

УДК 573+57

ЛИПИДЫ, ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ И ПИГМЕНТЫ ЛИСТЬЕВ *DICTAMNUS CAUCASICUS* FISCH. EX GROSSH. (RUTACEAE)

© *Е.С. Богданова*^{1*}, *В.Н. Нестеров*¹, *С.А. Сенатор*^{1,2}, *В.М. Васюков*¹, *О.А. Розенцвет*¹

¹ Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Институт экологии Волжского бассейна РАН, ул. Комзина, 10, Тольятти, 445003 (Россия), e-mail: cornales@mail.ru

² Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, ул. Ботаническая, 4, Москва, 127276 (Россия)

Растения рода Ясенец (*Dictamnus*) являются источником химических соединений, обладающих различной биологической активностью – алкалоидов, горьких веществ, фурукумаринов, сапонинов, эфирного масла. В настоящей работе впервые приведен качественный и количественный состав компонентов – липидов, жирных кислот и пигментов, выделенных из листьев *Dictamnus caucasicus* Fisch. ex Grossh. (ясенца кавказского), также представляющих интерес для медицины и фармакологии. Растения отбирали в Самарской области, на территории которой в настоящее время *D. caucasicus* находится под угрозой исчезновения. Растительные экстракты анализировали методами высокоэффективной тонкослойной и газожидкостной хроматографии. Идентификацию полярных липидов проводили с применением специфических окрашивающих реагентов – антронового реактива, молибденового синего, реактива Драгендорфа, 0.2% раствора нингидрина. Нейтральные липиды идентифицировали с использованием искусственной смеси на основе стандартов – триацилглицерина (ТАГ), олеиновой кислоты (СЖК), холестерина (СТ), диацилглицерина (ДАГ). Показано, что основная группа липидов содержит в качестве структурных компонентов углеводные фрагменты – гликолипиды. Среди фосфолипидов обнаружено высокое содержание фосфатидилглицерина, а в нейтральных липидах – свободных и этерифицированных форм стериннов. В составе жирных кислот доминирует полиненасыщенная линоленовая кислота (C_{18:3n3}), а в пуле пигментов – хлорофилл *a*.

Ключевые слова: *Dictamnus caucasicus*, липиды, жирные кислоты, пигменты.

Введение

Dictamnus caucasicus Fisch. ex Grossh. (ясенец кавказский) – многолетнее травянистое растение высотой 80–100 см с крупными непарноперистыми листьями из семейства Rutaceae (Рутовые). Цветет в апреле–июне, имеет крупные цветки, собранные в кистевидные белые, розовые, красноватые или сиреневые соцветия. Это восточноевропейско-кавказский вид, произрастающий по опушкам широколиственных лесов, в зарослях кустарников [1]. Ясенец кавказский распространен на всей территории Европы, Южной Сибири, в горах Крыма, в Средней Азии. Однако в Среднем Поволжье в результате хозяйственной деятельности чело-

века и изменения фитоценологических условий, ясенец кавказский внесен в региональный список редких и находящихся под угрозой исчезновения растений Самарской области [2].

В последнее время большое внимание уделяется изучению химического состава растений рода Ясенец (*Dictamnus*) [3]. В листьях и корнях ясенцов обнаружены группы химических соединений, обладающих различной биологической активностью. В частности, к ним относятся алкалоиды, горькие вещества, фурукумарины, сапонины [5].

Богданова Елена Сергеевна – кандидат биологических наук, научный сотрудник, e-mail: cornales@mail.ru

Нестеров Виктор Николаевич – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, e-mail: nesvik1@mail.ru

Сенатор Степан Александрович – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, e-mail: stsenator@yandex.ru

Васюков Владимир Михайлович – кандидат биологических наук, научный сотрудник, e-mail: vvasjukov@yandex.ru

Розенцвет Ольга Анатольевна – доктор биологических наук, главный научный сотрудник, e-mail: olgarozen55@mail.ru

* Автор, с которым следует вести переписку.

Известно, что листья этих растений обильно выделяют эфирное масло, которое при совместном воздействии солнечных лучей способно вызвать фотодерматит (сильные, долго не заживающие ожоги) и контактный дерматит [4]. В то же время сведения о содержании в листьях растений липидов, жирных кислот (ЖК) и фотосинтетических пигментов ограничены или отсутствуют вовсе. Хотя эти компоненты представляют интерес для медицины и фармакологии [6]. Липиды и их ЖК широко применяют в пищевой, косметической и фармакологической промышленности в составе жировых эмульсий, мицеллярных композиций, липосомальных препаратов для «адресной» доставки лекарств [7, 8].

Липидные молекулы – это широкий класс соединений, которые в зависимости от структурных особенностей делятся на простые и сложные или нейтральные и полярные. Комплексы, образованные липидами, являются структурной основой всех биологических мембран. Они обладают свойствами специфических регуляторов внутриклеточных метаболических превращений, участвуют в межклеточных взаимодействиях, обеспечивают механическую прочность клеток [9].

Хлорофилл (Хл) и другие пигменты наравне с липидами являются ценными органическими веществами, обладающими ранозаживляющими, бактериостатическими, антиканцерогенными свойствами, антиоксидантными и радиозащитными свойствами [10].

Следует отметить, что химический состав растений может существенно меняться в зависимости от условий произрастания, стадии онтогенеза, локализации в отдельных органах. В этой связи цель работы состояла в изучении особенностей состава липидов, ЖК и фотосинтетических пигментов в листьях ясенца кавказского, произрастающего на территории Самарской области.

Экспериментальная часть

Растительный материал собран на территории Похвистневского района Самарской области во второй декаде июня 2017 г. Для биохимических анализов использовали одновозрастные срезанные листья из 12–15 растений. Из общей массы составляли три независимых биологических пробы по 0.2–2 г сырой массы. Для анализа липидов пробы деферментировали кипящим изопропанолом при 80 °С в течение 15 мин и до анализа в хранили темном холодном месте.

Выделение и анализ фотосинтетических пигментов. Содержание пигментов определяли в ацетоновой вытяжке (90%) на спектрофотометре ПромЭкоЛаб ПЭ-3000 УФ (Россия). Концентрацию Хл *a* и *b* измеряли при длинах волн 662 и 645 нм соответственно, каротиноидов (Кар) – при 470 нм. Расчет концентрации выделенных пигментов производили по методу [11].

Экстракция и анализ липидов. Липиды экстрагировали по методу [12]. Гликолипиды (ГЛ) разделяли методом одномерной тонкослойной хроматографии (ТСХ) на пластинках 10×10 см с закрепленным слоем силикагеля на металлической основе Сорбполимер (Россия). В качестве элюента использовали смесь ацетона : бензола : воды (91 : 30 : 8, по объему). Хроматограммы анализировали на денситометре Sorbfil (Россия) в режиме параболической аппроксимации по градуировочным кривым, используя в качестве стандарта моногалактозилдиацилглицерин (МГДГ). Для идентификации отдельных компонентов ГЛ использовали стандарты дигалактозилдиацилглицерин (ДГДГ) и сульфохиновозилдиацилглицерин (СХДГ) Sigma-Aldrich (США). Дополнительно проводили анализ ГЛ на содержание галактозы с помощью антронового реагента спектрофотометрическим методом при длине волны 620 нм [13]. Фосфолипиды (ФЛ) разделяли двумерной ТСХ на стеклянных пластинках Ленхром (Россия) размером 6×6 см с использованием систем растворителей в первом направлении – хлороформ : метанол : бензол : аммиак (130 : 60 : 20 : 12, по объему), во втором – хлороформ : метанол : бензол : ацетон : уксусная кислота (140 : 60 : 20 : 10 : 8, по объему). Количество каждого класса ФЛ определяли по содержанию неорганического фосфора по методу [14]. Нейтральные липиды (НЛ) разделяли одномерной ТСХ на пластинках 10×10 см с металлической основой с последовательным применением систем растворителей – толуол : гексан : муравьиная кислота (70 : 30 : 0.5, по объему) и гексан : диэтиловый эфир : муравьиная кислота (60 : 40 : 1, по объему) [15]. Количество НЛ определяли на денситометре Sorbfil (Россия). В качестве стандарта для построения калибровочных кривых использовали трипальмитат Sigma (США).

Получение и анализ жирных кислот. ЖК анализировали в виде метиловых эфиров. Метанолиз осуществляли кипячением в 5%-ном растворе HCl в метаноле в течение 1 ч. После охлаждения метиловые

эфирные ЖК экстрагировали гексаном и очищали с помощью ТСХ. Полученные эфиры анализировали на хроматографе Хроматэк Кристалл 5000.1 (Россия) в изотермическом режиме с использованием капиллярной колонки длиной 105 м и диаметром 0.25 мм RESTEK (США). Температура колонки – 180 °С, испарителя и детектора – 260 °С, скорость тока газа-носителя (гелий) – 2 мл/мин.

Статистическая обработка. Данные представлены как средние арифметические из трех биологических и трех аналитических повторностей и их стандартные ошибки.

Результаты и обсуждения

Как показали наши данные, суммарное содержание липидов, выделенных экстракцией из листьев ясенца кавказского, в среднем составляло 96.5 ± 1.4 мг/г, т.е. примерно 1% от сухой массы листьев. Большая часть липидов (69.3 ± 1.9 мг/г сухой массы) представлена ГЛ – производными глицерина, ЖК и углеводов. За ними следовали НЛ – 20.9 ± 2.0 мг/г и ФЛ – 6.3 ± 0.4 мг/г сухой массы.

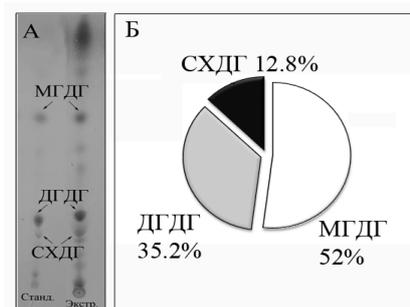
Известно, что ГЛ высших растений содержат остатки галактозы (МГДГ и ДГДГ) или 6-сульфохинозозы (СХДГ) [16]. Все три составляющих ГЛ при идентификации давали положительную реакцию с антроновым реактивом и идентичные со стандартами показания R_f (рис. 1А). Основной вклад в пул полярных ГЛ вносит МГДГ – 52.0% от суммы ГЛ, далее следует ДГДГ (35.2%) и СХДГ (12.8%) (рис. 1Б). Соотношение между компонентами в листьях ясенца кавказского является классическим с доминированием галактосодержащих липидов.

ФЛ подобно ГЛ являются сложными липидами, диацильными производными глицерина. В отличие от ГЛ они одержат не углеводный, а фосфорсодержащий фрагмент и связанными с ним добавочными группировками [9, 16]. С помощью специфических окрашивающих реагентов были обнаружены фосфорсодержащие компоненты: фосфатидилхолин (ФХ), фосфатидилэтаноламин (ФЭ), фосфатидилглицерин (ФГ), фосфатидилинозит (ФИ) и дифосфатидилглицерин (ДФГ). Среди них ФХ содержит холиновую группу, а ФЭ и фосфатидилсерин (ФС) – аминокгруппу (рис. 2А). Как правило, ФХ является доминирующим классом ФЛ, его содержание варьирует от 50.0 до 70.0% от суммы ФЛ [15]. Наши исследования показали, что в листьях ясенца кавказского отмечено необычно низкая концентрация ФХ (35.5%), но высокая – ФГ (45.5%) (рис. 2Б).

НЛ представляют собой комплекс разнотипных молекул, включающий как простые (углеводороды, спирты, воски (В)), так и сложные липиды, например, ди- и триацилглицерины (ДАГ, ТАГ) [19]. Кроме того, обязательным компонентом НЛ являются стерины (СТ) и их эфиры (ЭС) [20]. Идентификацию липидов проводили путем сравнения R_f на хроматографической пластине с известными стандартами. Для идентификации готовили искусственную смесь, состоящую из ТАГ, ДАГ, олеиновой кислоты $C_{18:1n9}$, холестерина. Качественный состав НЛ представлен на рисунке 3А. Количественное содержание липидов распределялось в следующей последовательности ЭС>ДАГ>СЖК>ТАГ>СТ>В (рис. 3Б). Особенностью состава НЛ в листьях ясенца кавказского является высокое содержание свободных и этерифицированных форм СТ, общее содержание которых достигает практически 25.4% суммы НЛ. В количестве 32.0% от суммы НЛ обнаружен неидентифицированный компонент Х.

Методом газожидкостной хроматографии в составе суммарных липидов идентифицировано 14 ЖК с длиной цепи от 12 до 24 атомов углерода (рис. 4А). Листья ясенца кавказского характеризовались наличием высокой концентрации ненасыщенных жирных кислот (75.7% от суммы ЖК) (рис. 4Б). Большая доля из них приходилась на линоленовую ЖК $C_{18:3n3}$ (64.5%). Далее по убыванию следовали линолевая ($C_{18:2n6}$)> $C_{18:1n9}$ >пальмитоолеиновая ($C_{16:1n9}$) ЖК. Насыщенные ЖК представлены в основном пальмитиновой кислотой ($C_{16:0}$) (19.2%).

Рис. 1. Компонентный состав гликолипидов листьев ясенца кавказского. А – одномерная хроматограмма качественного состава липидов, идентифицированных с помощью антронового реактива и свидетелей – МГДГ, ДГДГ и СХДГ; Б – количественное содержание липидов, % от суммы ГЛ



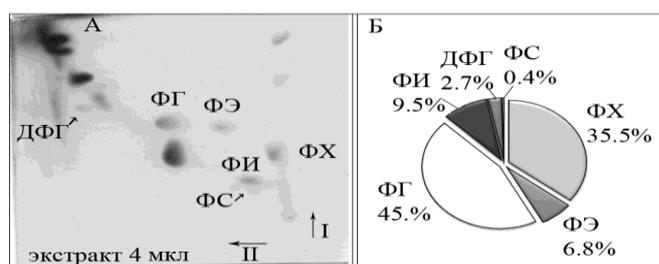


Рис. 2. Компонентный состав фосфолипидов листьев ясенца кавказского. А – двумерная хроматограмма качественного состава ФЛ. Для обнаружения и идентификации ФЛ использовали специфические реагенты: молибденовый синий для всех классов ФЛ [13], реактив Драгендорфа – для ФХ [18]; 0.2% раствора нингидрина – ФЭ и ФС [14]. I и II – направление системы. Б – количественное содержание липидов, % от суммы

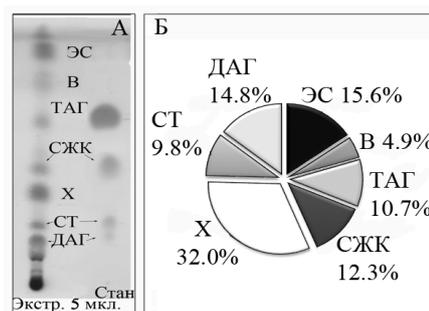


Рис. 3. Компонентный состав нейтральных липидов листьев ясенца кавказского. А – одномерная хроматограмма качественного состава НЛ. В качестве стандарта использовали искусственную смесь приготовленную из известных количеств ТАГ, СТ, СЖК, ДАГ; Б – количественное содержание липидов, % от суммы НЛ

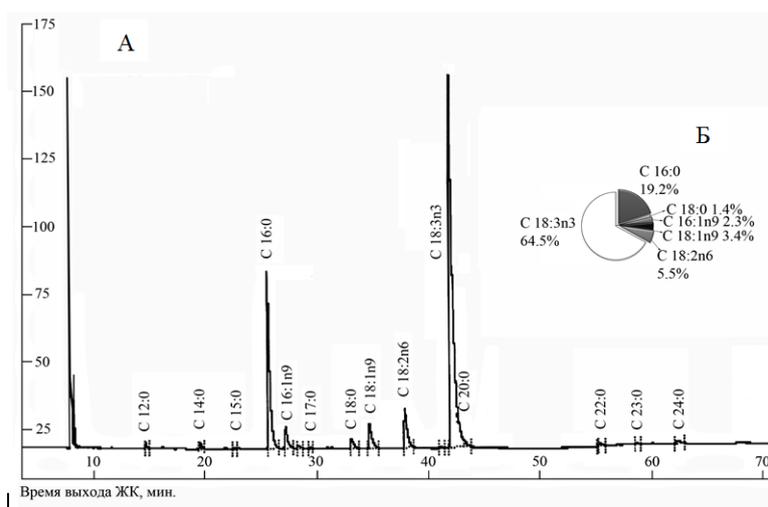


Рис. 4. Компонентный состав жирных кислот суммарных липидов листьев ясенца кавказского. Идентификацию ЖК проводили сравнением времени выхода ЖК исследуемого образца и стандарта «Supelco 37 Component FAME» (США). А – хроматограмма жирных кислот; Б – количественное содержание ЖК, % от суммы

Одной из функций липидов в растительных клетках является образование пигмент-липопротеидных комплексов с различной степенью агрегации [10]. Основными фотосинтетическими пигментами растений, участвующими в преобразовании энергии видимого света в энергию химических связей органических веществ, являются Хл и Кар. Исследования количественного содержания пигментов, выделенных из листьев растений, проводили известным методом измерения оптической плотности растворов при определенной длине волны [11]. Спектральную кривую регистрировали с помощью спектрофотометра. Дальнейший расчет концентрации пигментов показал, что содержание Хл *a* и *b* составляло 7.5 ± 0.6 и 2.7 ± 0.4 мг/г сухой массы, соответственно, а Кар – 1.8 ± 0.1 мг/г.

Выводы

Приведенный в данной работе фактический материал впервые характеризует качественный и количественный состав липидов, ЖК и фотосинтетических пигментов, выделенных из листьев ясенца кавказского,

произрастающего на территории Самарской обл. Результаты показали, что качественный состав обнаруженных липидов является типичным для высших растений. Основной группой липидов были ГЛ. Среди ФЛ обнаружено высокое содержание ФГ, а в НЛ – содержание свободных и этерифицированных форм СТ. ЖК состав растений характеризовался наличием высокого количества полиненасыщенной кислоты C_{18:3n3}, а пул пигментов – высоким содержанием Хл *a*.

Список литературы

1. Мустафина А.Н., Абрамова Л.М., Шигапов З.Х. Ясенец голоistolбиковый в Башкортостане: биология, структура популяций, интродукция, охрана. Уфа, 2014. С. 20–22.
2. Красная книга Самарской области. Т. 1. Редкие виды растений и грибов. Самара, 2017. С. 237.
3. Gao X., Zhao P.-H., Hua J.-F. Chemical constituents of plants from the genus *Dictamnus* // Chem. Biodiver. 2011. Vol. 8. Pp. 1234–1244. DOI: 10.1002/cbdv.201000132.
4. Клобукова-Алисова Е.Н. Дикорастущие полезные и вредные растения Башкирии. Л., 1960. Т. 1. 247 с.
5. Du C.F., Yang X. X., Tu P.F. Studies on chemical constituents in bark of *Dictamnus dasycarpus* // China J. Chin. Mater. Med. 2005. Vol. 30. Pp. 1663–1666.
6. Li J., Wang X., Zhang T., Wang C., Huang Z., Luo X., Deng Y. A review on phospholipids and their main applications in drug delivery systems // Asis. J. Pharm. Sci. 2015. Vol. 10. Pp. 81–98. DOI: 10.1016/j.ajps.2014.09.004.
7. van Hoogevest P., Wendel A. The use of natural and synthetic phospholipids as pharmaceutical excipients // Eur. J. Lipid Sci. Technol. 2014. Vol. 16. Pp. 1088–1107. DOI: 10.1002/ejlt.201400219.
8. Чекман И.С., Горчакова Н.А., Руденко А.В., Курик М.В., Орлов А.А., Загородный М.И., Осинья Л.М. Клинико-фармакологические свойства полиненасыщенных жирных кислот (обзор литературы и собственных исследований) // Журнал НАМН Украины. 2013. Т. 19. №3. С. 286–296.
9. Розенцвет О.А., Федосеева Е.В., Терехова В.А. Липидные биомаркеры в экологической оценке почвенной биоты: анализ жирных кислот // Успехи современной биологии. 2019. Т. 139. №2. С. 161–177. DOI: 10.1134/S0042132419020078.
10. İnanç A.L. Chlorophyll: structural properties, health benefits and its occurrence in virgin olive oils // Akademik Gıda. 2011. Vol. 9. Pp. 26–32.
11. Lichtenthaler H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes // Methods in enzymol. 1987. Vol. 148. Pp. 350–382. DOI: 10.1016/0076-6879(87)48036-1.
12. Blish E.G., Dyer W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification // Can. J. Biochem. Physiol. 1959. Vol. 37. Pp. 911–917.
13. Кейтс М. Техника липидологии. М., 1975. 323 с.
14. Vaskovsky V.E., Latyshev N.A. Modified Jungnickel s reagent for detecting phospholipids and other phosphorus compounds on thin-layer chromatograms // J. Chromatogr. 1975. Vol. 115. Pp. 246–249.
15. Rozentsvet O.A., Nesterov V.N., Bogdanova E.S. Membrane-forming lipids of wild halophytes growing under the conditions of Prieltonie of South Russia // Phytochemistry. 2014. Vol. 105. Pp. 37–42. DOI: 10.1016/j.phytochem.2014.05.007.
16. Guschina I.A., Harwood J.L. Strategies for Lipid Analysis. Encyclopedia of Analytical Chemistry. John Wiley & Sons, 2014. Pp. 1–17. DOI: 10.1002/9780470027318.a9920.
17. Li J., Wang X., Zhang T., Wang C., Huang Z., Luo X., Deng Y. A review on phospholipids and their main applications in drug delivery systems // Asian J. Pharm. Sci. IO. 2015. Pp. 81–98. DOI: 10.1016/j.ajps.2014.09.004.
18. Wagner H., Hörhammer L., Wolff P. Dünnschichtchromatographie von phosphatiden und glykolipiden // Biochem. Z. 1961. Vol. 334. Pp. 175–184.
19. Chapman K.D., Dyer J.M., Mullen R.T. Biogenesis and functions of lipid droplets in plants: thematic review series: lipid droplet synthesis and metabolism: from yeast to man // J. Lipid Res. 2014. Vol. 53. Pp. 215–226. DOI: 10.1194/jlr.r021436.
20. Валитова Ю.Н., Сулкарнаева А.Г., Минибаева Ф.В. Растительные стерины: многообразие, биосинтез, физиологические функции // Биохимия. 2016. Т. 81. №8. С. 1050–1068.

Поступила в редакцию 12 ноября 2019 г.

После переработки 20 февраля 2020 г.

Принята к публикации 2 апреля 2020 г.

Для цитирования: Богданова Е.С., Нестеров В.Н., Сенатор С.А., Васюков В.М., Розенцвет О.А. Липиды, жирные кислоты и пигменты листьев *Dictamnus caucasicus* Fisch. ex Grossh. (Rutaceae) // Химия растительного сырья. 2020. №3. С. 233–238. DOI: 10.14258/jcrpm.2020036635.

Bogdanova E.S.^{1}, Nesterov V.N.¹, Senator S.A.^{1,2}, Vasjukov V.M.¹, Rozentsvet O.A.¹* LIPIDS, FATTY ACIDS AND PIGMENTS OF LEAVES *DICTAMNUS CAUCASICUS* FISCH. EX GROSSH. (RUTACEAE)

¹Samara Federal Research Scientific Center RAS, Institute of Ecology of River Basin RAS, ul. Komzina, 10, Tolyatti, 445003 (Russia), e-mail.ru: cornales@mail.ru

²N.V. Tsitsin Main Botanical Garden, RAS, ul. Botanicheskaya, 4, Moscow, 127276 (Russian)

Plants of the genus *Dictamnus* are a source of chemical compounds with different biological activity – alkaloids, bitterness, furocoumarins, saponins, essential oils. In the present work, the qualitative and quantitative composition of components lipids, fatty acids, and pigments isolated from the leaves of *Dictamnus caucasicus* Fisch. ex Grossh. – is presented for the first time, also of interest for medicine and pharmacology. Plants were selected in the Samara region, on the territory of which *D. caucasicus* is currently under threat of extinction. Plant extracts were analyzed by high performance thin-layer and gas-liquid chromatography. Identification of polar lipids was carried out using specific reagents – anthrone reagent, molybdenum blue, Dragendorff's reagent, 0.2% ninhydrin solution. Neutral lipids were identified using a mixture of standards – triacylglycerol (TAG), oleic acid (FFA), cholesterol (ST), diacylglycerol (DAG). It was shown that the main group of lipids contains carbohydrate fragments – glycolipids as structural components. Among phospholipids, a high content of phosphatidylglycerol was found, and in neutral lipids – free and esterified forms of sterols. Polyunsaturated linolenic acid (C_{18:3n3}) dominates in the composition of fatty acids, and chlorophyll *a* dominates in the pigment pool.

Keywords: *Dictamnus caucasicus*, fatty acids, lipids, pigments.

References

1. Mustafina A.N., Abramova L.M., Shigapov Z.Kh. *Yasenets golostolbikovy v Bashkortostane: biologiya, struktura populyatsiy, introduktsiya, okhrana*. [Hollow-columnar ash in Bashkortostan: biology, population structure, introduction, protection]. Ufa, 2014, pp. 20–22. (in Russ.).
2. *Krasnaya kniga Samarskoy oblasti. T. 1. Redkiye vidy rasteniy i gribov*. [Red Data Book of the Samara Region. Vol. 1. Rare species of plants and fungi]. Samara, 2017, p. 237. (in Russ.).
3. Gao X., Zhao P.-H., Hua J.-F. *Chem. Biodiver.*, 2011, vol. 8, pp. 1234–1244. DOI: 10.1002/cbdv.201000132.
4. Klobukova-Alisova Ye.N. *Dikorastushchiye poleznye i vrednyye rasteniya Bashkirii*. [Wild useful and harmful plants of Bashkiria]. Leningrad, 1960, vol. 1, 247 p. (in Russ.).
5. Du C.F., Yang X.X., Tu P.F. *China J. Chin. Mater. Med.*, 2005, vol. 30, pp. 1663–1666.
6. Li J., Wang X., Zhang T., Wang C., Huang Z., Luo X., Deng Y. *Asis. J. Pharm. Sci.*, 2015, vol. 10, pp. 81–98. DOI: 10.1016/j.ajps.2014.09.004.
7. van Hoogevest P., Wendel A. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 2014, vol. 16, pp. 1088–1107. DOI: 10.1002/ejlt.201400219.
8. Chekman I.S., Gorchakova N.A., Rudenko A.V., Kurik M.V., Orlov A.A., Zagorodnyy M.I., Osinnaya L.M. *Zhurnal NAMN Ukrainy*, 2013, vol. 19, no. 3, pp. 286–296. (in Russ.).
9. Rozentsvet O.A., Fedoseyeva Ye.V., Terekhova V.A. *Uspekhi sovremennoy biologii*, 2019, vol. 139, no. 2, pp. 161–177. DOI: 10.1134/S0042132419020078. (in Russ.).
10. İnanç A.L. *Akademik Gıda*. 2011, vol. 9, pp. 26–32.
11. Lichtenthaler H.K. *Methods in enzymol*, 1987, vol. 148, pp. 350–382. DOI: 10.1016/0076-6879(87)48036-1.
12. Bligh E.G., Dyer W.J. *Can. J. Biochem. Physiol.*, 1959, vol. 37, pp. 911–917.
13. Keyts M. *Tekhnika lipidologii*. [Technique of lipidology]. Moscow, 1975, 323 p. (in Russ.).
14. Vaskovsky V.E., Latyshev N.A. *J. Chromatogr.*, 1975, vol. 115, pp. 246–249.
15. Rozentsvet O.A., Nesterov V.N., Bogdanova E.S. *Phytochemistry*, 2014, vol. 105, pp. 37–42. DOI: 10.1016/j.phytochem.2014.05.007.
16. Guschina I.A., Harwood J.L. *Strategies for Lipid Analysis. Encyclopedia of Analytical Chemistry*, John Wiley & Sons, 2014, pp. 1–17. DOI: 10.1002/9780470027318.a9920.
17. Li J., Wang X., Zhang T., Wang C., Huang Z., Luo X., Deng Y. *Asian J. Pharm. Sci. IO*, 2015, pp. 81–98. DOI: 10.1016/j.ajps.2014.09.004.
18. Wagner H., Hörhammer L., Wolff P. *Biochem. Z.*, 1961, vol. 334, pp. 175–184.
19. Chapman K.D., Dyer J.M., Mullen R.T. *J. Lipid Res.*, 2014, vol. 53, pp. 215–226. DOI: 10.1194/jlr.r021436.
20. Valitova Yu.N., Sulkarnayeva A.G., Minibayeva F.V. *Biokhimiya*, 2016, vol. 81, no. 8, pp. 1050–1068. (in Russ.).

Received November 12, 2019

Revised February 20, 2020

Accepted April 2, 2020

For citing: Bogdanova E.S., Nesterov V.N., Senator S.A., Vasjukov V.M., Rozentsvet O.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2020, no. 3, pp. 233–238. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2020036635.

* Corresponding author.