

УДК 581.192.2:582.736

БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА И АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ РОДА *CARAGANA* ИЗ ГОРНОГО АЛТАЯ

© Е.П. Храмова^{1*}, С.Я. Сыева², Т.А. Кукушкина¹, Т.М. Шалдаева¹

¹ Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, ул. Золотодолинская, 101, Новосибирск, 630090 (Россия), e-mail: khramova@ngs.ru

² Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, Научный городок, 35, Барнаул, 656910 (Россия)

Исследовано содержание биологически активных веществ и антиоксидантная активность надземных органов трех видов караган – *C. bungei*, *C. pugnata* и *C. spinosa*, обитающих в Горном Алтае. В надземных органах караган проанализированы фенольные соединения (флавонолы, катехины, танины), пектиновые вещества (пектин и протопектин), пигменты (каротиноиды и хлорофиллы) и суммарное содержание антиоксидантов фенольного типа. Показано, что в зависимости от видовой принадлежности, местообитания, органа растения биологически активные вещества синтезируются по-разному. По более высокому содержанию флавонолов (36.4 мг/г), танинов (117.2 мг/г) и каротиноидов (0.56 мг/г) выделен вид *C. spinosa*.

Катехины преимущественно накапливались в листьях *C. pugnata* из солончаковой степи (до 211.3 мг/100 г) и цветках *C. bungei* (до 205 мг/100 г). Во всех исследуемых образцах содержание протопектинов выше, чем пектинов. По повышенному содержанию протопектинов в листьях (до 3.58%) выделен вид *C. pugnata* и цветках (до 5.81%) – *C. bungei*. Пектинов больше синтезируется в цветках *C. bungei* (0.74%) и листьях *C. spinosa* (0.49%). Выявлены отличия содержания фотосинтетических пигментов (хлорофиллов и каротиноидов) в побегах исследуемых караган. Самые высокие показатели антиоксидантной активности обнаружены в водно-этанольных экстрактах из листьев *C. spinosa* (1.61 мг/г), что, возможно, связано с повышенным содержанием флавонолов и танинов. Показано, что антиоксидантная активность караган на 71% определяется содержанием танинов, на 62% – содержанием флавонолов и на 41% – содержанием каротиноидов. Более перспективен для поиска источников антиоксидантов вид *C. spinosa*.

Ключевые слова: *Caragana*, *Fabaceae*, фенольные соединения, полисахариды, фотосинтетические пигменты, антиоксидантная активность.

Работа выполнена в рамках государственных заданий ЦСБС СО РАН по проекту АААА-А21-121011290025-2 «Анализ биоразнообразия, сохранение и восстановление редких и ресурсных видов растений с использованием экспериментальных методов» и ФГБНУ ФАНЦА по проекту № НИ-ОКТР 121112600046-2. «Создание новых сортов зерновых, зернобобовых, масличных и кормовых культур с высокими признаками продуктивности и качества, устойчивых к био- и абиострессорам, с широким спектром использования, включая кормопроизводство»; сбор материала проведен при частичной поддержке гранта РФФИ и Республики Алтай в рамках проекта № 20-44-040002 p_a «Биологический потенциал, состояние и рациональное использование растений семейства Fabaceae на природных и сеяных кормовых угодьях Горного Алтая».

Введение

Род *Caragana* Fabr. семейства *Fabaceae* (Бобовые) широко представлен в европейской части России, Сибири, Средней Азии, Монголии, Китае, на Дальнем Востоке, на юге до Непала и северной Индии, включает порядка 90 видов [1–3]. Виды *Caragana* встречаются, в основном, в засушливых и полусухих

Храмова Елена Петровна – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией фитохимии, e-mail: khramova@ngs.ru

Окончание на С. 146.

районах умеренного климата, при этом число видов уменьшается с повышением осадков и температуры и увеличивается с возрастанием высоты над уровнем моря [4].

* Автор, с которым следует вести переписку.

Растения рода *Caragana* известны как хозяйственно-ценные виды с целым рядом полезных свойств; они зимостойкие, лекарственные, кормовые, декоративные, быстрорастущие засухоустойчивые растения, востребованные в озеленении и фитомелиорации урбанизированной среды [5–7], востребованы в народной и традиционной медицине Китая, Монголии и Тибета. Современные фармакологические исследования выявили наличие биологической активности у *Caragana*, в том числе противоопухолевой, противовирусной, антигипертензивной, антиоксидантной и других [4, 8]. Российскими исследователями установлено, что сухой экстракт из однолетних побегов *C. spinosa* (L.) DC. проявляет противоязвенный эффект, обладает противовоспалительным и иммуносупрессивным действием при экспериментальных аутоиммунных и аллергических заболеваниях [9–11].

В Республике Алтай на обширных пространствах степной зоны, преимущественно в наиболее аридных районах в опустыненных и петрофитных степях, на открытых каменистых склонах и скалах, галечниках, в руслах временных водотоков, по берегам рек, в лесах и их опушках естественно произрастает шесть видов из рода *Caragana* [12], фитохимический состав которых мало изучен. В побегах *C. spinosa* зарегистрированы кумарины (0.21–0.25%), алкалоиды (0.15–0.2%), дубильные вещества (6.7–7.1%), стероидные сапонины (0.12%), липиды (4.0–4.3%), водорастворимые полисахариды (8.5–9.0%), пектины (14.1%) и флавоноиды (0.65–0.68%) [13]. Известно, что в побегах и листьях *C. spinosa* из Восточной Сибири присутствуют флавонолы – кверцетин, кемпферол, изорамнетин, мирицетин и их моно- и дигликозиды, флавоны – апигенин и лютеолин, флаван-3-олы – (-)-эпикатехингаллат, фенолокислоты – галловая, гидроксикоричные кислоты – *n*-кумаровая, феруловая, хлорогеновая, кумарины – умбеллиферон, скополетин, ксантотоксин, стероиды – β -ситостерин [14–17]. В цветущих побегах *C. bungei* Ledeb. идентифицированы β -ситостерин, β -ситостерин-3-*O*-глюкозид, умбеллиферон, кемпферол, кверцетин, изорамнетин-3-*O*-глюкозид, изокверцитрин, рутин, нарциссин, никотифлорин, кофейная кислота, 3-*O*-, 5-*O*- и 3,5-ди-*O*-кофеилхинные кислоты, галловая кислота и сахароза [17, 18]. Из надземной части *C. pygmaea* (L.) DC. из Горного Алтая выделены и идентифицированы пять флавоноидов, из которых три гликозида (нарциссин, рутин, изокверцитрин) и 2 агликона (3-метилкверцетин, кверцетин) [19]. Позднее в листьях и цветках *C. pygmaea* из Республики Бурятия подтвержден состав флавонолов и дополнительно в стеблях обнаружен кемпферол [17]. Обзор литературных данных показал, что другие группы биологически активных веществ малоизучены.

Изучение новых видов растительного сырья, введение их в отечественную официальную медицину в виде лекарственных средств и биологически активных пищевых добавок, рациональное использование ценного сырья в качестве источника БАВ для кормопроизводства приобретает все большую актуальность и необходимость. Качество растительного сырья невозможно оценить без всестороннего исследования состава и содержания основных групп биологически активных веществ. В этой связи цель настоящего исследования заключалась в сравнительном изучении содержания фенольных соединений, полисахаридов, фотосинтетических пигментов и антиоксидантной активности надземных органов трех видов рода *Caragana* – *C. bungei*, *C. pygmaea* и *C. spinosa*, обитающих в Горном Алтае.

Экспериментальная часть

Растительное сырье. Листья, цветки, бобы *C. bungei* Ledeb. (карагана Бунге), *C. pygmaea* (L.) DC. (карагана карликовая) и *C. spinosa* (L.) DC. (карагана колючая) собраны в Кош-Агачском районе Республики Алтай в июле 2021 г. в период окончания цветения – начала плодоношения (табл. 1). Сырье разделяли на листья и репродуктивные органы (цветки, бобы), высушивали на воздухе в затененном месте, измельчали и отбирали репрезентативную пробу для анализа, состоящую из 5–10-однолетних побегов с 10–20 особей каждого вида с каждого участка.

Общие экспериментальные условия. Спектрофотометр СФ-56, прибор «Цвет Яуза-01-АА», стандарт-

Сыева Серафима Яковлевна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории растениеводства, e-mail: serafima-altai@mail.ru
Кукушкина Татьяна Абдулхаировна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории фитохимии, e-mail: kukushkina-phyto@yandex.ru
Шалдаева Татьяна Михайловна – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории фитохимии, e-mail: tshaldaeva@yandex.ru

ные образцы рутина (фирмы Chemapol), танина (Sigma-Aldrich, CAS 1401-55-4), (+) - катехина (Sigma-Aldrich, CAS 154-23-4), D(+)-галактуроновой кислоты (Molekula, CAS 91510-62-2), галловой кислоты (Диаэм, CAS 149-91-7).

Методики количественного анализа. Содержание флавонолов определяли спектрофотометрическим методом на спектрофотометре СФ-56 в при-

сутствии алюминия хлорида [20], используя СО рутина (Chemapol) в качестве вещества сравнения. Следует отметить, что эту методику, основанную на измерении оптической плотности растворов при 410–430 нм после добавления раствора алюминия хлорида, часто предлагается использовать для оценки общего содержания флавоноидов. По данным Т.А. Денисенко с соавторами (2015), поглощение в этой области дают только флавонолы и другие флавоны, имеющие в молекуле гидроксильные группы в положении 3 и/или 5, для которых эта методика является селективной [21].

Содержание катехинов (или флаван-3-олов) определяли спектрофотометрическим методом, основанном на способности катехинов давать малиновое окрашивание с раствором ванилина в концентрированной соляной кислоте [22]. Анализ с ванилиновым реактивом является селективным к флаван-3-олам, специфичным и экспрессным [23, 24]. В две мерные пробирки переносили по 0.8 мл этанольного извлечения, в одну из них прибавляли 4 мл 1% раствора ванилина в концентрированной соляной кислоте. Объем обеих пробирок доводили до 5 мл концентрированной соляной кислотой. Вторая пробирка служила в качестве раствора сравнения. Оптическую плотность раствора измеряли на спектрофотометре СФ-56 при длине волны 502 нм через 5 мин. Содержание катехинов в пробе определяли по калибровочной кривой, построенной по (±)-катехину фирмы «Sigma».

Определение танинов (гидролизуемых дубильных веществ) проводили спектрофотометрическим методом с использованием раствора аммония молибденовокислого [25]. Навеску сырья 2 г помещали в колбу и добавляли 250 мл дистиллированной воды. Экстрагировали при умеренном кипячении в течение 30 мин., охлаждали, переносили в мерную колбу на 250 мл и доводили дистиллированной водой до метки. После экстракции 10 мл извлечения переносили в мерную колбу на 100 мл, добавляли 10 мл 2% водного раствора аммония молибденовокислого, доводили до метки водой и оставляли на 15 мин. Интенсивность образовавшейся окраски измеряли на спектрофотометре СФ-56 при длине волны 420 нм в кювете с толщиной слоя 1 см. В качестве стандартного образца использовали СО танина (Sigma-Aldrich, CAS 1401-55-4). Спектрофотометрическая методика с использованием водного раствора аммония молибденовокислого при определении танинов, на наш взгляд, более приемлема благодаря ее простоте, экспрессности и высокой чувствительности, что находит подтверждение в литературе. Так, Е.И. Рябининой с соавторами (2011) доказано, что из трех методов определения дубильных веществ (метод Левенталя, метод Дейса и спектрофотометрический с использованием раствора аммония молибденовокислого) наибольшую сходимость результатов определения дубильных веществ для шести видов лекарственных растений показал именно спектрофотометрический метод, причем с наименьшей погрешностью [26]. При этом следует отметить, что в настоящее время основным методом определения танинов в растительном сырье является спектрофотометрический метод с использованием реактивов Фолина-Дениса или Фолина-Чокольтеу, содержащих в своем составе фосфовольфрамовые и фосфомолибденовые гетерополи-кислоты. К недостаткам метода Фолина-Чокольтеу можно отнести нелинейность градуировочной функции, необходимость работать в сильнощелочной области, завышенные оценки результатов при наличии в составе образца сильных восстановителей, ксантинов, аминокислот, протеинов, а также коммерческую недоступность реактива, ограниченный срок хранения и попадание токсичных отходов реагента в окружающую среду, что не позволяют использовать его в рутинных анализах [27, 28].

Таблица 1. Характеристика местообитаний изученных видов рода *Caragana*

Вид	ЦП*	Место сбора, характеристика сообщества (в скобках доминантные виды)	Координаты
<i>C. pygmaea</i>	1	окр. с. Ортолык; житняково-галечново-ковыльное сообщество опустыненной степи (<i>Stipa glareosa</i> , <i>Agropyron kazachstanicum</i>)	50°02'25.22" N 88°31'49.24" E
	2	окр. с. Кокоря, долина р. Кызыл-Шин; полынно-тонконогово-горноколосниковое сообщество настоящей степи (<i>Koeleria cristata</i> , <i>Orostachys spinosa</i> , <i>Carex duriuscula</i>)	50°00'43.68" N 88°43'07.70" E
	3	окр. с. Кокоря, долина р. Юстыт; астрагалово-ячменёво-житняковое сообщество солончаковатой степи (<i>Agropyron kazachstanicum</i> , <i>Hordeum roshevitzii</i> , <i>Astragalus brevifolius</i> , <i>A. tibetanus</i>)	49°54'51.64" C 88°54'11.46" E
<i>C. bungei</i>	4	окр. с. Чаган-Узун; бобово-галечновоковыльно-житняковое сообщество опустыненной степи (<i>Agropyron kazachstanicum</i> , <i>Stipa glareosa</i> , <i>Astragalus dilutus</i> , <i>Oxytropis pumila</i> , <i>Astragalus laguroides</i>)	50°05'46.20" C 88°21'54.19" E
	5	долина р. Чаган-Узун; тонконогово-остролодочниковое сообщество опустыненной степи (<i>Koeleria altaica</i> , <i>Oxytropis tragacanthoides</i>)	49°56'03.58" N 89°02'42.04" E
<i>C. spinosa</i>	5		

* ЦП – ценопопуляция.

Содержание пигментов (каротиноидов и хлорофиллов) определяли в ацетоново-этанольном извлечении спектрофотометрическим методом [29]. Навеску сырья 0.1 г растирали в ступке до однородной массы, добавляя последовательно 0.1 г кальция карбоната для нейтрализации органических кислот, так как каротиноиды не устойчивы в кислой среде, 1 мл диметилформамида для устойчивости пигментов и 2 г натрия сульфата безводного. Экстракцию каротиноидов проводили ацетоном (40 мл – 1 раз и далее по 10 мл – 2 раза), после чего продолжали экстрагировать 96% этанолом (по 5 мл – 3 раза) для извлечения ликопина. Затем исчерпывающе экстрагировали ацетоном до исчезновения окраски. Измеряли объем объединенного извлечения [29]. Далее извлечения разбавляли ацетоном так, чтобы при измерении на спектрофотометре величина оптической плотности разбавленных растворов находилась в пределах от 0.1 до 0.8 единиц оптической плотности (е.о.п.). Концентрацию пигментов рассчитывали для хлорофиллов а и b при длинах волн 662 и 644 нм, для каротиноидов – при 440.5 нм на спектрофотометре СФ-56. Расчет концентрации пигментов (мг/дм³) проводили по формулам [30]:

$$C_a = 9.784 \cdot D_{662} - 0.99 \cdot D_{664}$$

$$C_b = 21.426 \cdot D_{644} - 4.65 \cdot D_{664}$$

$$C_{кар.} = 4.695 \cdot D_{440.5} - 0.268 \cdot (5.134 \cdot D_{662} - 20.436 \cdot D_{664})$$

где C_a – концентрация хлорофилла а (мг/дм³), C_b – концентрация хлорофилла b (мг/дм³), $C_{кар.}$ – концентрация каротиноидов, мг/дм³; D – оптическая плотность извлечения.

Содержание пигментов (мг/г) определяли по формуле [30]:

$$X = \frac{C \times V_1 \times V_3}{M \times V_2 \times 1000},$$

где C – концентрация пигмента, мг/дм³; V_1 – объем исходной ацетоново-этанольной вытяжки, мл; V_2 – объем исходного извлечения, взятой для разбавления, мл; V_3 – объем разбавленного извлечения, мл; M – масса абсолютно сухого сырья, г.

Пектиновые вещества (протопектины и пектины) определяли бескарбазольным методом, основанным на получении специфического желто-оранжевого окрашивания уроновых кислот с тимолом в сернохлоридной среде [31]. Экстракция водорастворимого пектина: измельченную точную навеску сухого материала массой 2–3 г трехкратно экстрагировали горячим 80% этиловым спиртом в соотношении 1 : 10 на кипящей водяной бане с обратным холодильником 20–30 мин (для полного удаления сахаров, которые мешают определению пектиновых веществ) и фильтровали через бумажный фильтр в мерную колбу. Отфильтрованную пробу высушивали при 50 °С до исчезновения запаха спирта. Затем остаток вместе с фильтром помещали в колбу и приливали 50 мл очищенной воды, нагретой до 45 °С, и при этой температуре водорастворимый пектин экстрагировали на водяной бане в течение 1 ч. Жидкость отфильтровывали в мерную колбу на 100 мл, промывали водой и после охлаждения доводили объем до метки. Извлечение протопектина: остатки после извлечения водой переносили в экстракционную колбу, заливали 50 мл 0.3 н. соляной кислоты и нагревали 30 мин. на кипящей водяной бане с обратным холодильником. Фильтровали в мерную колбу на 200 мл и промывали 2–3 раза горячей водой. Фильтр вместе с осадком возвращали в ту же экстракционную колбу, приливали 50 мл 1% раствора лимоннокислого аммония и ставили на кипящую водяную баню на полчаса. Фильтровали в колбу, где находится фильтрат солянокислой вытяжки, промывали горячей водой, после охлаждения доводили до метки [30]. Реакция с тимолом: в каждые 2 пробирки брали по 0.5 мл экстракта водорастворимого пектина и протопектина и при охлаждении приливали концентрированную серную кислоту по каплям. Затем пробирки нагревали 6 мин. на кипящей водяной бане, охлаждали и прибавляли в две пробирки с экстрактами 0.1 мл 0.2% спиртового раствора тимолола и тщательно перемешивали. После реакции с тимолом плотность окрашенных растворов измеряли на спектрофотометре СФ-56 при длине волны 480 нм в кювете с толщиной слоя 1 см. Количественное содержание пектинов и протопектинов в пробе определяли по калибровочной кривой, построенной по галактуроновой кислоте (Molekula, CAS 91510-62-2) [31].

Анализ суммарного содержания антиоксидантов фенольного типа проводили амперометрическим методом [32]. Измерения проводили на приборе «Цвет Яуза-01-АА» разработки НПО «Химавтоматика». Предварительно строили градуировочную кривую зависимости сигнала образца сравнения (галловой кислоты) от его концентрации. ССА определяли в водно-спиртовых извлечениях, для получения которых 1.0 г сырья заливали 50 мл этанола (70%) и встряхивали в течение 1 ч на перемешивающем устройстве.

Все биохимические показатели рассчитаны на массу абсолютно сухого сырья.

Определение содержания БАВ проводилось в трехкратной повторности, ССА – в пятикратной.

Статистический анализ. Статистическая обработка данных выполнена методами описательной статистики с использованием программ Statistica 8.0 и Microsoft Excel 2010. Для определения формы и силы связи между содержанием биологически активных веществ (БАВ) и антиоксидантной активностью применялся регрессионный анализ. Теснота связи оценивалась по шкале: слабая ($0.1 < R^2 < 0.3$), умеренная ($0.3 < R^2 < 0.5$), заметная ($0.5 < R^2 < 0.7$), высокая ($0.7 < R^2 < 0.9$) и весьма высокая ($0.9 < R^2 < 0.99$).

Обсуждение результатов

В результате проведенного исследования получены новые данные по содержанию фенольных соединений, фотосинтетических пигментов, полисахаридов и антиоксидантной активности в листьях и репродуктивных органах алтайских караган. Установлено, что листья и репродуктивные органы растений *C. bungei*, *C. pygmaea* и *C. spinosa*, обитающих в Горном Алтае, содержат комплекс БАВ: флавонолов, катехинов, танинов, пигментов, пектиновых веществ (пектинов и протопектинов).

Фенольные соединения. Фенольные соединения изученных видов растений представлены флавонолами, катехинами и танинами (табл. 2).

В листьях и репродуктивных органах растений содержание флавонолов варьирует в зависимости от вида, органа растения и местообитания. По более высокому содержанию флавонолов, танинов и катехинов выделяется *C. spinosa*. Содержание флавонолов в листьях этого вида достигает 36.4 мг/г, танинов – 117.2 мг/г, катехинов – 119.5 мг/100 г. Меньше флавонолов и танинов накапливается в листьях *C. pygmaea* по сравнению с другими видами. Как следует из полученных данных, в зависимости от местообитания растений отличалось содержание фенольных соединений в листьях *C. pygmaea*. Более высокие показатели отмечены в листьях растений, произрастающих в солончаковой степи (ЦП 3). Так, содержание катехинов в листьях растений из солончаковой степи выше в 4.5–5.2 раза по сравнению с таковым в листьях растений из опустыненной и настоящей степи. Также в листьях *C. pygmaea* из солончаковой степи на 50–67 % выше содержание танинов и 50–55% флавонолов.

В целом, можно отметить, что в листьях флавонолов и танинов больше, чем в репродуктивных органах вне зависимости от таксона. Содержание катехинов в 3.4–4.6 раз выше в цветках *C. bungei*, чем в листьях, достигая 106.6–205.2 мг/100 г в зависимости от местообитания. Более высокое содержание катехинов обнаружено у *C. bungei*, произрастающей на более сухом участке, по сравнению с участком в долине р. Чаган-Узун. Полученные результаты хорошо согласуются с литературными данными по содержанию танинов в побегах *C. spinosa* [13] и флавонолов в караганах, произрастающих в Республике Бурятия, где их количество варьирует от 14.95 мг/г от возд.-сух. массы в листьях *C. pygmaea* до 31.62 мг/г в листьях *C. spinosa* [17]. Авторы связывают различия в накоплении флавонолов с видовой принадлежностью и выделяют вид *C. spinosa*, обитающий в Бурятии, как перспективное лекарственное растительное сырье [17].

Пектиновые вещества. Пектин или пектиновые вещества присутствуют в клеточных стенках растений и выполняют важную роль в защите тканей от растительных патогенов и ранений [33]. Пектиновые вещества, находящиеся в форме нерастворимых в воде соединений, известны под названием протопектинов [34]. При созревании плодов и овощей протопектины в большей или меньшей степени переходят в пектин.

Содержание пектиновых веществ в изучаемых растениях достаточно высокое, при этом основную долю в сумме веществ занимают протопектины (рис. 1).

В листьях *C. pygmaea* синтезируется протопектинов до 3.58%, что выше в 1.1–1.7 раза, чем в листьях двух других караган. Пектинов больше синтезируется в цветках *C. bungei* (0.74%) и листьях *C. spinosa* (0.49%). В целом, следует отметить, что содержание пектиновых веществ варьирует незначительно в зависимости от видовой принадлежности, места обитания и органа растения.

Таблица 2. Содержание фенольных соединений в надземных органах растений рода *Caragana*

Вид	Ценопопуляция	Орган растения	Фенольные соединения		
			Флавонолы, мг/г	Танины, мг/г	Катехины, мг/100 г
<i>C. pygmaea</i>	ЦП 1	листья	13.4±0.4*	47.1±0.4	40.6±0.7
<i>C. pygmaea</i>	ЦП 2	листья	12.7±0.4	43.8±0.4	46.5±1.1
<i>C. pygmaea</i>	ЦП 3	листья	19.7±0.3	72.8±0.6	211.3±1.1
<i>C. bungei</i>	ЦП 4	листья	26.7±0.6	95.4±0.6	60.7±1.5
		цветки	6.7±0.2	14.9±0.1	205.2±1.7
<i>C. bungei</i>	ЦП 5	листья	11.5±0.4	54.0±0.5	23.0±1.1
		цветки	6.6±0.1	19.7±0.1	106.6±1.6
<i>C. spinosa</i>	ЦП 5	листья	36.4±0.6	117.2±0.9	119.5±1.4
		бобы	4.9±0.2	11.8±0.1	20.9±0.8

Примечание: *среднее арифметическое ± стандартное отклонение (σ).

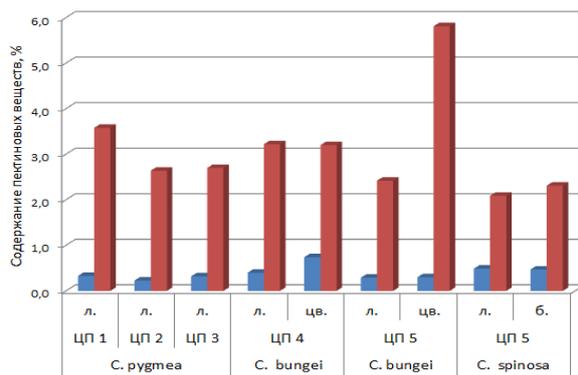


Рис. 1. Содержание пектиновых веществ в водно-этанольных экстрактах из листьев (л.), цветков (цв.) и бобов (б.) растений разных видов *Caragana* (■ – пектины, ■ – протопектины)

Пигменты. Содержание фотосинтетических пигментов является важным показателем физиологического состояния растений, а также их метаболического потенциала, поскольку они отвечают за поглощение энергии света и дальнейшее ее преобразование в энергию химических связей [35]. Основными фотосинтетическими пигментами листа являются хлорофиллы (Хл) и каротиноиды (Кар), улавливающие необходимую солнечную энергию и защищающие растения от вредных побочных продуктов процесса инсоляции. Количество пигментов и их соотношение существенно влияют на метаболизм растений и могут различаться в зависимости от вида, жизненной формы, принадлежности к географической и эколого-ценотической группе, онтогенетического состояния [36–39].

Содержание зеленых пигментов (хлорофиллов) в листьях караган варьирует от 1.54 до 3.45 мг/г и расценивается как сравнительно низкое (табл. 3). Более высокое содержание хлорофиллов свойственно *C. spinosa* (3.20 мг/г), низкое – *C. bungei* (2.08 мг/г). В общем фонде хлорофиллов превалирует хлорофилл а. Содержание хлорофилла а в листьях *C. spinosa* на 44% превышало таковое у вида *C. bungei*. Хлорофилла б в листьях исследуемых представителей караганы было значительно ниже. Как следует из полученных данных, листья *C. pygmaea* из разных местообитаний отличались по содержанию хлорофиллов а и б, значения которых были выше у растений из солончаковой степи (ЦП 3). Аналогичная картина для некоторых галофитных растений, и *Caragana microphylla* в том числе, с повышенным содержанием хлорофилла при солевом стрессе показана в работе [40]. Содержание хлорофиллов выше в листьях *C. bungei* из более влажного участка, расположенного в долине реки Чаган-Узун, чем в окр. с. Чаган-Узун. В репродуктивных органах содержание хлорофиллов значительно ниже.

Важным показателем при оценке фотосинтетической продуктивности растительных тканей является отношение хлорофиллов а/б, которое при оптимальных условиях роста и развития растений приближается к 3 [39]. Однако оно может варьировать в зависимости от вида растения, условий его выращивания, стадии развития и других факторов [37, 41]. В нашем случае наибольшее значение отношения хлорофиллов а/б обнаружено в цветках *C. bungei* (ЦП 4) и листьях *C. pygmaea* (ЦП 1). Более низкое отмечено и практически оптимальное значение в листьях *C. bungei* и *C. pygmaea* (ЦП 2). В остальных случаях оно было ниже. Все это свидетельствует об отличиях в фотосинтетической активности как видов караганы, так и их органов.

Содержание желтых пигментов (каротиноидов) в листьях караган варьирует от 0.35 до 0.65 мг/г и тесно коррелирует с содержанием хлорофилла ($R^2=0.84$) (рис. 2). Более высокое содержание каротиноидов обнаружено в листьях *C. pygmaea* из солончаковой степи.

Таблица 3. Содержание пигментов в надземных органах *Caragana*

Вид	ЦП	Орган растения	Каротиноиды, мг/г	Хлорофилл а, мг/г	Хлорофилл b, мг/г	Хл.а/Хл.б	Хл./Кар.
<i>C. pygmaea</i>	ЦП 1	листья	0.61±0.01*	2.17±0.02	0.64±0.01	3.4	4.6
	ЦП 2	листья	0.52±0.01	1.40±0.01	0.55±0.01	2.5	3.7
	ЦП 3	листья	0.65±0.01	2.53±0.03	0.91±0.01	2.8	5.3
<i>C. bungei</i>	ЦП 4	листья	0.35±0.00	1.14±0.01	0.40±0.00	2.8	4.5
		цветки	0.18±0.00	0.30±0.00	0.05±0.00	5.7	2.0
<i>C. bungei</i>	ЦП 5	листья	0.58±0.01	1.98±0.02	0.63±0.01	3.2	4.5
		цветки	0.26±0.00	0.06±0.00	0.04±0.00	1.4	0.4
<i>C. spinosa</i>	ЦП 5	листья	0.56±0.01	2.24±0.02	0.96±0.01	2.3	5.7
		бобы	0.04±0.00	0.07±0.00	0.06±0.00	1.2	2.9

Примечание: *среднее арифметическое ± стандартное отклонение (σ).

Величина соотношения Хл/Кар в листьях *C. bungei* и *C. pygmaea* составляла 4.5, у *C. spinosa* – 5.11, т.е. более высокое относительное содержание каротиноидов свойственно *C. bungei* и *C. pygmaea*. В репродуктивных органах относительное содержание каротиноидов выше, чем в листьях, величина соотношения Хл/Кар изменяется от 0.4 в цветках до 2.9 в бобах.

Содержание пигментов в репродуктивных органах существенно меньше, чем листьях.

В целом, существенной дифференциации по содержанию пигментов между видами не выявлено.

Антиоксидантная активность. В ходе исследования определено суммарное содержание антиоксидантов фенольного типа в водно-этанольных экстрактах образцов караган. В результате установлено, что таксоны проявляют разную антиоксидантную активность в зависимости от видовой принадлежности и органа растения (рис. 3).

Максимальная активность (1.61 мг/г) проявляется в листьях *C. spinosa*, минимальная (1.02 мг/г) – в листьях *C. pygmaea*. В цветках *C. bungei* и бобах *C. spinosa* ССА снижается до 0.15–0.9 мг/г.

С использованием регрессионного анализа показано, что антиоксидантная активность караган на 71% определяется содержанием танинов, на 62% – содержанием флавонолов и на 41% – содержанием каротиноидов (рис. 4). Это находит подтверждение в литературе, что антиоксидантные свойства многих растений в значительной мере обусловлены именно содержанием флавонолов, танинов и пигментов [42, 43].

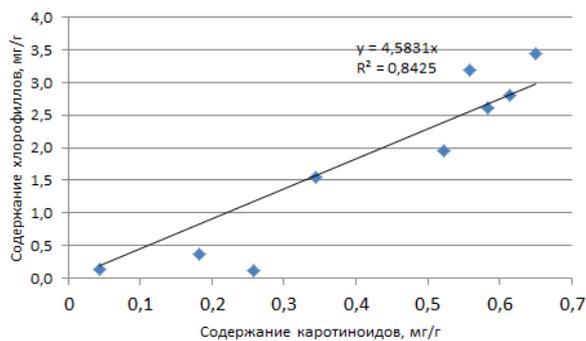


Рис. 2. Связь между содержанием каротиноидов и хлорофиллов в растениях рода *Caragana*

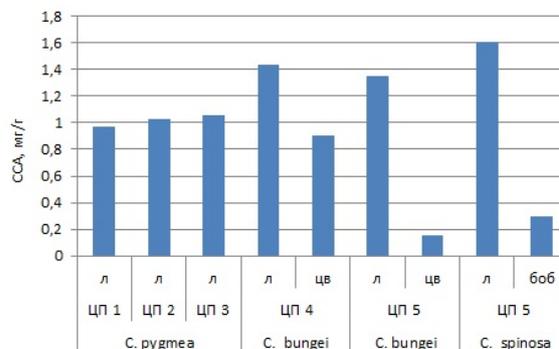


Рис. 3. Суммарное содержание антиоксидантов в надземных органах растений рода *Caragana* из разных ценопопуляций (ЦП) (л – листья, цв – цветки, боб – бобы)

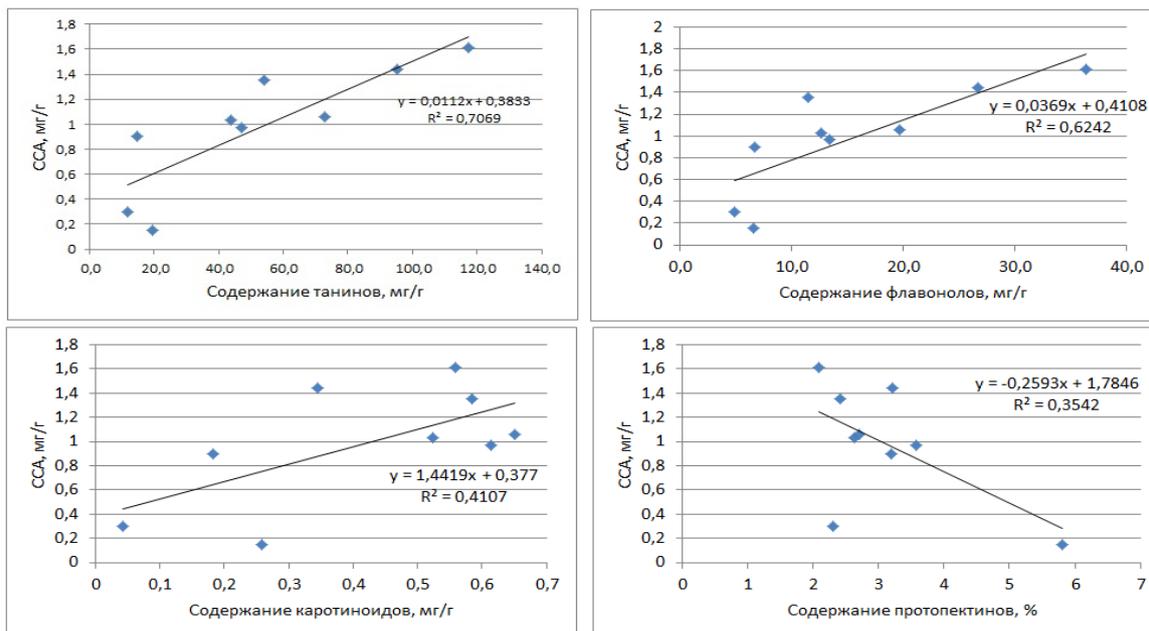


Рис. 4. Связь антиоксидантной активности с БАВ листьев и репродуктивных органов растений рода *Caragana*

Протопектины караган проявляют обратную зависимость, чем меньше содержание протопектинов, тем выше антиоксидантная активность.

В результате можно заключить, что более высокую антиоксидантную активность проявляют водно-этанольные экстракты из листьев *C. spinosa* и этот вид более перспективен для поиска источников антиоксидантов.

Заключение

В надземных органах трех видов *Caragana* – *C. bungei*, *C. pygmaea* и *C. spinosa* из Горного Алтая содержится комплекс биологически активных веществ, состоящий из фенольных соединений (флавонолов, танинов, катехинов), пектиновых веществ, пигментов (каротиноидов и хлорофиллов).

Выявлены отличия содержания флавонолов, танинов и катехинов у трех видов *Caragana* в зависимости от видовой принадлежности растений, условий местообитаний, органа растения. По высокому содержанию флавонолов, танинов и катехинов выделен вид *C. spinosa*. В цветках *C. bungei* и бобах *C. spinosa* содержание флавонолов, танинов и катехинов ниже по сравнению с листьями, за исключением цветков, в которых количество катехинов выше. Установлено, что в листьях *C. pygmaea* из солончаковатой степи содержание фенольных соединений значительно выше по сравнению с таковыми из настоящей и опустыненной степи.

Отмечено достаточно высокое содержание пектиновых веществ у караган. Более всего протопектины синтезируются в листьях *C. pygmaea* до 3.58%, что выше в 1.1–1.7 раза, чем у остальных изученных караган.

Пектины преимущественно синтезируются в цветках *C. bungei* (0.74%) и листьях *C. spinosa* (0.49%).

Установлены отличия по содержанию хлорофиллов и каротиноидов исследованных видов караган. Более высокое содержание хлорофиллов свойственно *C. spinosa* (3.20 мг/г), низкое – *C. bungei* (2.08 мг/г). Показано преимущественное накопление пигментов в листьях *C. pygmaea* из солончаковатой степи по сравнению с настоящей и опустыненной степью.

Обнаружены более высокие показатели антиоксидантной активности в водно-этанольных экстрактах из листьев *C. spinosa* (1.61 мг/г) по сравнению с остальными видами, что, возможно, связано с повышенным содержанием флавонолов и танинов.

Результаты исследования содержания БАВ и антиоксидантной активности трех видов *Caragana* показало перспективность *C. spinosa* при обосновании рационального использования.

Список литературы

1. Флора СССР / ред. В.Л. Комаров, Б.К. Шишкин. М.; Л., 1945. Т. XI. С. 327–368.
2. Курбатский В.И. *Caragana* Lam. – Карагана // Флора Сибири. Новосибирск, 1994. Т. 9. С. 13–20.
3. The Plant List. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.theplantlist.org>.
4. Meng Q., Niu Y., Niu X., Roubin R.H., Hanrahan J.R. Ethnobotany, phytochemistry and pharmacology of the genus *Caragana* used in traditional Chinese medicine // *Journal of Ethnopharmacology*. 2009. Vol. 124. Pp. 350–356. DOI: 10.1016/j.jep.2009.04.048.
5. Коропачинский И.Ю., Встовская Т.Н. Древесные растения Азиатской России. Новосибирск, 2002. С. 408–420.
6. Древесные растения для озеленения Новосибирска / под ред. И.Ю. Коропачинского. Новосибирск, 2008. С. 43–46.
7. Растительные ресурсы России: Дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность / ред. Л.М. Беленовская, Е.Е. Лесиовская. СПб., 2010. Т. 3. 601 с.
8. He Q.-S., Zhang L., Fan Z.-Y., Feng G., Wang F.-J., Liu Zh.-Q., Tang T., Kuang Sh.-X. Protective effects of total flavonoids in *Caragana* against hypoxia/reoxygenation-induced injury in human brain microvascular endothelial cells // *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 2017. Vol. 89. Pp. 316–322. DOI: 10.1016/j.biopha.2017.01.106.
9. Дихтяренко В.В., Сафонова М.Ю., Сафонов В.В., Лесиовская Е.Е., Сакарян Е.И. Влияние сухих экстрактов из слоевищ *Cetraria islandica* (L.) Ach. и из однолетних побегов *Caragana spinosa* (L.) Vahl ex Hornem. на развитие экспериментальной язвы желудка у крыс // *Растительные ресурсы*. 2001. Т. 37. №2. С. 51–56.
10. Николаев В.О., Лесиовская Е.Е. Иммуносупрессорные свойства сухого экстракта из побегов *Caragana spinosa* (L.) Vahl ex Hornem // *Растительные ресурсы*. 2001. Т. 37. №2. С. 56–61.
11. Николаев В.О., Лесиовская Е.Е., Хергет Т. Некоторые молекулярные механизмы действия сухого экстракта однолетних побегов *Caragana spinosa* (L.) Vahl ex Hornem // *Растительные ресурсы*. 2003. Т. 39. №2. С. 42–48.
12. Определитель растений Республики Алтай / ред И.М. Красноборов. Новосибирск, 2012. 644 с.
13. Иренчий А.М., Минина С.А. Суммарное содержание биологически активных веществ различных групп в побегах *Caragana spinosa* (L.) Vahl ex Hornem // *Растительные ресурсы*. 2004. Т. 40. №3. С. 96–101.
14. Шпекина Г.А. Флавоноиды *Caragana spinosa* // *Химия природных соединений*. 1990. Т. 26. С. 117–118. DOI: 10.1007/BF00605216.
15. Olennikov D.N., Tankhaeva L.M., Partilkaev V.V. Chemical investigation of *Caragana spinosa* runners // *Chem. Nat. Compd*. 2012. Vol. 47. Pp. 988–990. DOI: 10.1007/s10600-012-0124-5.
16. Olennikov D., Tankhaeva L., Partilkaev V.V. Chemical study of *Caragana spinosa* seeds // *Chemistry of Natural Compounds*. 2012. Vol. 48. Pp. 114–117. DOI: 10.1007/s10600-012-0173-9.
17. Партилкаев В.В., Танхаева Л.М., Оленников Д.Н. Содержание фенольных соединений в побегах сибирских видов *Caragana* // *Химия растительного сырья*. 2013. №3. С. 143–150. DOI: 10.14258/jcprm.1301143.
18. Olennikov D.N., Tankhaeva L.M., Partilkaev V.V., Rokhin A.V. Chemical constituents of *Caragana bungei* shoots // *Brazilian Journal of Pharmacognosy*. 2012. Vol. 22(3). Pp. 490–496. DOI: 10.1590/S0102-695X2012005000010.
19. Polovinko A.E., Yakovlev G.P. Flavonoids of *Caragana pygmaea* // *Chemistry of Natural Compounds*. 1985. Vol. 2. P. 268.
20. Государственная фармакопея Российской Федерации. XIV издание. М., 2018. Т. IV. С. 6081–6083.
21. Денисенко Т.А., Вишник А.Б., Цыганок Л.П. Спектрофотометрическое определение суммы фенольных соединений в растительных объектах с использованием хлорида алюминия, 18-молибдодифосфата и реактива Фолина-Чокальтеу // *Аналитика и контроль*. 2015. Т. 19. №4. С. 373–380. DOI: 10.15826/analitika.2015.19.4.012.
22. Кукушкина Т.А., Зыков А.А., Обухова Л.А. Манжетка обыкновенная (*Alchemilla vulgaris*) как источник лекарственных средств // *Актуальные проблемы создания новых лекарственных препаратов природного происхождения: материалы VII Международного съезда*. СПб., 2003. С. 64–69.
23. Sarkar S.K., Howarth R.E. Specificity of the vanillin test for flavanols // *J. Agric. Food Chem*. 1976. Vol. 24. Pp. 317–320. DOI: 10.1021/jf60204a041.
24. Sun B., Ricardo-da-Silva J.M., Spranger I. Critical factors of vanillin assay for catechins and proanthocyanidins // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1998. Vol. 46. Pp. 4267–4274. DOI: 10.1021/jf980366j.
25. Федосеева Л.М. Изучение дубильных веществ подземных и надземных вегетативных органов бадана толстолистного (*Bergenia Crassifolia* (L.) Fitsh, произрастающего на Алтае // *Химия растительного сырья*. 2005. №2. С. 45–50.
26. Рябинина Е.И., Зотова Е.Е., Ветрова Е.Н., Пономарева Н.И. Сравнение химико-аналитических методов определения танидов и антиоксидантной активности растительного сырья // *Аналитика и контроль*. 2011. Т. 15. №2. С. 202–208. DOI: 10.15826/analitika.2015.19.3.001.
27. Sudhir D., Munir Ch., Kirti S. Tannin analysis of food products // *Critical reviews in food science and nutrition*. 1986. Vol. 24. Pp. 401–449. DOI: 10.1080/10408398609527441.
28. Денисенко Т.А., Вишник А.Б., Цыганок Л.П. Особенности взаимодействия 18-молибдодифосфата и реактива Фолина-Чокальтеу с фенольными соединениями // *Аналитика и контроль*. 2015. Т. 19. №3. С. 242–251. DOI: 10.15826/analitika.2015.19.3.001.
29. Кривенцов В.И. Методические рекомендации по анализу плодов на биохимический состав. Ялта, 1982. 21 с.
30. Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П. и др. Методы биохимического исследования растений. Л., 1987. 430 с.
31. Кривенцов В.И. Бескарбазольный метод количественного спектрофотометрического определения пектиновых веществ // *Труды Никитского ботанического сада*. 1989. Вып. 109. С. 128–137.

32. Федина П.А., Яшин А.Я., Черноусова Н.И. Определение антиоксидантов в продуктах растительного происхождения амперометрическим методом // Химия растительного сырья. 2010. №2. С. 91–97.
33. Voragen A.G.J., Coenen G.-J., Verhoef R.P., Schols H.A. Pectin, a versatile polysaccharide present in plant cell walls // Struct. Chem. 2009. Vol. 20. Pp. 263–275. DOI: 10.1007/s11224-009-9442-z.
34. Минзанова С.Т., Миронов В.Ф., Коновалов А.И., Выштакалюк А.Б., Цапаева О.В., Миндубаев А.З., Миронина Л.Г., Зобов В.В. Пектины из нетрадиционных источников: технология, структура, свойства и биологическая активность. Казань, 2011. 224 с.
35. Креславский В.Д., Лось Д.А., Аллахвердиев С.И., Кузнецов В.В. Сигнальная роль активных форм O₂ при стрессе у растений // Физиология растений. 2012. Т. 59. №2. С. 163–178.
36. Britton G., Khachik F. Carotenoids in food // Carotenoids. Birkhauser, Basel, 2009. Vol. 5. Pp. 45–66.
37. Маслова Т.Г., Марковская Е.Ф., Слемнев Н.Н. Функции каротиноидов в листьях высших растений (обзор) // Журнал общей биологии. 2020. Т. 81. №4. С. 297–310. DOI: 10.31857/S0044459620040065.
38. Дымова О.В., Головки Т.К. Фотосинтетические пигменты в растениях природной флоры таежной зоны европейского северо-востока России // Физиология растений. 2019. Т. 66. №3. С. 198–206. DOI: 10.1134/S0015330319030035.
39. Шлык А.А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // Биохимические методы в физиологии растений. М., 1971. С. 154–171.
40. Kim S., Na J., Nie H., Kim J., Lee J., Kim S. Comprehensive transcriptome profiling of *Caragana microphylla* in response to salt condition using de novo assembly // Biotechnol. Lett. 2021. Vol. 43(1). Pp. 317–327. DOI: 10.1007/s10529-020-03022-9.
41. Зубова М.Ю., Николаева Т.Н., Нечаева Т.Л., Малькова Л.С., Загоскина Н.В. О содержании пигментов, фенольных соединений и антирадикальной активности молодых побегов чая (*Camellia sinensis* L.) // Химия растительного сырья. 2019. №4. С. 249–257. DOI: 10.14258/jcprm.2019046065.
42. Чупахина Г.Н., Масленников П.В., Скрыпник Л.Н., Чупахина Н.Ю., Федуряев П.В. Антиоксидантные свойства культурных растений Калининградской области. Калининград, 2016. 145 с.
43. Tai Z.-G., Cai L., Dai L., Sun W.-J., Zhe W., Yang Ya.-B., Cao Q.-E., Ding Zh.-T. Antioxidant Activities of *Caragana sinica* Flower Extracts and Their Main Chemical Constituents // Molecules. 2010. Vol. 15. Pp. 6722–6732. DOI: 10.3390/molecules15106722.

Поступила в редакцию 30 мая 2022 г.

После переработки 2 августа 2022 г.

Принята к публикации 3 ноября 2022 г.

Для цитирования: Храмова Е.П., Сыева С.Я., Кукушкина Т.А., Шалдаева Т.М. Биологически активные вещества и антиоксидантная активность растений рода *Caragana* из Горного Алтая // Химия растительного сырья. 2023. №1. С. 145–156. DOI: 10.14258/jcprm.2023011429.

Khramova E.P.^{1*}, Syeva S.Ya.², Kukushkina T.A.¹, Shaldaeva T.M.¹ BIOLOGICALLY ACTIVE COMPOUNDS AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF THE PLANTS FROM THE MOUNTAIN ALTAI OF THE *CARAGANA* GENUS¹ Central Siberian Botanical Garden SB RAS, ul. Zolotodolinskaya, 101, Novosibirsk, 630090 (Russia),

e-mail: khramova@ngs.ru

² Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnology, City Barnaul, Science Town, 35, 656910 (Russia)

The article presents Data on the content of biologically active compounds (BAC) and the total phenolic antioxidants activity (TPA) evaluated for aboveground organs of three species from the *Caragana* Genus – *C. bungei*, *C. pygmaea* и *C. spinosa*, growing in the Mountain Altai. It was determined that leaves and reproductive organs contain flavonols, catechins, tannins, carotenoids, pectin substances. It is shown that biologically active substances of a plant are synthesized differently depending on the species, habitat and organ of the plant. The highest level of flavonols (36.4 мг/г), tannins (117.2 мг/г) and carotenoids (0.56 мг/г) was registered in leaves of *C. spinosa*. Catechins predominantly accumulated in the leaves of *C. pygmaea* (up to 211.3 мг/100г) and inflorescences of *C. bungei* (up to 205 мг/г). The content of pectin substances was quite high, with the biggest share of protopectins. The highest level of protopectins was registered in inflorescences of *C. bungei* (5.81%) and leaves of *C. pygmaea* (3.58%). Pectins are synthesized more in the flowers of *C. bungei* (0.74%) and leaves of *C. spinosa* (0.49%). The highest values of antioxidant activity were found in the water–ethanol extracts from the leaves of *C. spinosa* (1.61 мг/г), which is probably due to the increased content of flavonols and tannins. It was shown that the antioxidant activity of *Caragana* plants is 71% determined by the content of tannins, 62% by the content of flavonols and 41% by the content of carotenoids. *C. spinosa* is more promising for finding sources of antioxidants.

Keywords: *Caragana*, *Fabaceae*, phenolic compounds, polysaccharides, photosynthetic pigments, antioxidant activity.

References

1. *Flora SSSR*. [Flora of the USSR], ed. V.L. Komarov, B.K. Shishkin. Moscow, Leningrad, 1945, vol. XI, pp. 327–368. (in Russ.).
2. Kurbatskiy V.I. *Flora Sibiri*. [Flora of Siberia]. Novosibirsk, 1994, vol. 9, pp. 13–20. (in Russ.).
3. *The Plant List*. URL: <http://www.theplantlist.org>.
4. Meng Q., Niu Y., Niu X., Roubin R.H., Hanrahan J.R. *Journal of Ethnopharmacology*, 2009, vol. 124, pp. 350–356. DOI: 10.1016/j.jep.2009.04.048.
5. Koropachinskiy I.Yu., Vstovskaya T.N. *Drevesnyye rasteniya Aziatskoy Rossii*. [Woody plants of Asiatic Russia]. Novosibirsk, 2002, pp. 408–420. (in Russ.).
6. *Drevesnyye rasteniya dlya ozeleneniya Novosibirska*. [Woody plants for landscaping in Novosibirsk], ed. I.Yu. Koropachinskiy. Novosibirsk, 2008, pp. 43–46. (in Russ.).
7. *Rastitel'nyye resursy Rossii: Dikorastushchiye tsvetkovyye rasteniya, ikh komponentnyy sostav i biologicheskaya aktivnost'*. [Plant resources of Russia: Wild flowering plants, their composition and biological activity], ed. L.M. Belevninskaya, Ye.Ye. Lesiovskaya. St. Petersburg, 2010, vol. 3, 601 p. (in Russ.).
8. He Q.-S., Zhang L., Fan Z.-Y., Feng G., Wang F.-J., Liu Zh.-Q., Tang T., Kuang Sh.-X. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2017, vol. 89, pp. 316–322. DOI: 10.1016/j.biopha.2017.01.106.
9. Dikhtyarenko V.V., Safonova M.Yu., Safonov V.V., Lesiovskaya Ye.Ye., Sakanyan Ye.I. *Rastitel'nyye resursy*, 2001, vol. 37, no. 2, pp. 51–56. (in Russ.).
10. Nikolayev V.O., Lesiovskaya Ye.Ye. *Rastitel'nyye resursy*, 2001, vol. 37, no. 2, pp. 56–61. (in Russ.).
11. Nikolayev V.O., Lesiovskaya Ye.Ye., Kherget T. *Rastitel'nyye resursy*, 2003, vol. 39, no. 2, pp. 42–48. (in Russ.).
12. *Opredelitel' rasteniy Respubliki Altay*. [Key to plants of the Republic of Altai], ed. I.M. Krasnoborov. Novosibirsk, 2012, 644 p. (in Russ.).
13. Irenchiy A.M., Minina S.A. *Rastitel'nyye resursy*, 2004, vol. 40, no. 3, pp. 96–101. (in Russ.).
14. Shpekina G.A. *Khimiya prirodnykh soyedineniy*, 1990, vol. 26, pp. 117–118. DOI: 10.1007/BF00605216. (in Russ.).
15. Olennikov D.N., Tankhaeva L.M., Partilkaev V.V. *Chem. Nat. Compd.*, 2012, vol. 47, pp. 988–990. DOI: 10.1007/s10600-012-0124-5.
16. Olennikov D., Tankhaeva L., Partilkaev V.V. *Chemistry of Natural Compounds*, 2012, vol. 48, pp. 114–117. DOI: 10.1007/s10600-012-0173-9.
17. Partilkaev V.V., Tankhaeva L.M., Olennikov D.N. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2013, no. 3, pp. 143–150. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.1301143.
18. Olennikov D.N., Tankhaeva L.M., Partilkaev V.V., Rokhin A.V. *Brazilian Journal of Pharmacognosy*, 2012, vol. 22(3), pp. 490–496. DOI: 10.1590/S0102-695X2012005000010.
19. Polovinko A.E., Yakovlev G.P. *Chemistry of Natural Compounds*, 1985, vol. 2, p. 268.
20. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii, XIV izdaniye*. [State Pharmacopoeia of the Russian Federation, XIV ed.]. Moscow, 2018, vol. IV, pp. 6081–6083. (in Russ.).
21. Denisenko T.A., Vishnikin A.B., Tsyganok L.P. *Analitika i kontrol'*, 2015, vol. 19, no. 4, pp. 373–380. DOI: 10.15826/analitika.2015.19.4.012. (in Russ.).
22. Kukushkina T.A., Zykov A.A., Obukhova L.A. *Aktual'nyye problemy sozdaniya novykh lekarstvennykh preparatov prirodno go proiskhozhdeniya: materialy VII Mezhdunarodnogo s"yezda*. [Actual problems of creating new drugs of natural origin: materials of the VII International Congress]. St. Petersburg, 2003, pp. 64–69. (in Russ.).
23. Sarkar S.K., Howarth R.E. *J. Agric. Food Chem.*, 1976, vol. 24, pp. 317–320. DOI: 10.1021/jf60204a041.

* Corresponding author.

24. Sun B., Ricardo-da-Silva J.M., Spranger I. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1998, vol. 46, pp. 4267–4274. DOI: 10.1021/jf980366j.
25. Fedoseyeva L.M. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2005, no. 2, pp. 45–50. (in Russ.).
26. Ryabinina E.I., Zotova E.E., Vetrova E.N., Ponomareva N.I. *Analitika i kontrol'*, 2011, vol. 15, no. 2, pp. 202–208. DOI: 10.15826/analitika.2015.19.3.001. (in Russ.).
27. Sudhir D., Munir Ch., Kirti S. *Critical reviews in food science and nutrition*, 1986, vol. 24, pp. 401–449. DOI: 10.1080/10408398609527441.
28. Denisenko T.A., Vishnikin A.B., Tsyganok L.P. *Analitika i kontrol'*, 2015, vol. 19, no. 3, pp. 242–251. DOI: 10.15826/analitika.2015.19.3.001. (in Russ.).
29. Kriventsov V.I. *Metodicheskiye rekomendatsii po analizu plodov na biokhimicheskiy sostav*. [Guidelines for the analysis of fruits for biochemical composition]. Yalta, 1982, 21 p. (in Russ.).
30. Yermakov A.I., Arasimovich V.V., Yarosh N.P. et. al. *Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy*. [Methods of biochemical research of plants]. Leningrad, 1987, 430 p. (in Russ.).
31. Kriventsov V.I. *Trudy Nikitskogo botanicheskogo sada*, 1989, no. 109, pp. 128–137. (in Russ.).
32. Fedina P.A., Yashin A.Ya., Chernousova N.I. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2010, no. 2, pp. 91–97. (in Russ.).
33. Voragen A.G.J., Coenen G.-J., Verhoef R.P., Schols H.A. *Struct. Chem.*, 2009, vol. 20, pp. 263–275. DOI: 10.1007/s11224-009-9442-z.
34. Minzanova S.T., Mironov V.F., Konovalov A.I., Vyshtakalyuk A.B., Tsepayeva O.V., Mindubayev A.Z., Mironova L.G., Zobov V.V. Pektiny iz netraditsionnykh istochnikov: tekhnologiya, struktura, svoystva i biologicheskaya aktivnost'. [Pectins from non-traditional sources: technology, structure, properties and biological activity]. Kazan, 2011, 224 p. (in Russ.).
35. Kreslavskiy V.D., Los' D.A., Allakhverdiyev S.I., Kuznetsov V.V. *Fiziologiya rasteniy*, 2012, vol. 59, no. 2, pp. 163–178. (in Russ.).
36. Britton G., Khachik F. *Carotenoids*. Birkhauser, Basel, 2009, vol. 5, pp. 45–66.
37. Maslova T.G., Markovskaya Ye.F., Slemnev N.N. *Zhurnal obshchey biologii*, 2020, vol. 81, no. 4, pp. 297–310. DOI: 10.31857/S0044459620040065. (in Russ.).
38. Dymova O.V., Golovko T.K. *Fiziologiya rasteniy*, 2019, vol. 66, no. 3, pp. 198–206, DOI: 10.1134/S0015330319030035. (in Russ.).
39. Shlyk A.A. *Biokhimicheskiye metody v fiziologii rasteniy*. [Biochemical methods in plant physiology]. Moscow, 1971, pp. 154–171. (in Russ.).
40. Kim S., Na J., Nie H., Kim J., Lee J., Kim S. *Biotechnol. Lett.*, 2021, vol. 43(1), pp. 317–327. DOI: 10.1007/s10529-020-03022-9.
41. Zubova M.Yu., Nikolayeva T.N., Nechayeva T.L., Malyukova L.S., Zagorskina N.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2019, no. 4, pp. 249–257. DOI: 10.14258/jcprm.2019046065. (in Russ.).
42. Chupakhina G.N., Maslennikov P.V., Skrypnik L.N., Chupakhina N.YU., Fedurayev P.V. *Antioksidantnyye svoystva kul'turnykh rasteniy Kaliningradskoy oblasti*. [Antioxidant properties of cultivated plants of the Kaliningrad region]. Kaliningrad, 2016, 145 p. (in Russ.).
43. Tai Z.-G., Cai L., Dai L., Sun W.-J., Zhe W., Yang Ya.-B., Cao Q.-E., Ding Zh.-T. *Molecules*, 2010, vol. 15, pp. 6722–6732. DOI: 10.3390/molecules15106722.

Received May 30, 2022

Revised August 2, 2022

Accepted November 3, 2022

For citing: Khranova E.P., Syeva S.Ya., Kukushkina T.A., Shaldaeva T.M. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2023, no. 1, pp. 145–156. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20230111429.