томата на *C. pentagona* демонстрирует характеристики, аналогичные реакциям, индуцированным как травоядными, так и патогенами [27].

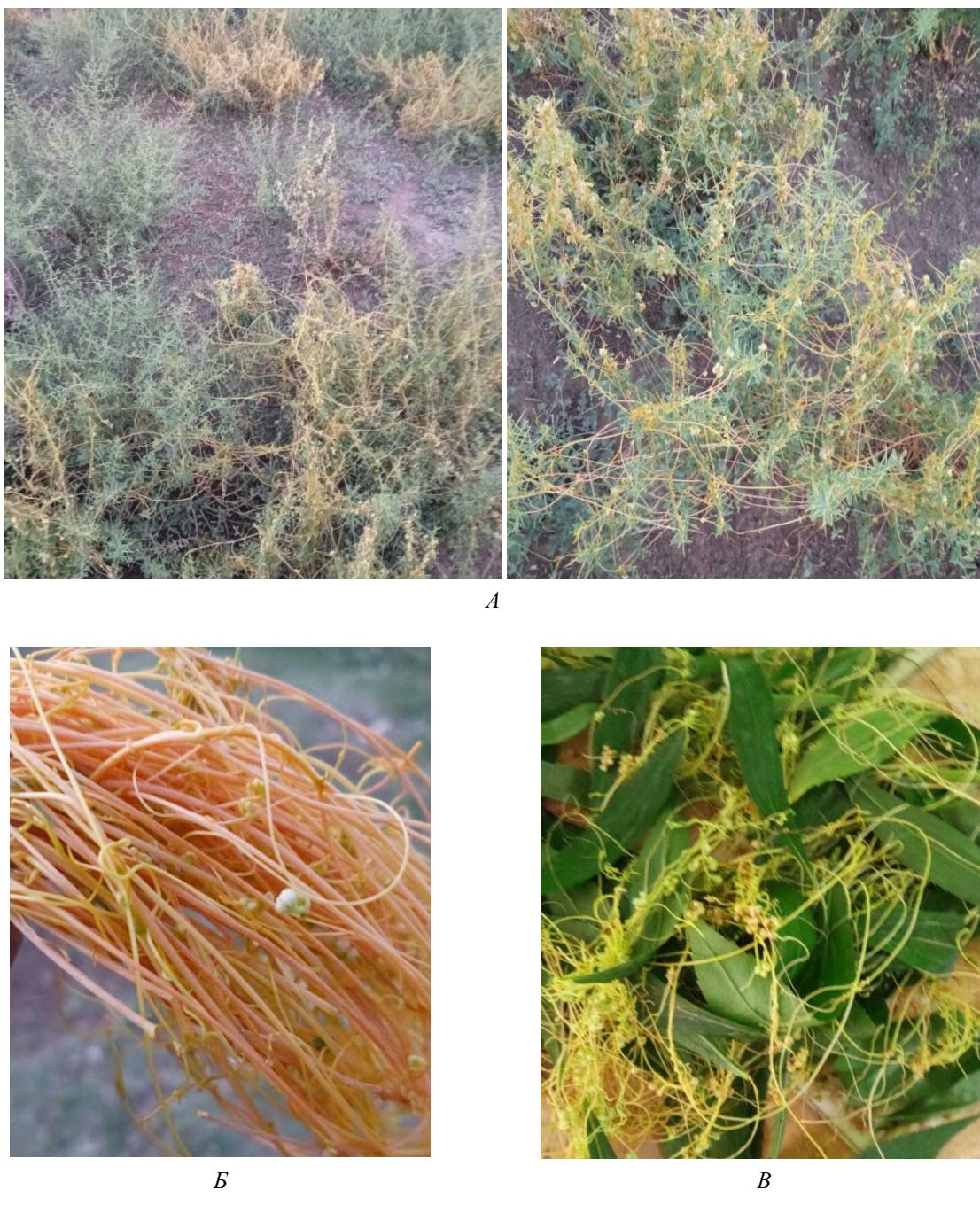


Рис. 1. Внешний вид *C. campestris*, произрастающей на *A. pseudalhagi* (A), *B. vulgaris* (B), *L. vulgare* (B)

Для большинства видов *Cuscuta* на начальной стадии развития характерно очень низкое содержание хлорофилла (стадия проростков). Однако, по мнению ряда авторов, у некоторых видов хлорофилл отсутствует. Хлорофилл способствует подавлению фотосинтетической активности видов *Cuscuta*, что важно на стадии формирования проростков, но недостаточно для удовлетворения потребности растения в питательных веществах. Предполагают, что после прикрепления проростка к хозяину, возможно, происходит деструкция пигментов, и паразит получает питание от хозяина [28, 29].

Проведены цитологические исследования проростков повилики японской (*C. japonica* Choisy), которые показали, что верхушка проростка *C. japonica* характеризуется низким содержанием

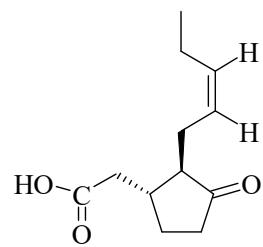


Рис. 2. Структурная формула жасмоновой кислоты

хлорофилла [28]. Полученные данные свидетельствуют о наличии остатков фотосинтетического аппарата у проростков повилики японской, позволяющего довольно длительное время существовать (21–25 дней) до момента прикрепления к хозяину, который, возможно, обеспечивает в небольшой степени потребности проростка в питательных веществах, необходимых для его роста.

R. Švabova с соавторами [30] исследовали стебли на содержание хлорофиллов, культивируемой *in vivo* *C. europaea* (в качестве растения-хозяина был табак (*Nicotiana benthamiana*)). Обнаружено, что 7-дневные сеянцы *C. europaea* накапливают относительно высокие уровни хлорофилла **a** и **b** (обладают признаками фотосинтезирующих растений), однако более старые растения утратили эту способность и не являются фотосинтезирующими. Значительное снижение содержания хлорофиллов и увеличение концентрации каротиноидов наблюдалось только в 30-дневных стеблях повилики. Эти факты подтверждаются наблюдениями электронной микроскопии.

Проведенные исследования показали, что в тканях галла на *C. campestris*, индуцированных долгоносиком (*Smicronyx smreczynskii*), содержится большее количество хлорофилла, чем в стеблях. Для исследования фотосинтетической активности регистрировали индукционные кривые флуоресценции хлорофилла для стебля повилики и галла. Сделано предположение, что галлогенез приводит к увеличению эффективности фотосинтеза за счет увеличения количества реакционных центров фотосистемы II у *C. campestris*. Таким образом, виды *Smicronyx smreczynskii* и *C. campestris* обладают очень сложными на биохимическом уровне симбиотическими связями [31].

Доказали значительную способность макромолекулярного обмена между растением-паразитом рода *Cuscuta* и растениями-хозяевами [32, 33]. Наличие зеленого флуоресцентного белка (GFP) с 238 аминокислотными остатками, экспрессируемым в табаке обыкновенный (*Nicotiana tabacum*) или резуховидку Таля (*Arabidopsis thaliana*), был обнаружен в повилике.

Установлено, что соя культурная (*Glycine max*), трансформированная фосфинотрицинацетилтрансферазой, устойчива к гербициду глюфосинату, и паразитирующая на ней *C. pentagona* тоже проявляла повышенную толерантность к глюфосинату по сравнению с повиликой, выращенной на *Glycine max*, чувствительный к глюфосинату. Содержание фосфинотрицинацетилтрансферазы в анализируемых образцах определяли количественно с помощью набора ELISA [34]:

Гаустории *C. campestris* способствуют двунаправленному перемещению вирусов, белков и миРНК между хозяином и паразитом. МикроРНК *C. campestris* могут мигрировать в *A. thaliana* и вызывать подавление защитных генов, способствуя установлению паразитизма [35].

Была изучена транслокация глюкозинолатов из растения-хозяина *A. thaliana* в паразитические лозы повилики и ее влияние на самого паразита, и на взаимодействие повилики с гороховой тлей (*Acyrthosiphon pisum*). Показатели заселения и выживаемости гороховой тли на лозах повилики были значительно снижены, когда повилика паразитировала на хозяевах, производящих глюкозинолат, по сравнению с хозяевами, не содержащими глюкозинолатов. Системные сигналы, индуцированные питанием насекомыми, передаются от повилики к растениям-хозяевам, а также между различными хозяевами через мостовые связи повилики, вызывая защиту хозяина от насекомых [36].

Обнаружено, что от 100 до более чем 1500 белков переносятся между *Cuscuta* и растениями-хозяевами *A. thaliana* и *G. max*, а сотни межрастительных мобильных белков были обнаружены даже в семенах *Cuscuta*. Более того, когда мостик повилики соединял растения *Arabidopsis* и *Glycine*, между этими двумя хозяевами происходил обмен сотнями различных белков. Используя растения *Arabidopsis*, экспрессирующие различные репортерные белки, способные перемещаться между растениями и, что важно, сохраняют свою активность в чужеродных растениях. Сравнительный анализ межрастительных мобильных белков и мРНК показал, что большинство мобильных белков были транслюцированы из чужеродных растений, но не синтезировались *de novo* из мобильных мРНК. Возможно, крупномасштабная межрастительная транслокация белков может играть важную роль во взаимодействиях между растениями-хозяевами и повиликой и даже между хозяевами, соединенными мостиком повилики [37].

Некоторые виды повилики, например *C. australis*, способны синхронизировать свое цветение с цветением растений – хозяев. Биохимический анализ показал, что сигналы белка (FT) цветущего локуса T, синтезированные хозяином, способны перемещаться в стебли повилики, где они физически взаимодействуют с фактором транскрипции FD повилики, активируя цветение повилики. Белок FT представляет собой мобильный сигнал, который способен перемещаться к верхушке побега, вызывая цветение. Уникальные способы

регуляции цветения повилики иллюстрируют, как регрессивная эволюция, обычно встречающаяся у паразитов, может способствовать физиологической синхронизации паразита и хозяина, позволяя паразиту *C. australis* точно рассчитывать время размножения своих хозяев, что, вероятно, оптимизирует приспособленность паразита [38].

Компонентный состав

В настоящее время подробно изучены биологически активные соединения паразитов рода *Cuscuta* L. [18, 39–41]. Разнообразный химический состав напрямую коррелирует с определенными видами фармакологической активности. Основными классами изученных соединений явились: флавоноиды, фенольные кислоты, алкалоиды, лигнаны, стероиды, жирные кислоты, полисахариды, гликозиды смол и летучие масла, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1. Полифенольные соединения рода *Cuscuta* L.

| № | Название | Вид рода <i>Cuscuta</i> L. | Литературные источники |
|--------------------------------|---|---|------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. Флавоноиды | | | |
| 1.1. Флавонолы | | | |
| 1 | Кверцетин | <i>C. chinensis</i> , <i>C. approximata</i> | 42 |
| 2 | Кемпферол | <i>C. chinensis</i> , <i>C. campestris</i> , <i>C. europaea</i> | 42, 43, 44 45 45 |
| 3 | Мирицетин | <i>C. chinensis</i> , <i>C. campestris</i> , <i>C. europaea</i> | 43, 44 45 45 |
| 1.2. Гликозиды флавоноидов | | | |
| 4 | Рутин | <i>C. chinensis</i> , <i>C. monogyna</i> | 46 47 |
| 5 | Гиперозид | <i>C. chinensis</i> , <i>C. campestris</i> , <i>C. europaea</i> , <i>C. lupuliformis</i> | 43, 48, 49 48 48 50 |
| 6 | Астрагалин | <i>C. chinensis</i> | 49, 51 |
| 7 | Кверцетин-3- <i>O</i> -глюкозид | <i>C. chinensis</i> , <i>C. campestris</i> , <i>C. europaea</i> , <i>C. lupuliformis</i> | 48 |
| 8 | Кверцетин-3- <i>O</i> - β -D-апиофуранозил-(1→2)- β -D-галактозид | <i>C. chinensis</i> | 51, 52 |
| 9 | Кверцетин-3- <i>O</i> - β -D-галактозид-7- <i>O</i> - β -D-глюкозид | <i>C. chinensis</i> | 42, 53 |
| 10 | Кверцетин-3- <i>O</i> -рамнозилгалактозид | <i>C. chinensis</i> | 52, 53 |
| 11 | Кверцетин-3- <i>O</i> -ацетилгалактозид | <i>C. chinensis</i> | 52, 53, 54 |
| 12 | Кемпферол-3- <i>O</i> - β -D-глюкозид | <i>C. chinensis</i> , <i>C. campestris</i> , <i>C. europaea</i> | 40, 55, 56 57 58 |
| 13 | Кемпферол-3- <i>O</i> - β -D-галактозид | <i>C. chinensis</i> | 57 |
| 14 | Кемпферол-3,7-ди- <i>O</i> - β -D-глюкопиранозид | <i>C. chinensis</i> | 59 |
| 15 | Гиперин (3-галактозид-3,5,7,3,4-пентаоксифлавона) | <i>C. chinensis</i> | 60 |
| 16 | Изорамнетин-3- <i>O</i> -глюкозид | <i>C. chinensis</i> | 52 |
| 2. Фенольные кислоты | | | |
| 2.1. Гидроксibenзойные кислоты | | | |
| 17 | Галловая кислота | <i>C. approximata</i> | 56 |
| 2.2. Гидроксикоричные кислоты | | | |
| 18 | <i>n</i> -Кумаровая кислота | <i>C. chinensis</i> | 49, 51 |
| 19 | Кофеинная кислота | <i>C. chinensis</i> , <i>C. monogyna</i> , <i>C. approximata</i> | 49, 51 47 47 |

Окончание таблицы 1

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|--|--|------------------------------------|
| 20 | Хлорогеновая кислота | <i>C. chinensis</i> , <i>C. monogyna</i> , <i>C. approximata</i> , <i>C. campestris</i> , <i>C. europaea</i> | 47, 49, 52 47 47 45 45 |
| 21 | Синаповая кислота | <i>C. campestris</i> <i>C. monogyna</i> | 47 47 |
| 22 | Коричная кислота | <i>C. chinensis</i> | 48 |
| 23 | 4-Каффеоилхинная кислота | <i>C. chinensis</i> | 61 |
| 24 | 5-Каффеоилхинная кислота | <i>C. chinensis</i> | 61 |
| 25 | 4-Каффеоил-5-кумароилхинная кислота | <i>C. chinensis</i> | 54 |
| 26 | Метил-4-гидрокси-3,5-диметоксициннамат | <i>C. chinensis</i> | 56 |
| 27 | 4-Феруоил-5-каффеоилхинная кислота | <i>C. chinensis</i> | 54 |
| 28 | 3,5-Дикаффеоилхинная кислота | <i>C. chinensis</i> | 48 |
| 29 | 3,5-Дикаффеоил-4-феруоилхинная кислота (3-Феруоил-4,5-дикаффеоилхинная кислота) | <i>C. chinensis</i> | 54 |
| 30 | 3,4,5-Трикаффеоилхинная кислота | <i>C. chinensis</i> | 54 |
| 31 | 4,5-Дикаффеоилхинная кислота | <i>C. chinensis</i> | 57 |

Большая часть фитохимических исследований по растениям рода *Cuscuta* посвящены изучению семян. При исследовании семян *C. chinensis* были выделены два новых ацилированных трисахарида, названных **cus-1** (α -L-рамнопиранозил-(1 \rightarrow 3)-[2-O-(11S)-11-гидрокситетрадеканоил]-[4-O-(2R,3R)-3-гидрокси-2-метилбутирил] α -L-рамнопиранозил-(1 \rightarrow 2)-[6-O-ацетил]-D-глюкопираноза) и **cus-2** (α -L-рамнопиранозил-(1 \rightarrow 3)-[2-O-(11S)-11-гидроксигексадеканоил]-[4-O-(2R,3R)-3-гидрокси-2-метилбутирил]- α -L-рамнопиранозил-(1 \rightarrow 2)-[6-O-ацетил]-D-глюкопираноза) вместе со смесью смолоподобных гликозидоподобных соединений. По структуре и биосинтезу они тесно связаны с так называемыми смоляными гликозидами [62, 63].

Лигнаны являются предшественниками фитоэстрогенов и представляют собой димерные соединения фенольной природы, состоящие их двух фенилпропановых фрагментов. Они могут играть роль антифидантов в защите семян и растений от травоядных животных. Лигнаны накапливаются во всех органах и тканях растений. Максимальное накопление лигнанов наблюдается преимущественно в период плодоношения в семенах и плодах, а также в подземных частях – корневищах или корнях [40, 64, 65]. Сведения о наличии лигнанов в *C. chinensis* представлены в таблице 2.

Из семян *C. chinensis* выделены 4 лигнангликозида: 2'-гидроксил азаринин-2'-O- β -D-апиофуранозил-(1 \rightarrow 2)- β -D-глюкопиранозид (кускутозид **A**), 2'-гидроксилазаринин-2'-O- β -D-ксилопиранозил-(1 \rightarrow 6)- β -D-глюкопиранозид (кускутозид **B**), 2'-гидроксилазаринин 2'-O- β -D-глюкопиранозид (кускутозид **C**) и 2'-гидроксилазаринин 2'-O- β -D-апиофуранозил-(1 \rightarrow 2)-[β -D-глюкопиранозил-(1 \rightarrow 6)]- β -D-глюкопиранозид (кускутозид **D**) [18, 39, 49, 51, 61, 67].

Таблица 2. Лигнаны *C. chinensis*

| № | Название | Литературные источники |
|----|---|------------------------|
| 1 | 2,3',4,4',5-Пентагидрокси-7,9':7',9-диэпоксилигнан; (7R,7'S,8R,8'R)-форма 3',4':4,5-бис(метилен) эфир, 2-O- [β -D-ксилопиранозил-(1 \rightarrow 6)- β -D-глюкопиранозид] | 39, 66 |
| 2 | 20-гидроксилазаринин 20-O- β -D-глюкопиранозид | |
| 3 | 20-Гидроксилазаринин-20-O- β -D-апиофуранозил-[(1 \rightarrow 2)- β -D-глюкопиранозил-(1 \rightarrow 6)- β -D-глюкопиранозид] | 39, 61 |
| 4 | D-Сезамин | |
| 5 | 9(R)-Гидрокси-D-сезамин | |
| 6 | 9 α -Гидрокси-D-сезамин-9-O-глюкозид | |
| 7 | 9 α -Гидрокси-D-сезамин-O-глюкозид | |
| 8 | 4-Метил-3-метокси-9 α -гидроксилигнанол-O-глюкозид | |
| 9 | Пиперитол-4-O-глюкозид | |
| 10 | (+)-Пинорезинол-4-O-глюкозид | |
| 11 | D-Пинорезинол-4-O-глюкозид | |
| 12 | (+)-Пинорезинол Кускута | |
| 13 | (+)-Эпинорезинол | |
| 14 | D-Пинорезинол | 39, 69, 70 |

Из щелочных гидролизатов не растворимого в эфире смоляного гликозида были выделены четыре новые кускутиновые кислоты **A–D** [18, 40, 51], а из спиртового экстракта семян *C. chinensis* получены три лигнана: кускутарезинол **A**, кускутарезинол **B**, кускутарезинол **C** (рис. 3) [18, 67].

Из экстракта семян *C. chinensis* был выделен новый смоляной гликозид – кускутический резинозид A (11S)-гидроксигексадекановая кислота 11-O- α -L-(4-O-2R,3R-нилилрамнопиранозил)-(1 \rightarrow 2)-O- α -L-рамнопиранозил-(1,2-лактон) [67].

Растительные стеролы (стерины) представляют собой стероидные соединения, близкие к холестерину по химическому строению, но имеющие разные конфигурации углеродных боковых цепей C-24. Встречаются в основном в растениях, как структурные компоненты клеточных мембран [71, 72].

При исследовании семян *C. chinensis* обнаружены стеролы: стигмастерол, холестерол, Δ^5 -авеностерол, β -ситостерол, даукостерол (элеутерозид A) (рис. 4) [18, 39, 40, 46, 70].

В *C. chinensis* также идентифицированы пентациклические тритерпеновые соединения (рис. 5) [39, 40, 70].

Из семян паразитического растения *C. europea* выделен гликопротеин (сложные белки, содержащие ковалентно присоединенные (с помощью гликозидной связи) углеводные компоненты), связывающий компонент C3 системы комплемента с молекулярной массой от 27000 до 28000 Да. Его молекула состоит из одной полипептидной цепи [73, 74].

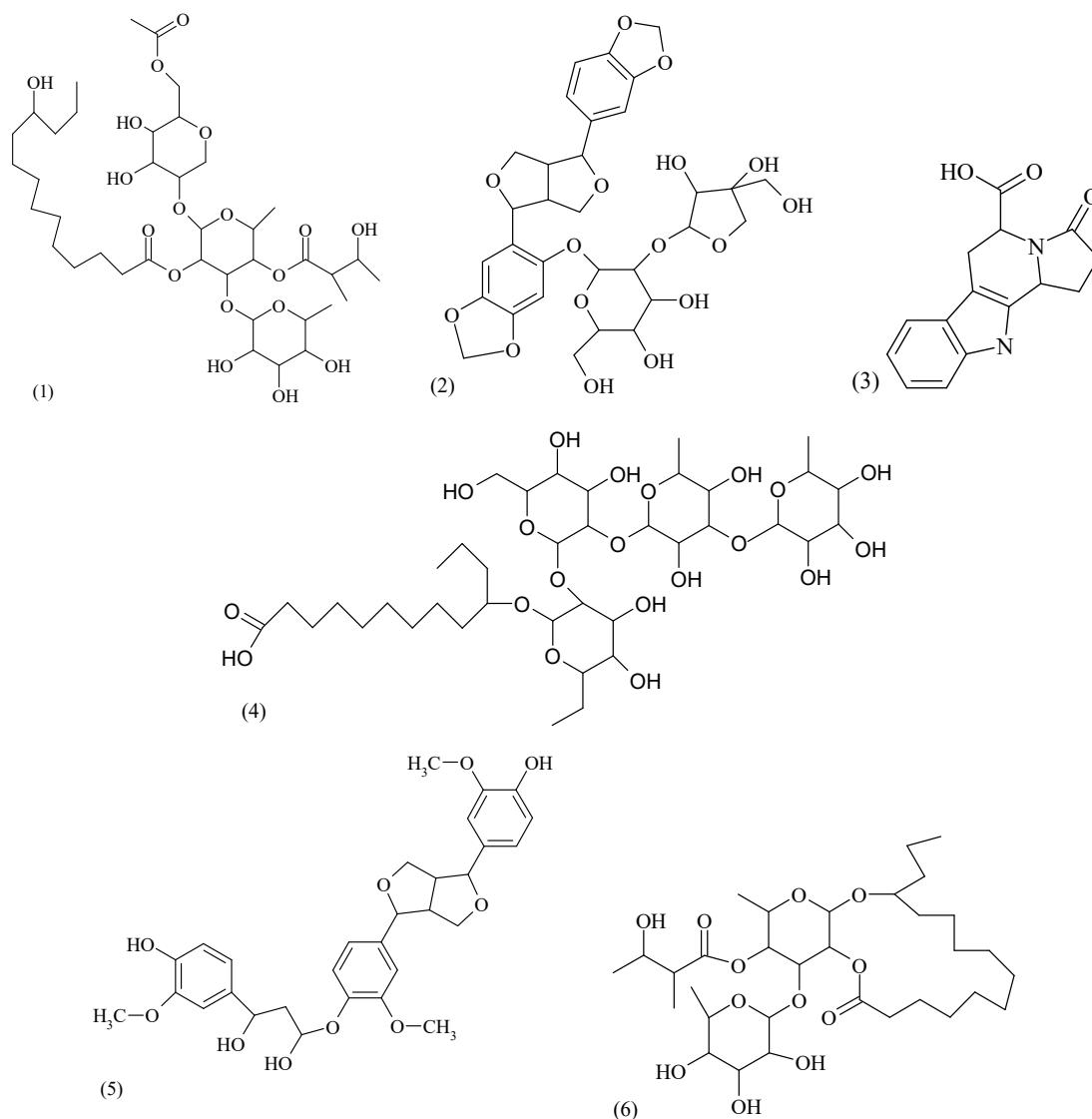


Рис. 3. Структурные формулы cus-1 (1), кускутозида A (2), кукутамина (3), кускутиновой кислоты A (4), кускутарезинола A (5), резинозида A (6)

K.A. Кахаровой с соавторами [75, 76] были выделены и охарактеризованы лектиноподобные глико-протеиды из семян повилики (*C. europea*) путем экстракции солевым раствором с последующим ступенчатым высаливанием сульфатом аммония до конечной концентрации 20 и 50%.

В плодах *C. chinensis* были обнаружены алкалоиды: кускутамин (5S)-3-оксо-2,3,5,6,11,11b-гексагидро-1Н-индолизино[8,7-*b*]индол-5-карбоновая кислота), матрин и агроклавин (рис. 6) [18, 51, 77].

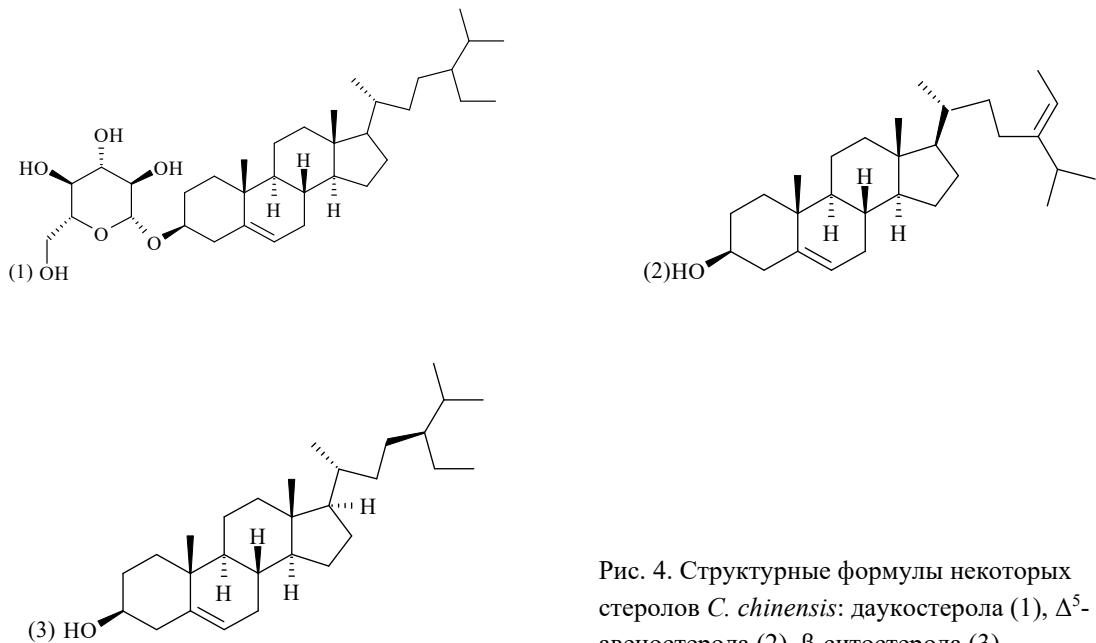


Рис. 4. Структурные формулы некоторых стеролов *C. chinensis*: даукостерола (1), Δ^5 -авеностерола (2), β -ситостерола (3)

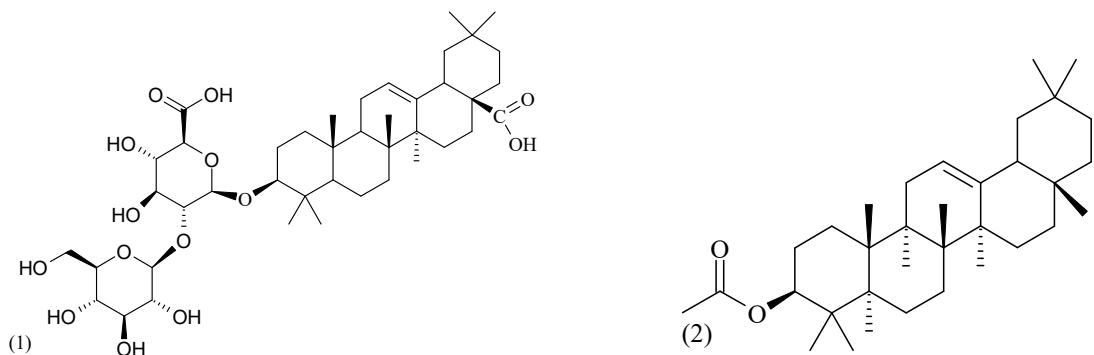


Рис. 5. Структурные формулы зингиброзида R1 (1) и β -амирина ацетата (2)

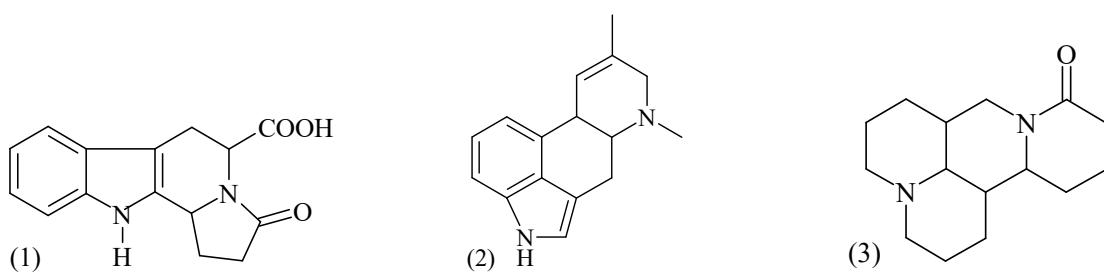


Рис. 6. Структурные формулы кускутамин (1), агроклавин (2) и матрин (3)

Биологическая активность

Эстрогенная активность. В 2005 г. для проверки эстрогенной активности был введен биоанализ высших растений. В этой системе в качестве инструмента для скрининга фитоэстрогенов используется растение *A. thaliana* с репортером pER8:GUS, несущим человеческий эстрогеновый рецептор. Система использовалась для анализа экстрактов разных растений, применяемых при лечении постменопаузального синдрома. Протестированы экстракты из семян *C. chinensis* и в качестве препарата сравнения использовали 17 β -эстрадиол [78].

Доказано, что спиртовое извлечение, полученное из семян *C. chinensis*, обладает эстрогенным действием в концентрации 100 мкг/мл. Данный экстракт последовательно обрабатывали водой и этилацетатом и установили, что этилацетатная фракция проявляет эстрогенную активность в концентрации 100 мкг/мл. Экстракт, полученный с использованием 75% водного метанола, также показывает значительную эстрогенную активность (50 мкг/мл) [67].

Гепатопротекторная активность. Экстракты, полученные из семян *C. chinensis*, при использовании в качестве экстрагента воды очищенной и этанола после лиофильной сушки растворяли в дистиллированной воде перед пероральным введением экспериментальным животным.

Тридцать шесть здоровых самцов крыс породы Wistar-альбиносов возрастом 4 недели и массой 180–200 г были разделены на шесть групп, каждая из которых состояла из шести крыс. Первая группа служила контролем и им перорально вводилась вода очищенная в течение семи дней, а затем внутрибрюшинно вводили изотонический 0.9% раствор NaCl в дозе 10 мл/кг массы тела. Вторая группа служила отрицательным контролем и перорально получала воду очищенную в течение семи дней, а затем внутрибрюшинно ацетаминофен (АРАР) в дозе 835 мг/кг. Группы 3–6 получали водные растворы лиофилизированных порошков *C. chinensis* (в дозе 125 и 250 мг/кг) в течение семи дней, а затем вводили 835 мг/кг АРАР. Через 24 ч интоксикации АРАР крыс подвергали эвтаназии эфиrom [79].

Спиртовые экстракты из семян *C. chinensis* в концентрациях 125 и 250 мг/кг проявляют гепатопротекторный эффект за счет значительного снижения концентрации уровня печеночных ферментов глутамат-оксалоацетат-трансаминазы (GOT), глутамат-пируват-трансаминазы (GPT) и щелочной фосфатазы (ALP) у крыс с гепатоцеллюлярным повреждением модели гепатотоксичности, индуцированной АРАР. Лечение спиртовыми экстрактами *C. chinensis* предотвращал гистопатологические изменения (центрилобулярный печеночный некроз, жировые изменения, купферовы клетки, баллонная дегенерация, и инфильтрирующие лимфоциты). Те же дозы водного экстракта *C. chinensis* не оказывали гепатопротекторного эффекта и приводили к дальнейшему ухудшению состояния печени. Что касается антиоксидантной активности, то спиртовой экстракт *C. chinensis* проявлял значительный эффект ($P<0.05$) за счет повышения активности супероксиддисмутазы (SOD), каталазы (CAT) и глутатионпероксидазы (GPx), а также за счет снижения уровня ма-лонового диальдегида (MDA) [40, 79].

Полученные результаты позволяют предположить, что спиртовой экстракт *C. chinensis* может предотвратить повреждения печени в результате гепатотоксичности, вызванной АРАР у крыс, и, возможно, это опосредовано антиоксидантной активностью экстракта.

Также было изучено антифиброзное действие спиртового экстракта семян *C. chinensis* на клеточных и экспериментальных моделях животных [80].

Жизнеспособность иммортализованных звездчатых клеточных линий печени крысы (HSC-T6), клеточного цикла и апоптоз анализировали с помощью 3-(4,5-диметилтиазол-2-ил)-2,5-дифенил-2Н-тетразолиум бромида (МТТ-теста) для выявления живых клеток. Модель фиброза, индуцированного тиоацетамидом (ТАА), была исследована на крысах Sprague Dawley (n=10). В группах: контроль; ТАА с спиртовым экстрактом *C. chinensis* 10 мг/кг; ТАА с спиртовым экстрактом *C. chinensis* 100 мг/кг; ТАА с силимарином 50 мг/кг. Фиброз моделировали ТАА (200 мг/кг внутрибрюшинно) два раза в неделю в течение 13 недель. Извлечение *C. chinensis* и силимарин вводили перорально два раза в неделю с 7 по 13. Экспрессию генов, связанных с фиброзом (a-SMA, Col1 a1 и TGF-b1), измеряли с помощью полимеразной цепной реакцией в реальном времени. Биомаркеры сыворотки, глутатион (GSH) и гидроксипролин оценивали спектрофотометрически.

Введение спиртового экстракта *C. chinensis* (0.05 и 0.1 мг/мл) и силимарина (0.05 мг/мл) достоверно ($p<0.01$ и $p<0.001$) индуцировал апоптоз (11.56%, 17.52% для спиртового экстракта *C. chinensis*; 16.50% для силимарина соответственно) в активированных клетках HSCT6 по сравнению с контрольной группой

(7.26%). В исследованиях *in vivo* лечение спиртовым экстрактом (10 и 100 мг/кг) значительно улучшало ТАА-индуцированные измененные уровни сывороточных биомаркеров, экспрессию генов, связанных с фиброзом, GSH, гидроксипролином ($p<0.05-0.001$), и уменьшало гистопатологические изменения.

Цитотоксическая активность лектиноподобных гликопротеидов. Из семян *C. Europea*, произрастающей на луговых травах, выделены лектиноподобные белки. Цитотоксический эффект гликопротеидов оценивали МТТ-тестом [76]. Цитотокическое действие на клетки оказывает суммарная фракция белка и фракции, полученные осаждением сульфатом аммония 20 и 50% – 100, 89 и 96% в дозе 100 мкг/мл соответственно. Аналогичные результаты подавления роста клеток получены при подсчете клеток трипановым синим и по определению уровня активности лактатдегидрогеназы (ЛДГ).

Гипогликемическая активность. Из семян *C. europea* выделен новый гликопротеиновый фактор ингибирования комплемента (CIF), который, по-видимому, специфически связывается с компонентом комплемента C3 и представляет собой уникальный инструмент для измерения иммунных комплексов с помощью методов типа ELISA (CIF-ELISA). Данным методом изучены уровни циркулирующих иммунных комплексов (IgG, IgM и IgA) у 58 детей с сахарным диабетом (средний возраст 12.28 ± 4.04 года, длительность диабета 5.3 ± 3.7 года), из них у 29 наблюдались сосудистые осложнения (1-я группа), у остальных – 29 пациентов не было сосудистых осложнений (2-я группа). В качестве контроля исследовали образцы сыворотки крови 21 здорового ребенка (средний возраст 13.54 ± 4.03 года).

В сыворотке пациентов с диабетом наблюдались статистически значимо более высокие уровни циркулирующих иммунных комплексов (ЦИК) IgG ($p=0.03$), чем в сыворотке контрольной группы. В сыворотке группы 1 значения ЦИК IgG показали статистически значимо более высокие уровни, чем в контрольной группе (0.720 ± 0.31 против 0.46 ± 0.045 ; $p=0.011$). Сыворотки 59% пациентов были положительными по ЦИК IgG, 36% – по ЦИК IgM и 9% – по ЦИК IgA. Среди 26 пациентов с микроальбуминурией сыворотки 17/26 (65%) были положительными на ЦИК IgG, 8/26 (31%) – на ЦИК IgM и 2/26 (8%) – на ЦИК IgA. ЦИК IgG коррелировал с HbA1c ($r=0.51$; $p=0.005$) и микроальбуминурией ($r=0.42$, $p=0.033$). ЦИК IgA коррелировал с возрастом ($r=0.44$, $p=0.03$). ЦИК IgM коррелировал с длительностью диабета ($r=0.63$, $p=0.02$).

Эти данные позволяют предположить, что повышения уровня ЦИК IgG связано с развитием ранней диабетической нефропатии у детей с сахарным диабетом 1 типа [81].

Противомикробная активность. Метанольный экстракт стеблей *C. epithymum* характеризуется умеренной антибактериальной активностью в отношении *Bacillus megaterium*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* и *Salmonella typhi* со значениями минимальной ингибирующей концентрации 4.96 ± 0.20 ; 3.03 ± 0.16 ; 3.47 ± 0.20 и 4.07 ± 0.08 мг/мл соответственно [82].

Антиостеопоротическое действие. Yang H.M. с соавторами [83] доказали, что водный экстракт семян *C. chinensis* может способствовать увеличению активности щелочной фосфатазы (ALP), синтеза коллагена и экспрессии костного морфогенетического белка-2 (BMP-2) в остеобластных клетках MG-63 в концентрации 500–1000 г/мл. Эти результаты свидетельствуют о том, что экстракт может играть важную роль в формировании остеобластов кости.

Позже было изучено влияние спиртового экстракта семян *C. chinensis* и выделенных из него соединений (из этилацетатной фракции: кверцетин, кемпферол, изорамнетин; из бутанольной фракции: гиперозид и астрагалин) на активность ALP в клетках остеобластов и пролиферацию остеобластических клеток UMR106.

Спиртовой экстракт может значительно повышать активность ALP клеток UMR-106 в зависимости от концентрации (1–100 г/мл), что указывает на наличие в растении соединений, обладающих антиостеопоротической активностью.

Результаты показали, что как этилацетатная фракция (10 г/мл), так и *n*-бутанольная фракция (50 г/мл) может значительно стимулировать ALP активность ($p<0.001$), тогда как петролейно-эфирная и водная фракции проявляли ингибирующую активность или не проявляли никакой активности.

Следующим этапом было определение ответственных за остеогенную активность соединений, выделенных из спиртового экстракта. Обнаружено, что кемпферол и гиперозид могут быть ответственными за антиостеопоротическое действие в экстракте, так как наблюдалось увеличение активности ALP клеток UMR-106 примерно в 1,6 и 1,5 раза соответственно.

Изучено влияние экстракта и выделенных соединений на пролиферацию остеобластических клеток. Астрагалин (1–10 М) и *n*-бутанольная фракция в низкой концентрации (1 г/мл) могут значительно стимулировать пролиферацию остеобластических клеток UMR-106 [84].

Противоопухолевая активность. В исследовании *Ghazanfari T.* с соавторами [85] оценивается цитотоксический эффект водного экстракта надземной части *C. chinensis* на линию клеток меланомы (SK-MEL-3) и лимфому Беркитта человека (ЛБ). Наибольшее цитотоксическое действие экстракта *C. chinensis* на клеточные линии SK-MEL-3 и ЛБ составило 80 и 81% соответственно по сравнению с контрольной группой. Экстракт *C. chinensis* может использоваться в качестве противоракового средства при лимфоме и меланоме.

В работе *F. Zeraati* с соавторами [86] показано влияние водного экстракта *C. chinensis* на клеточные линии острого лимфобластного лейкоза человека (CCRF-CEM) и Т-лимфобластоподобные клетки человека Jurkat (JM). Цитотоксический скрининг *in vitro* с различными концентрациями (0, 0,1, 1, 10, 25 и 50 мкг/мл) экстракта проводили с использованием МТТ-теста и микроскопически. Минимальная эффективная концентрация экстракта составляла 1 мкг/мл, а увеличение дозы до 10 мкг/мл вызывало все более сильные эффекты. Ингибирующая концентрация 50% (IC50) экстракта против CCRF составляла около 3 мкг/мл через 24 ч и 2,5 мкг/мл через 48 ч. Напротив, в этих дозах экстракт не оказывал цитотоксического действия на клетки JM. Результаты исследования показали, что водный экстракт *C. chinensis* токсичен в отношении опухолевых клеток CCRF-CEM и JM.

Водно-спиртовой экстракт *C. chinensis* способен ингибировать пролиферацию и индуцировать апоптоз в клеточных линиях раковых клеток простаты (PC3) и молочной железы (MCF7). Снижение жизнеспособности клеток PC3 и MCF7 зависело от дозы и времени. Значение IC50 *C. chinensis* было определено как 400 и 200 мкг/мл через 48 и 72 ч в MCF7 и 300 и 200 мкг/мл через 24 и 48 ч в PC3 соответственно. Следовательно, экстракт *C. chinensis* проявляет противоопухолевую активность в отношении раковых клеток [87].

Антиоксидантная активность. Изучено влияние суммы флавоноидов (CCF), полученной из семян *C. chinensis*, на репродуктивное повреждение, вызванное Бисфенолом А (ВРА). Дозы ВРА была 5 мг/кг массы тела/день, а CCF – 40 мг/кг массы тела/день беременности (GD). Яички и сыворотку мышей-самцов собирали на 56-й день постнатального периода (PND56), а сперматозоиды собирали для выявления соответствующих показателей. Результаты показали, что по сравнению с группой ВРА CCF могут значительно увеличивать содержание в сыворотке лютеинизирующего гормона, фолликулостимулирующего гормона и тестостерона у мужчин при PND 56, а также уровни транскрипции эстрогенового рецептора альфа, стероидогенного острого регуляторного белка (StAR) и CYP11A1. Эти результаты позволяют предположить, что CCF могут повышать уровни репродуктивных гормонов и рецепторов у взрослых самцов, регулируя экспрессию факторов, коррелирующих с окислительным стрессом, и в конечном итоге смягчать негативное воздействие ВРА на качество спермы у мышей-самцов [88].

Позже был выявлен механизм облегчения репродуктивного повреждения, вызванного ВРА [89]. CCF продемонстрировали способность уменьшать вызванное ВРА увеличение количества активных форм кислорода и малонового диальдегида. Одновременно повышались уровни глутатиона и каталазы, тем самым эффективно предотвращая перекисное окисление. Таким образом, CCF облегчают повреждение яичников, вызванное ВРА, у потомства самок мышей, регулируя различные метаболические реакции.

Заключение

Обобщены данные по химическому составу основных групп метаболитов *Cuscuta* с указанием конкретных соединений. Результаты изучения фармакологических исследований экстрактов, их фракций и некоторых индивидуальных соединений изученных видов *Cuscuta*, показавших наличие эстрогенной, гепатопротекторной, цитотоксической, противоопухолевой, антиоксидантной и других видов активности, свидетельствуют о необходимости дальнейшего их всестороннего исследования.

Финансирование

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Пятигорского медико-фармацевтического института. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Конфликт интересов

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

Открытый доступ

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

Список литературы

1. Иванов А.Л. Флора Предкавказья и её генезис. Ставрополь, 1998. 290 с.
2. Баздырев Г.И. Сорные растения и меры борьбы с ними в современном земледелии: учебное пособие для вузов. М., 1993. С. 123–125.
3. Никитичева З.И. Семейство повиликовые (*Cuscutaceae*) // Жизнь растений. Цветковые растения. М., 1981. Т. 5-2. С. 389–390.
4. Saini P., Mithal R., Menghani E. A parasitic medicinal plant *Cuscuta reflexa*: an overview // Int. J. Sci. Eng. Res. 2015. Vol. 69, no. 12. Pp. 951–959.
5. Жук А.В. Стратегия повилик (*Cuscuta L.*) во взаимоотношениях с хозяевами: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. СПб, 2000. 22 с.
6. Сосудистые растения советского Дальнего Востока / отв. ред. С.С. Харкевич. СПб, 1995. Т. 7. 395 с.
7. Jhu M.Y., Sinha N.R. *Cuscuta* species: Model organisms for haustorium development in stem holoparasitic plants // Front Plant Sci. 2022. Vol. 13. 1086384. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1086384>.
8. Yoshida S., Cui S., Ichihashi Y., Shirasu K. The Haustorium, a Specialized Invasive Organ in Parasitic Plants // Annu Rev Plant Biol. 2016. Vol. 67. Pp. 643–667. <https://doi.org/10.1146/annurev-aplant-043015-111702>.
9. Vaughn K.C. Attachment of the parasitic weed dodder to the host // Protoplasma. 2002. Vol. 219, no. 3-4. Pp. 227–237. <https://doi.org/10.1007/s007090200024>.
10. Vaughn K.C. Dodder hyphae invade the host: a structural and immunocytochemical characterization // Protoplasma. 2003. Vol. 220, no. 3-4. Pp. 189–200. <https://doi.org/10.1007/s00709-002-0038-3>.
11. WFO (2023): World Flora Online. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.worldfloraonline.org>.
12. Stefanovic S., Krueger, Olmstead L.R.G. Monophyly of the Convolvulaceae and circumscription of their major lineages based on DNA sequences of multiple chloroplast loci // Amer. J. Bot. 2002. Vol. 89. Pp. 1510–1522. <https://doi.org/10.3732/ajb.89.9.1510>.
13. Stefanovic S., Austin D.F., Olmstead R.G. Classification of Convolvulaceae: a phylogenetic approach // Syst. Bot. 2003. Vol. 28. Pp. 791–806. <https://doi.org/10.1043/02-45.1>.
14. Флора европейской части СССР. Л., 1981. Т. 5. 380 с.
15. *Cuscuta* sp. Повилики // Чужеродные виды на территории России [Электронный ресурс]. URL: <http://www.servin.ru/invasive/invasion/plants/dodder.html>.
16. Москаленко Г.П. Каратинные сорные растения России. 2001. 278 с.
17. Никитин В.В. Сорные растения СССР. Л., 1983. 452 с.
18. Noureen S., Noreen S., Ghuman S.A., Batool F., Bukhari S.N.A. The genus *Cuscuta* (Convolvulaceae): An updated review on indigenous uses, phytochemistry, and pharmacology // Iran J. Basic Med. Sci. 2019. Vol. 22, no. 11. Pp. 1225–1252. <https://doi.org/10.22038/ijbms.2019.35296.8407>.
19. Nwokocha M.I., Aigbokhan E.I. Host range and preference of *Cuscuta campestris* (Yunck). among common weeds in Benin city, Nigeria // Niger J. Bot. 2013. Vol. 26. Pp. 1–29.
20. Donnapee S., Li J., Yang X., Ge A.H., Donkor P.O., Gao X.M., Chang Y.X. *Cuscuta chinensis* Lam.: a systematic review on ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacology of an important traditional herbal medicine // J. ethnopharmacol. 2014. Vol. 157. Pp. 292–308. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2014.09.032>.
21. Doyle G.J. *Cuscuta epithymum* (L.) L. (Convolvulaceae), its hosts and associated vegetation in a limestone pavement habitat in the Burren lowlands in county Clare (H9), Western Ireland // Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy. 1993. Pp. 61–67.
22. Anac E., Kaya I., Tepe I. Determination of alfalfa dodder (*Cuscuta approximata* Bab.) damage on alfalfa (*Medicago sativa* L.) grown in Van, Turkey // Proceedings of Joint Workshop of the EWRS Working Groups Weed Management in Arid and Semi-arid Climate and Weed Management Systems in Vegetables. 2011. Pp. 4–8. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0266>.
23. Joshi S.K., Sanjay G. *Cuscuta europaea* Linn. (Dodder plant): an emerging threat to plant diversity of Valley of Flowers // Curr. Sci. 2003. Vol. 84. Pp. 1285–1286.
24. Shimi P., Rezapanah M.R. A study of *Smicronyx robustus* Faust (Curculionidae) as a biological control agent of eastern dodder (*Cuscuta monogyna* Vahl.) // Iran J. Agric. Sci. 1995. Vol. 1. Pp. 43–51.
25. Mescher M.C., Runyon J.B., De Moraes C.M. Plant host finding by parasitic plants: a new perspective on plant to plant communication // Plant Signal Behav. 2006. Vol. 1, no. 6. Pp. 284–286. <https://doi.org/10.4161/psb.1.6.3562>.
26. Runyon J.B., Mescher M.C., De Moraes C.M. Parasitism by *Cuscuta pentagona* attenuates host plant defenses against insect herbivores // Plant Physiol. 2008. Vol. 146, no. 3. Pp. 987–995. <https://doi.org/10.1104/pp.107.112219>.
27. Runyon J.B., Mescher M.C., Felton G.W., De Moraes C.M. Parasitism by *Cuscuta pentagona* sequentially induces JA and SA defence pathways in tomato // Plant Cell Environ. 2010. Vol. 33, no. 2. Pp. 290–303. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02082.x>.

28. Леусова Н.Ю. Особенности экологии растений-паразитов на примере повилики японской (*Cuscuta japonica* Choisy): автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Благовещенск, 2006. 28 с.
29. Chabra A., Monadi T., Azadbakht M., Haerizadeh S.I. Ethnopharmacology of *Cuscuta epithymum*: A comprehensive review on ethnobotany, phytochemistry, pharmacology and toxicity // J. Ethnopharmacol. 2019. Vol. 231. Pp. 555–569. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.10.016>.
30. Švubová R., Ovečka M., Pavlovič A., Slováková L., Blehová A. *Cuscuta europaea* plastid apparatus in various developmental stages: localization of THF1 protein // Plant Signal Behav. 2013. Vol. 8, no. 5. 24037. <https://doi.org/10.4161/psb.24037>.
31. Аникин В.В., Никельшпарг М.И., Никельшпарг Э.И., Конюхов И.В. Фотосинтетическая активность у повилики *Cuscuta campestris* (Convolvulaceae) при заселении растения галлообразователем-долгоносиком *Smicronyx smreczynskii* (Coleoptera, Curculionidae) // Известия Саратовского университета. Сер. Химия. Биология. Экология. 2017. Т. 17, №1. С. 42–47. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2017-17-1-42-47>.
32. Haupt S., Oparka K.J., Sauer N., Neumann S. Macromolecular trafficking between *Nicotiana tabacum* and the holoparasite *Cuscuta reflexa* // J. Exp. Bot. 2001. Vol. 52, no. 354. Pp. 173–177. <https://doi.org/10.1093/jexbot/52.354.173>.
33. Birschwilks M., Sauer N., Scheel D., Neumann S. *Arabidopsis thaliana* is a susceptible host plant for the holoparasite *Cuscuta* spec // Planta. 2007. Vol. 226, no. 5. Pp. 1231–1241. <https://doi.org/10.1007/s00425-007-0571-6>.
34. Jiang L.J., Qu F., Li Z.H., Doohan D. Inter-species protein trafficking endows dodder (*Cuscuta pentagona*) with a host-specific herbicide-tolerant trait // New Phytol. 2013. Vol. 198. Pp. 1017–1022. <https://doi.org/10.1111/nph.12269>.
35. Shahid S., Kim G., Johnson N.R., Wafula E., Wang F., Coruh C., Bernal-Galeano V., Phifer T., dePamphilis C.W., Westwood J.H. et al. MicroRNAs from the parasitic plant *Cuscuta campestris* target host messenger RNAs // Nature. 2018. Vol. 553. Pp. 82–85. <https://doi.org/10.1038/nature25027>.
36. Smith J.D., Woldemariam M.G., Mescher M.C., Jander G., De Moraes C.M. Glucosinolates from host plants influence growth of the parasitic plant *Cuscuta gronovii* and its susceptibility to aphid feeding // Plant Physiol. 2016. Vol. 172. Pp. 181–197. <https://doi.org/10.1104/pp.16.00613>.
37. Liu N., Shen G., Xu Y., Liu H., Zhang J., Li S., Li J., Zhang C., Qi J., Wang L., Wu J. Extensive Inter-plant Protein Transfer between *Cuscuta* Parasites and Their Host Plants // Mol. Plant. 2020. Vol. 13, no. 4. Pp. 573–585. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2019.12.002>.
38. Shen G., Liu N., Zhang J., Xu Y., Baldwin I.T., Wu J. *Cuscuta australis* (dodder) parasites eavesdrops on the host plants' FT signals to flower // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2020. Vol. 117, no. 37. Pp. 23125–23130. <https://doi.org/10.1073/pnas.2009445117>.
39. Ibrahim M., Rehman K., Hussain I., Farooq T., Ali B., Majeed I., Akash M.S.H. Ethnopharmacological Investigations of Phytochemical Constituents Isolated from the Genus *Cuscuta* // Critical Reviews in Eukaryotic Gene Expression. 2017. Vol. 27, no. 2. Pp. 113–150. <https://doi.org/10.1615/CritRevEukaryotGeneExpr.2017019193>.
40. Ahmad A., Tandon S., Xuan T.D., Nooreen Z. A Review on Phytoconstituents and Biological activities of *Cuscuta* species // Biomed Pharmacother. 2017. Vol. 92. Pp. 772–795. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.05.124>.
41. Чиряпкин А.С., Золотых Д.С., Кодониди И.П., Глушко А.А., Щербакова Л.И. Химический состав и биологическая активность вторичных метаболитов *Cuscuta campestris* // Juvenis scientia. 2024. Т. 10, №2. С. 15–33. https://doi.org/10.32415/jscientia_2024_10_2_15-33.
42. Ye M., Li Y., Yan Y., Liu H., Ji X. Determination of flavonoids in Semen *Cuscutae* by RP-HPLC // J. Pharm. Biomed. Analysis. 2002. Vol. 28, no. 3. Pp. 621–628. [https://doi.org/10.1016/s0731-7085\(01\)00672-0](https://doi.org/10.1016/s0731-7085(01)00672-0).
43. Hajimehdipoor H.K., Babak M., Amin G., Reza A., Noushin R.S., Maryam H.D. Development of a validated HPLC method for the simultaneous determination of flavonoids in *Cuscuta chinensis* // J. Pharm. Sci. 2012. Pp. 20–57. <https://doi.org/10.1186/2008-2231-20-57>.
44. Zhan W., Zhisheng H. Studies on the chemical constituents of the seed of chinese dodder (*Cuscuta chinensis*) // Chin. Tradit. Herb. drugs. 1998. Vol. 9. Pp. 115–117.
45. Petra H., Milan Z., Tomas B., Svajdlenka E., Listy C. Newly identified phenolic compounds in parasitic plants *Cuscuta europaea* and *Cuscuta campestris* // Chem. Listy. 2009. Vol. 103, no. 3. Pp. 243–245.
46. Ye M., Yan Y., Ni X., Qiao L. Studies on the chemical constituents of the herba of *Cuscuta chinensis* // J. Chin. Med. Mater. 2001. Vol. 24, no. 5. Pp. 339–341.
47. Jafari E., Bahmanzadegan A., Ghanbarian G., Rowshan V. Antioxidant activity and total phenolic content from aerial parts of three *Cuscuta* species // Anal Chem Lett. 2015. Vol. 5. Pp. 377–384. <https://doi.org/10.1080/22297928.2016.1143394>.
48. Löffler C., Czygan F.C., Proksch P. Phenolic constituents as taxonomic markers in the genus *Cuscuta* (Cuscutaceae) // Biochem. Syst. Ecol. 1997. Vol. 25, no. 4. Pp. 297–303. [https://doi.org/10.1016/s0305-1978\(97\)00015-x](https://doi.org/10.1016/s0305-1978(97)00015-x).
49. Du X.M., Kohinata K., Kawasaki T., Guo Y.T., Miyahara K. Components of the ether-insoluble resin glycoside-like fraction from *Cuscuta chinensis* // Phytochem. 1998. Vol. 48. Pp. 843–850. [https://doi.org/10.1016/s0031-9422\(97\)00990-4](https://doi.org/10.1016/s0031-9422(97)00990-4).
50. Guo H., Li J. Flavonoids of *Cuscuta australis* R. Br // Zhongguo Zhong Yao Za Zhi. 1997. Vol. 22 (1). Pp. 38–62.
51. Yahara S., Domoto H., Sugimura C., Nohara T., Niiho Y., Nakajima Y., Ito H. An alkaloid and two lignans from *Cuscuta chinensis* // Phytochemistry. 1994. Vol. 37, no. 6. Pp. 1755–1757. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)89605-3](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)89605-3).

52. Pan S., Wang X., Duan W., Yu Z., Zhang L., Liu W. Preparative isolation and purification of flavonoids from *Cuscuta chinensis* lam. by high-speed counter current chromatography // *J. Liq. Chromatogr. Relat. Technol.* 2013. Pp. 2162–2171. <https://doi.org/10.1080/10826076.2013.825869>.
53. Xiang S.-X., He Z.-S., Ye Y. Furofuran lignans from *Cuscuta chinensis* // *Chin. J. Chem.* 2001. Vol. 19, no. 3. Pp. 282–285. <https://doi.org/10.1002/cjoc.20010190314>.
54. Ye M., Yan Y., Guo D.A. Characterization of phenolic compounds in the Chinese herbal drug Tu-Si-Zi by liquid chromatography coupled to electrospray ionization mass spectrometry // *Rapid Commun Mass Spectrom.* 2005. Vol. 19, no. 11. Pp. 1469–1484. <https://doi.org/10.1002/rcm.1944>.
55. Pan S., Wang X., Duan W., Yu Z., Zhang L., Liu W. Preparative isolation and purification of flavonoids from *Cuscuta chinensis* Lam. by high-speed countercurrent chromatography // *J. Liq. Chromatog. Relat. Technol.* 2014. Vol. 37, no. 15. Pp. 2162–2167. <https://doi.org/10.1080/10826076.2013.825869>.
56. Kwon Y.S., Chang B.S., Kim C.M. Antioxidative constituents from the seeds of *Cuscuta chinensis* // *Nat. Prod. Sci.* 2000. Vol. 6, no. 3. Pp. 135–138.
57. Othman R., Awang K., Bakar B.B., Leong S.T., Othman M.R., Annuar M.S.M. Allelochemicals in *Cuscuta campestris* 4 Yuncker // The 4th Tropical weed Science Conference. Chiang Mai, Thailand, 2013. Pp. 16–22. <https://doi.org/10.13140/2.1.1708.5763>.
58. Löffler C., Czygan F-C., Proksch P. Phenolic constituents as taxonomic markers in the genus *Cuscuta* (Cuscutaceae) // *Biochem. Syst. Ecol.* 1997. Vol. 25, no. 4. Pp. 297–303. [https://doi.org/10.1016/s0305-1978\(97\)00015-x](https://doi.org/10.1016/s0305-1978(97)00015-x).
59. Teng J.L. *Chinese materia medica*. Beijing, 2007. Pp. 547–548.
60. Li W.-L., Zhang Y., Bai J., Xiang Z., Ding J.-X., Ji Y.-B. Identification of chemical constituents in *Cuscuta chinensis* Usinghplc-ESI/Q-TOF MS/MS // *Bio. Technol.: Indian J.* 2013. Vol. 8, no. 4. Pp. 563–566.
61. He X.-H., Yang W.-Z., Meng A.-H., He W.-N., Guo D.-A., Ye M. Two new lignan glycosides from the seeds of *Cuscuta chinensis* // *J. Asian Nat. Prod. Res.* 2010. Vol. 12, no. 11. Pp. 934–939. <https://doi.org/10.1080/10286020.2010.506434>.
62. Miyahara K., Du X.M., Watanabe M., Sugimura C., Yahara S., Nohara T. Resin glycosides XXIII two novel acylated trisaccharides related to resin glycoside from the seeds of *Cuscuta chinensis* // *Chem. Pharm. Bull.* 1996. Vol. 44, no. 3. Pp. 481–485. <https://doi.org/10.1248/cpb.44.481>.
63. Umehara K., Nemoto K., Ohkubo T., Miyase T., Degawa M., Noguchi H. Isolation of a new 15-membered macrocyclic glycolipid lactone, cuscutic resinoside A from the seeds of *Cuscuta chinensis*: a stimulator of breast cancer cell proliferation // *Planta Med.* 2004. Vol. 70, no. 4. Pp. 299–304. <https://doi.org/10.1055/s-2004-818939>.
64. Hano C.F., Dinkova-Kostova A.T., Davin L.B., Cort J.R., Lewis N.G. Editorial: Lignans: Insights Into Their Biosynthesis, Metabolic Engineering, Analytical Methods and Health Benefits // *Front. Plant Sci.* 2021. Vol. 11. Pp. 4–6. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.630327>.
65. Патент №2354370 (РФ). Новое применение соединений лигнана / Д.-К. Хван, Д.-С. Хан, Ч.-С. Лим, Д. Цзинь, С.-Х. Ли, К.-Л. Хан. – 10.05.2009.
66. Zhan W., Zhisheng H. Studies on the chemical constituents of the seed of chinese dodder (*Cuscuta chinensis*) // *Chin. Tradit. Herb. drugs.* 1998. Vol. 9. Pp. 115–117.
67. Tsai Y.C., Lai W.C., Du Y.C., Wu S.F., El-Shazly M., Lee C.L., Yen M.H., Hou M.F., Wu Ya.C., Chang F.R. Lignan and flavonoid phytoestrogens from the seeds of *Cuscuta chinensis*. // *J. Nat. Prod.* 2012. Vol. 75. Pp. 1424–1431. <https://doi.org/10.1021/np200974e>.
68. Yahara S., Domoto H., Sugimura C., Nohara T., Niiho Y., Nakajima Y., Ito H. An alkaloid and two lignans from *Cuscuta chinensis* // *Phytochemistry.* 1994. Vol. 37, no. 6. Pp. 1755–1757. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)89605-3](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)89605-3).
69. Ye M., Yan Y., Ni X., Qiao L. Studies on the chemical constituents of the herba of *Cuscuta chinensis* // *J. Chin. Med. Mater.* 2001. Vol. 24, no. 5. Pp. 339–341.
70. Sayed S.M.A., Alseekh S., Siems K., Fernie A.R., Luyten W., Schmitz-Linneweber C., Saul N. Identification of a Hydroxygallic Acid Derivative, Zingibroside R1 and a Sterol Lipid as Potential Active Ingredients of *Cuscuta chinensis* Extract That Has Neuroprotective and Antioxidant Effects in Aged *Caenorhabditis elegans* // *Nutrients.* 2022. Vol. 14, no. 19. 4199. <https://doi.org/10.3390/nu14194199>.
71. Федотова В.В. Растительные стеролы и станолы, снижающие уровень холестерина липопротеинов низкой плотности // *Человек и его здоровье.* 2022. Т. 25, №2. С. 97–104. <https://doi.org/10.21626/vestnik/2022-2/10>.
72. MacKay D.S., Gebauer S.K., Eck P.K., Baer D.J., Jones P.J. Lathosterol-to-cholesterol ratio in serum predicts cholesterol-lowering response to plant sterol consumption in a dual-center, randomized, single- blind placebo-controlled trial // *Am. J. Clin. Nutr.* 2015. Vol. 101, no. 3. Pp. 432–439. <https://doi.org/10.3945/ajcn.114.095356>.
73. Zhelev Z.H., Stanilova S., Carpenter B. Isolation, partial characterization and complement inhibiting activity of a new glycoprotein from *Cuscuta europea* // *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 1994. Vol. 202. Pp. 186–196. <https://doi.org/10.1006/bbrc.1994.1911>.
74. Леусова Н.Ю., Некрасов Э.В. Использование видов рода повилика (*Cuscuta* L.) в медицине и биотехнологии // *Бюллетень физиологии и патологии дыхания.* 2004. №19. С. 87–93.
75. Кахарова К.А., Хашимова З.С., Сагдиев Н.Ж. Гликопротеиды паразитирующих растений (*Cuscuta europea*) // Труды международного симпозиума Фундаментальные и прикладные проблемы науки. 2014. Т. 3. С. 122–128.
76. Кахарова К.А., Хашимова З.С., Сагдиев Н.Ж. Лектиноподобные белки повилики: характеристика и биологическая активность // Евразийский Союз Ученых. Биологические науки. 2016. Т. 3, №24. С. 40–43.

77. Garcia R., Pena G., Raul C. Flavonoids and alkaloids from *Cuscuta*, biochemical syst // Biochem. Syst. Ecol. 1995. Vol. 23, no. 5. Pp. 571–572.
78. Chang F.R., Hayashi K., Chua N.H., Kamio S., Huang Z.Y., Nozaki H., Wu Y.C. The transgenic *Arabidopsis* plant system, pER8-GFP, as a powerful tool in searching for natural product estrogen-agonists/antagonists // J. Nat. Prod. 2005. Vol. 68, no. 7. Pp. 971–973. <https://doi.org/10.1021/np050121i>.
79. Yen F.L., Wu T.H., Lin L.T., Lin C.C. Hepatoprotective and antioxidant effects of *Cuscuta chinensis* against acetaminophen-induced hepatotoxicity in rats // J. Ethnopharmacol. 2013. Vol. 111, no. 1. Pp. 123–128. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.11.003>.
80. Kim J.S., Koppula S., Yum M.J., Shin G.M., Chae Y.J., Hong S.M., Lee J.D., Song Min D. Anti-fibrotic effects of *Cuscuta chinensis* with in vitro hepatic stellate cells and a thioacetamide-induced experimental rat model // Pharmaceutical Biology. 2017. Vol. 55, no. 1. Pp. 1909–1919. <https://doi.org/10.1080/13880209.2017.1340965>.
81. Nicoloff G., Blazhev A., Petrova C., Christova P. Circulating immune complexes among diabetic children // Clin. Dev. Immunol. 2004. Vol. 11, no. 1. Pp. 61–66. <https://doi.org/10.1080/10446670410001670517>.
82. Biswas S.K., Chowdury A., Das J., Karmaker U.K. Phytochemical investigation and chromatographic evaluation with antimicrobial and cytotoxic potentials of *Cuscuta epithymum* // Int. J. Pharmacol. 2012. Vol. 8, no. 5. Pp. 422–427. <https://doi.org/10.3923/ijp.2012.422.427>.
83. Yang H.M., Shin H.K., Kang Y.H., Kim J.K. *Cuscuta chinensis* extract promotes osteoblast differentiation and mineralization in human osteoblast-like MG-63 cells // Journal of Medicinal Food. 2009. Vol. 12. Pp. 85–92. <https://doi.org/10.1089/jmf.2007.0665>.
84. Yang L., Chen Q., Wang F., Zhang G. Antiosteoporotic compounds from seeds of *Cuscuta chinensis* // Journal of Ethnopharmacology. 2011. Vol. 135, no. 2. Pp. 553–560. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2011.03.056>.
85. Ghazanfari T., Naseri M., Shams J., Rahmati B. Cytotoxic effects of *Cuscuta* extract on human cancer cell lines // Food Agric. Immunol. 2013. Vol. 24. Pp. 87–94. <https://doi.org/10.1080/09540105.2011.648608>.
86. Zeraati F., Zamani A., Goodarzi M.T., Hashjin S.M.M., Razzaghi K. *In vitro* cytotoxic effects of *Cuscuta chinensis* whole extract on human acute lymphoblastic leukemia cell line // Iran J. Med. Sci. 2015. Vol. 35. Pp. 310–314.
87. Karimi Dermani F., Saidijam M., Najafi R., Moradkhani S., Mohammadzaheri Z., Beiranvand N., Mohammadi S., Shabab N., Kalvandi R., Zeraati F. Cytotoxic effects of hydroalcoholic extract of *Cuscuta chinensis* on PC3 and MCF7 cancer cell lines // Avicenna J. Phytomed. 2021. Vol. 11, no. 3. Pp. 258–268.
88. Zhao Q., Liu Y., Wang X., Zhu Y., Jiao Y., Bao Y., Shi W. *Cuscuta chinensis* flavonoids reducing oxidative stress of the improve sperm damage in bisphenol A exposed mice offspring // Ecotoxicol Environ Saf. 2023. Vol. 255. 114831. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114831>.
89. Zhao Q., Liu Y., Chuo Y., Wang X., Jiao Y., Shi W., Bao Y. *Cuscuta chinensis* flavonoids alleviate ovarian damage in offspring female mice induced by BPA exposure during pregnancy by regulating the central carbon metabolism pathway // Ecotoxicol Environ Saf. 2024. Vol. 275. 116253. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116253>.

Поступила в редакцию 27 мая 2024 г.

После переработки 12 апреля 2025 г.

Принята к публикации 14 мая 2025 г.

Adzhiakhmetova S.L., Dibizheva N.M., Pozdnyakov D.I., Oganesyan E.T. COMPONENT COMPOSITION AND SOME FEATURES OF BIOLOGICAL ACTIVITY OF CUSCUTA L.*

Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute – branch of the Volga State Medical University of the Ministry of Health of Russia, Kalinina Ave., 11, Pyatigorsk, 357532, Russia, similla503@mail.ru

The review summarizes data on the taxonomy, distribution, component composition and main types of biological activity of *Cuscuta* L., the most widespread in Russia. Host plant volatiles have been shown to play an important role for the parasitic plant *Cuscuta* in host selection. Large-scale interplant protein translocation has been discovered that plays an important role in interactions between host plant and dodder and even between hosts connected by a dodder bridge. Currently, biologically active compounds of parasites of the genus *Cuscuta* L. have been studied in detail. The diverse chemical composition directly correlates with certain types of pharmacological activity. Data on the chemical composition of the main groups of *Cuscuta* metabolites are summarized, indicating specific compounds. The main classes of analyzed objects were: flavonoids, phenolic acids, alkaloids, lignans, steroids, fatty acids, polysaccharides, resin glycosides and volatile oils. The diverse chemical composition directly correlates with certain types of pharmacological activity: estrogenic, hepatoprotective, cytotoxic, hypoglycemic, antimicrobial, antitumor, antioxidant. Antifibrotic and antiosteoporotic effects were also studied. The information presented in the review shows that plants of the genus *Cuscuta* are promising for further study.

Keywords: *Cuscuta* L., component composition, secondary metabolites, biological activity.

For citing: Adzhiakhmetova S.L., Dibizheva N.M., Pozdnyakov D.I., Oganesyan E.T. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2025, no. 3, pp. 5–22. (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250315253>.

* Corresponding author.

References

1. Ivanov A.L. *Flora Predkavkaz'ya i yeyo genezis*. [Flora of the Ciscaucasia and its genesis]. Stavropol', 1998, 290 p. (in Russ.).
2. Bazdyrev G.I. *Sornyye rasteniya i mery bor'by s nimi v sovremenном земледелии: uchebnoye posobiye dlya vuzov*. [Weeds and measures to combat them in modern agriculture: a textbook for universities]. Moscow, 1993, pp. 123–125. (in Russ.).
3. Nikiticheva Z.I. *Zhizn' rasteniy. Tsvetkovyye rasteniya*. [Life of plants. Flowering plants]. Moscow, 1981, vol. 5-2, pp. 389–390. (in Russ.).
4. Saini P., Mithal R., Menghani E. *Int. J. Sci. Eng. Res.*, 2015, vol. 69, no. 12, pp. 951–959.
5. Zhuk A.V. *Strategiya povilik (Cuscuta L.) vo vzaimootnosheniakh s khozyayevami: avtoref. diss. ... kand. biol. nauk*. [Strategy of dodder (*Cuscuta L.*) in relationships with hosts: author's abstract. diss. ... candidate of biological sciences]. St. Petersburg, 2000, 22 p. (in Russ.).
6. *Sosudistyye rasteniya sovetskogo Dal'nego Vostoka* [Vascular plants of the Soviet Far East], ed. S.S. Kharkevich. St. Petersburg, 1995, vol. 7, 395 p. (in Russ.).
7. Jhu M.Y., Sinha N.R. *Front Plant Sci.*, 2022, vol. 13, 1086384. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1086384>.
8. Yoshida S., Cui S., Ichihashi Y., Shirasu K. *Annu Rev Plant Biol.*, 2016, vol. 67, pp. 643–667. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-043015-111702>.
9. Vaughn K.C. *Protoplasma*, 2002, vol. 219, no. 3-4, pp. 227–237. <https://doi.org/10.1007/s007090200024>.
10. Vaughn K.C. *Protoplasma*, 2003, vol. 220, no. 3-4, pp. 189–200. <https://doi.org/10.1007/s00709-002-0038-3>.
11. *WFO (2023): World Flora Online*. URL: <http://www.worldfloraonline.org>.
12. Stefanovic S., Krueger, Olmstead L.R.G. *Amer. J. Bot.*, 2002, vol. 89, pp. 1510–1522. <https://doi.org/10.3732/ajb.89.9.1510>.
13. Stefanovic S., Austin D.F., Olmstead R.G. *Syst. Bot.*, 2003, vol. 28, pp. 791–806. <https://doi.org/10.1043/02-45.1>.
14. *Flora yevropeyskoy chasti SSSR*. [Flora of the European part of the USSR]. Leningrad, 1981, vol. 5, 380 p. (in Russ.).
15. *Chuzherodnyye vidy na territorii Rossii* [Alien species in Russia]. URL: <http://www.sevin.ru/invasive/invasion/plants/dodder.html>. (in Russ.).
16. Moskalenko G.P. *Karantinnyye sornyye rasteniya Rossii* [Quarantine weeds of Russia], 2001, 278 p. (in Russ.).
17. Nikitin V.V. *Sornyye rasteniya SSSR*. [Weeds of the USSR]. Leningrad, 1983, 452 p. (in Russ.).
18. Noureen S., Noureen S., Ghumman S.A., Batool F., Bukhari S.N.A. *Iran J. Basic Med. Sci.*, 2019, vol. 22, no. 11, pp. 1225–1252. <https://doi.org/10.22038/ijbms.2019.35296.8407>.
19. Nwokocha M.I., Aigbokhan E.I. *Niger J. Bot.*, 2013, vol. 26, pp. 1–29.
20. Donnapee S., Li J., Yang X., Ge A.H., Donkor P.O., Gao X.M., Chang Y.X. *J. ethnopharmacol.*, 2014, vol. 157, pp. 292–308. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2014.09.032>.
21. Doyle G.J. *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy*. 1993, pp. 61–67.
22. Anac E., Kaya I., Tepe I. *Proceedings of Joint Workshop of the EWRS Working Groups Weed Management in Arid and Semi-arid Climate and Weed Management Systems in Vegetables*, 2011, pp. 4–8. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0266>.
23. Joshi S.K., Sanjay G. *Curr Sci.*, 2003, vol. 84, pp. 1285–1286.
24. Shimi P., Rezapana M.R. *Iran J. Agric. Sci.*, 1995, vol. 1, pp. 43–51.
25. Mescher M.C., Runyon J.B., De Moraes C.M. *Plant Signal Behav.*, 2006, vol. 1, no. 6, pp. 284–286. <https://doi.org/10.4161/psb.1.6.3562>.
26. Runyon J.B., Mescher M.C., De Moraes C.M. *Plant Physiol.*, 2008, vol. 146, no. 3, pp. 987–995. <https://doi.org/10.1104/pp.107.112219>.
27. Runyon J.B., Mescher M.C., Felton G.W., De Moraes C.M. *Plant Cell Environ.*, 2010, vol. 33, no. 2, pp. 290–303. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02082.x>.
28. Leusova N.Yu. *Osobennosti ekologii rasteniy-parazitov na primere poviliki yaponskoy (Cuscuta japonica Choisy): avtoref. diss. ... kand. biol. nauk*. [Peculiarities of ecology of parasitic plants on the example of Japanese dodder (*Cuscuta japonica Choisy*): author's abstract. diss. ... candidate of biological sciences]. Blagoveshchensk, 2006, 28 p. (in Russ.).
29. Chabra A., Monadi T., Azadbakht M., Haerizadeh S.I. *J. Ethnopharmacol.*, 2019, vol. 231, pp. 555–569. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.10.016>.
30. Švubová R., Ovečka M., Pavlovič A., Slováková L., Blehová A. *Plant Signal Behav.*, 2013, vol. 8, no. 5, 24037. <https://doi.org/10.4161/psb.24037>.
31. Anikin V.V., Nikel'shparg M.I., Nikel'shparg E.I., Konyukhov I.V. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Ser. Khimiya. Biologiya. Ekologiya*, 2017, vol. 17, no. 1, pp. 42–47. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2017-17-1-42-47>. (in Russ.).
32. Haupt S., Oparka K.J., Sauer N., Neumann S. *J. Exp. Bot.*, 2001, vol. 52, no. 354, pp. 173–177. <https://doi.org/10.1093/jexbot/52.354.173>.
33. Birschwilks M., Sauer N., Scheel D., Neumann S. *Planta*, 2007, vol. 226, no. 5, pp. 1231–1241. <https://doi.org/10.1007/s00425-007-0571-6>.
34. Jiang L.J., Qu F., Li Z.H., Doohan D. *New Phytol.*, 2013, vol. 198, pp. 1017–1022. <https://doi.org/10.1111/nph.12269>.
35. Shahid S., Kim G., Johnson N.R., Wafula E., Wang F., Coruh C., Bernal-Galeano V., Phifer T., dePamphilis C.W., Westwood J.H. et al. *Nature*, 2018, vol. 553, pp. 82–85. <https://doi.org/10.1038/nature25027>.

36. Smith J.D., Woldemariam M.G., Mescher M.C., Jander G., De Moraes C.M. *Plant Physiol.*, 2016, vol. 172, pp. 181–197. <https://doi.org/10.1104/pp.16.00613>.
37. Liu N., Shen G., Xu Y., Liu H., Zhang J., Li S., Li J., Zhang C., Qi J., Wang L., Wu J. *Mol. Plant.*, 2020, vol. 13, no. 4, pp. 573–585. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2019.12.002>.
38. Shen G., Liu N., Zhang J., Xu Y., Baldwin I.T., Wu J. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2020, vol. 117, no. 37, pp. 23125–23130. <https://doi.org/10.1073/pnas.2009445117>.
39. Ibrahim M., Rehman K., Hussain I., Farooq T., Ali B., Majeed I., Akash M.S.H. *Critical Reviews in Eukaryotic Gene Expression*, 2017, vol. 27, no. 2, pp. 113–150. <https://doi.org/10.1615/CritRevEukaryotGeneExpr.2017019193>.
40. Ahmad A., Tandon S., Xuan T.D., Nooreen Z. *Biomed Pharmacother*, 2017, vol. 92, pp. 772–795. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.05.124>.
41. Chiryapkin A.S., Zolotykh D.S., Kodonidi I.P., Glushko A.A., Shcherbakova L.I. *Juvenis scientia*, 2024, vol. 10, no. 2, pp. 15–33. https://doi.org/10.32415/jscientia_2024_10_2_15-33. (in Russ.).
42. Ye M., Li Y., Yan Y., Liu H., Ji X. *J. Pharm. Biomed. Analysis*, 2002, vol. 28, no. 3, pp. 621–628. [https://doi.org/10.1016/s0731-7085\(01\)00672-0](https://doi.org/10.1016/s0731-7085(01)00672-0).
43. Hajimehdipoor H.K., Babak M., Amin G., Reza A., Noushin R.S., Maryam H.D. *J. Pharm. Sci.*, 2012, pp. 20–57. <https://doi.org/10.1186/2008-2231-20-57>.
44. Zhan W., Zhisheng H. *Chin. Tradit. Herb. Drugs*, 1998, vol. 9, pp. 115–117.
45. Petra H., Milan Z., Tomas B., Svajdlenka E., Listy C. *Chem. Listy*, 2009, vol. 103, no. 3, pp. 243–245.
46. Ye M., Yan Y., Ni X., Qiao L. *J. Chin. Med. Mater.*, 2001, vol. 24, no. 5, pp. 339–341.
47. Jafari E., Bahmanzadegan A., Ghanbarian G., Rowshan V. *Anal Chem Lett.*, 2015, vol. 5, pp. 377–384. <https://doi.org/10.1080/22297928.2016.1143394>.
48. Löffler C., Czygan F.C., Proksch P. *Biochem. Syst. Ecol.*, 1997, vol. 25, no. 4, pp. 297–303. [https://doi.org/10.1016/s0305-1978\(97\)00015-x](https://doi.org/10.1016/s0305-1978(97)00015-x).
49. Du X.M., Kohinata K., Kawasaki T., Guo Y.T., Miyahara K. *Phytochem.*, 1998, vol. 48, pp. 843–850. [https://doi.org/10.1016/s0031-9422\(97\)00990-4](https://doi.org/10.1016/s0031-9422(97)00990-4).
50. Guo H., Li J. *Zhongguo Zhong Yao Za Zhi*, 1997, vol. 22 (1), pp. 38–62.
51. Yahara S., Domoto H., Sugimura C., Nohara T., Niiho Y., Nakajima Y., Ito H. *Phytochemistry*, 1994, vol. 37, no. 6, pp. 1755–1757. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)89605-3](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)89605-3).
52. Pan S., Wang X., Duan W., Yu Z., Zhang L., Liu W. *J. Liq. Chromatogr. Relat. Technol.*, 2013, pp. 2162–2171. <https://doi.org/10.1080/10826076.2013.825869>.
53. Xiang S.-X., He Z.-S., Ye Y. *Chin. J. Chem.*, 2001, vol. 19, no. 3, pp. 282–285. <https://doi.org/10.1002/cjoc.20010190314>.
54. Ye M., Yan Y., Guo D.A. *Rapid Commun Mass Spectrom*, 2005, vol. 19, no. 11, pp. 1469–1484. <https://doi.org/10.1002/rcm.1944>.
55. Pan S., Wang X., Duan W., Yu Z., Zhang L., Liu W. *J. Liq. Chromatogr. Relat. Technol.*, 2014, vol. 37, no. 15, pp. 2162–2167. <https://doi.org/10.1080/10826076.2013.825869>.
56. Kwon Y.S., Chang B.S., Kim C.M. *Nat. Prod. Sci.*, 2000, vol. 6, no. 3, pp. 135–138.
57. Othman R., Awang K., Bakar B.B., Leong S.T., Othman M.R., Annuar M.S.M. *The 4th Tropical weed Science Conference*. Chiang Mai, Thailand, 2013, pp. 16–22. <https://doi.org/10.13140/2.1.1708.5763>.
58. Löffler C., Czygan F-C., Proksch P. *Biochem. Syst. Ecol.*, 1997, vol. 25, no. 4, pp. 297–303. [https://doi.org/10.1016/s0305-1978\(97\)00015-x](https://doi.org/10.1016/s0305-1978(97)00015-x).
59. Teng J.L. *Chinese materia medica*. Beijing, 2007, pp. 547–548.
60. Li W.-L., Zhang Y., Bai J., Xiang Z., Ding J.-X., Ji Y.-B. *Bio. Technol.: Indian J.*, 2013, vol. 8, no. 4, pp. 563–566.
61. He X.-H., Yang W.-Z., Meng A.-H., He W.-N., Guo D.-A., Ye M. *J. Asian Nat. Prod. Res.*, 2010, vol. 12, no. 11, pp. 934–939. <https://doi.org/10.1080/10286020.2010.506434>.
62. Miyahara K., Du X.M., Watanabe M., Sugimura C., Yahara S., Nohara T. *Chem. Pharm. Bull.*, 1996, vol. 44, no. 3, pp. 481–485. <https://doi.org/10.1248/cpb.44.481>.
63. Umehara K., Nemoto K., Ohkubo T., Miyase T., Degawa M., Noguchi H. *Planta Med.*, 2004, vol. 70, no. 4, pp. 299–304. <https://doi.org/10.1055/s-2004-818939>.
64. Hano C.F., Dinkova-Kostova A.T., Davin L.B., Cort J.R., Lewis N.G. *Front. Plant Sci.*, 2021, vol. 11, pp. 4–6. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.630327>.
65. Patent 2354370 (RU). 10.05.2009. (in Russ.).
66. Zhan W., Zhisheng H. *Chin. Tradit. Herb. Drugs*, 1998, vol. 9, pp. 115–117.
67. Tsai Y.C., Lai W.C., Du Y.C., Wu S.F., El-Shazly M., Lee C.L., Yen M.H., Hou M.F., Wu Ya.C., Chang F.R. *J. Nat. Prod.*, 2012, vol. 75, pp. 1424–1431. <https://doi.org/10.1021/np200974e>.
68. Yahara S., Domoto H., Sugimura C., Nohara T., Niiho Y., Nakajima Y., Ito H. *Phytochemistry*, 1994, vol. 37, no. 6, pp. 1755–1757. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)89605-3](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)89605-3).
69. Ye M., Yan Y., Ni X., Qiao L. *J. Chin. Med. Mater.*, 2001, vol. 24, no. 5, pp. 339–341.
70. Sayed S.M.A., Alseekh S., Siems K., Fernie A.R., Luyten W., Schmitz-Linneweber C., Saul N. *Nutrients*. 2022, vol. 14, no. 19, 4199. <https://doi.org/10.3390/nu14194199>.
71. Fedotova V.V. *Chelovek i yego zdorov'ye*, 2022, vol. 25, no. 2, pp. 97–104. <https://doi.org/10.21626/hestnik/2022-2/10>.

72. MacKay D.S., Gebauer S.K., Eck P.K., Baer D.J., Jones P.J. *Am. J. Clin. Nutr.*, 2015, vol. 101, no. 3, pp. 432–439. <https://doi.org/10.3945/ajcn.114.095356>.
73. Zhelev Z.H., Stanilova S., Carpenter B. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 1994, vol. 202, pp. 186–196. <https://doi.org/10.1006/bbrc.1994.1911>.
74. Leusova N.Yu., Nekrasov E.V. *Byulleten' fiziologii i patologii dykhaniya*, 2004, no. 19, pp. 87–93. (in Russ.).
75. Kakharova K.A., Khashimova Z.S., Sagdiyev N.Zh. *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma Fundamental'nyye i prikladnyye problemy nauki*. 2014, vol. 3, pp. 122–128. (in Russ.).
76. Kakharova K.A., Khashimova Z.S., Sagdiyev N.Zh. *Yevraziyskiy Soyuz Uchenykh. Biologicheskiye nauki*, 2016, vol. 3, no. 24, pp. 40–43. (in Russ.).
77. Garcia R., Pena G., Raul C. *Biochem. Syst. Ecol.*, 1995, vol. 23, no. 5, pp. 571–572.
78. Chang F.R., Hayashi K., Chua N.H., Kamio S., Huang Z.Y., Nozaki H., Wu Y.C. *J. Nat. Prod.*, 2005, vol. 68, no. 7, pp. 971–973. <https://doi.org/10.1021/np050121i>.
79. Yen F.L., Wu T.H., Lin L.T., Lin C.C. *J. Ethnopharmacol.*, 2013, vol. 111, no. 1, pp. 123–128. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.11.003>.
80. Kim J.S., Koppula S., Yum M.J., Shin G.M., Chae Y.J., Hong S.M., Lee J.D., Song Min D. *Pharmaceutical Biology*, 2017, vol. 55, no. 1, pp. 1909–1919. <https://doi.org/10.1080/13880209.2017.1340965>.
81. Nicoloff G., Blazhev A., Petrova C., Christova P. *Clin. Dev. Immunol.*, 2004, vol. 11, no. 1, pp. 61–66. <https://doi.org/10.1080/10446670410001670517>.
82. Biswas S.K., Chowdury A., Das J., Karmaker U.K. *Int. J. Pharmacol.*, 2012, vol. 8, no. 5, pp. 422–427. <https://doi.org/10.3923/ijp.2012.422.427>.
83. Yang H.M., Shin H.K., Kang Y.H., Kim J.K. *Journal of Medicinal Food*, 2009, vol. 12, pp. 85–92. <https://doi.org/10.1089/jmf.2007.0665>.
84. Yang L., Chen Q., Wang F., Zhang G. *Journal of Ethnopharmacology*, 2011, vol. 135, no. 2, pp. 553–560. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2011.03.056>.
85. Ghazanfari T., Naseri M., Shams J., Rahmati B. *Food Agric Immunol*, 2013, vol. 24, pp. 87–94. <https://doi.org/10.1080/09540105.2011.648608>.
86. Zeraati F., Zamani A., Goodarzi M.T., Hashjin S.M.M., Razzaghi K. *Iran J. Med. Sci.*, 2015, vol. 35, pp. 310–314.
87. Karimi Dermani F., Saidijam M., Najafi R., Moradkhani S., Mohammadzaheri Z., Beiranvand N., Mohammadi S., Shabab N., Kalvandi R., Zeraati F. *Avicenna J. Phytomed.*, 2021, vol. 11, no. 3, pp. 258–268.
88. Zhao Q., Liu Y., Wang X., Zhu Y., Jiao Y., Bao Y., Shi W. *Ecotoxicol Environ Saf.*, 2023, vol. 255, 114831. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114831>.
89. Zhao Q., Liu Y., Chuo Y., Wang X., Jiao Y., Shi W., Bao Y. *Ecotoxicol Environ Saf.*, 2024, vol. 275, 116253. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116253>.

Received May 27, 2024

Revised April 12, 2025

Accepted May 14, 2025

Сведения об авторах

Аджиахметова Симилла Леонтьевна – доцент кафедры органической химии, similla503@mail.ru

Дибижева Надежда Михайловна – доцент кафедры органической химии, nadezhda.chervonnaya@yandex.ru

Поздняков Дмитрий Игоревич – доцент кафедры фармакологии с курсом клинической фармакологии, pozdniackow.dmitry@yandex.ru

Оганесян Эдуард Тоникович – доктор фармацевтических наук, профессор, заведующий кафедрой органической химии, edwardov@mail.ru

Information about authors

Adzhiakhmetova Similla Leontyevna – Associate Professor of the Department of Organic Chemistry, similla503@mail.ru

Dibizheva Nadezhda Mikhailovna – Associate Professor of the Department of Organic Chemistry, nadezhda.chervonnaya@yandex.ru

Pozdnyakov Dmitry Igorevich – Associate Professor of the Department of Pharmacology with a Course in Clinical Pharmacology, pozdniackow.dmitry@yandex.ru

Oganesyan Eduard Tonikovich – Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor, Head of the Department of Organic Chemistry, edwardov@mail.ru