

УДК 547.915:543.544.43:543.572.3

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН НА СОДЕРЖАНИЕ ЖИРНОГО МАСЛА И ДРУГИХ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПЛОДАХ РАСТОРОПШИ ПЯТНИСТОЙ

© А.Ш. Рамазанов^{1,2*}, Ш.А. Балаева¹, О.Б. Рудаков³, И.А. Саранов⁴

¹ Дагестанский государственный университет, ул. М. Гаджиева, 43А, Махачкала, 367002 (Россия), e-mail: a_ramazanov@mail.ru

² Институт проблем геотермии и возобновляемой энергетики, филиал ОИВТ РАН, пр. И. Шамиля, 39а, Махачкала, 367030 (Россия)

³ Воронежский государственный технический университет, ул. 20-летия Октября, 84, Воронеж, 394006 (Россия)

⁴ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр. Революции, 19, Воронеж, 394036 (Россия)

Объектом исследования являлись плоды расторопши пятнистой [*Silybum marianum* (L.) Gaertn.] и жирное масло, полученное из них экстракцией гексаном в аппарате Сокслета.

Цель исследования – изучение влияния природно-климатических условий на накопление жирного масла и других БАВ в плодах расторопши пятнистой (РП), произрастающей на территории Республики Дагестан.

Установлено, что содержание жирного масла и белков в плодах расторопши пятнистой увеличивается с уменьшением температуры воздуха, ростом количества атмосферных осадков и влажности почвы на месте произрастания; содержание углеводов и флаволигнанов в исследуемых образцах плодов РП находится в обратной зависимости от содержания жирного масла.

Выявлено, что с увеличением количества осадков и уменьшением суммы активных температур при смене природно-климатической зоны от предгорного Кайтагского до высокогорного Кулинского района общее содержание ненасыщенных жирных кислот, в первую очередь линолевой кислоты, в образцах масла РП уменьшается.

Методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) изучены теплофизические свойства жирного масла дикорастущей РП, произрастающей в Кулинском, Левашинском и Кайтагском районах Дагестана. Результаты термического анализа хорошо согласуются с выводами, полученными по итогам химического и хроматографического анализа, ДСК позволяет выявить тенденции в изменении жирнокислотного и триглицеридного состава жирного масла РП в зависимости от природно-климатических условий произрастания РП.

Ключевые слова: расторопша пятнистая, *Silybum marianum*, плоды, климатические условия, биологически активные вещества, жирное масло, состав, теплофизические свойства.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта №МК-590.2020.8. Часть экспериментальных исследований проводили на базе Коллективного исследовательского центра им. проф. Ю.М. Борисова Воронежского государственного технического университета, который частично поддерживается Министерством науки и образования Российской Федерации, Проект №2021-2296-512-0001-060.

Введение

Содержание и состав биологически активных веществ (БАВ) в растениях являются генетически закрепленными признаками, но природно-климатические условия являются причиной колебания этих показателей [1, 2].

Рамазанов Арсен Шамсудинович – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой аналитической и фармацевтической химии, заведующий лабораторией, e-mail: a_ramazanov@mail.ru

Балаева Шамсият Абдулмеджидовна – старший лаборант кафедры аналитической и фармацевтической химии, e-mail: balashamsiyat@mail.ru

Важнейшими фенотипическими факторами в жизни растений являются тепло, свет, количество осадков, влажность окружающей среды и высота над уровнем моря, от которых зависят продолжительность вегетации, накопление действующих

Окончание на С. 208.

* Автор, с которым следует вести переписку.

щих веществ и масса самого растения. Следует отметить, что эти факторы могут влиять на накопления действующих веществ в ряде различных растений по-разному. Каждое растение имеет свой предельный минимум тепла, который позволяет ему полно и законченно завершить жизненный цикл. Например, для ксерофитов вреден излишек влаги, для гигрофитов, наоборот, вредны засушливые условия, мезофиты наиболее приспособлены к колебаниям влажности. По-разному влияет на динамику накопления действующих веществ в различных растениях и высота над уровнем моря [1].

Расторопша пятнистая [*Silybum marianum* (L) Gaertn.] является уникальным представителем семейства сложноцветных, благодаря содержанию целого клада биологически активных веществ (БАВ), в частности, она является источником ценных флаволигнанов, единственных природных гепатопротекторов, которые очень важны в современной медицине в связи с ростом заболеваний печени [3]. Не менее ценным компонентом РП является жирное масло с высоким содержанием незаменимых ненасыщенных жирных кислот, которые нашли свое применение в дерматологии и косметологии [3–5]. Шрот плодов РП содержит протеиногенные аминокислоты и минеральные вещества, благодаря чему используется для улучшения биологической ценности хлебобулочных изделий [6]. Являясь инвазивным, неприхотливым сорняком, РП произрастает на территории Республики Дагестан (далее Дагестан) практически во всех природно-климатических зонах. Она образует дикие заросли на заброшенных пахотных землях, необрабатываемых огородах, садах, по краям дорог и т.д. По содержанию флаволигнанов, жирного масла, минеральных веществ, белка РП, произрастающая в Дагестане, не уступает культивируемому [5–7].

В литературе нет данных о влиянии природно-климатических условий на накопление БАВ в плодах РП дикорастущей в Дагестане. В связи с этим целью исследования являлась изучение этого влияния на накопление БАВ в плодах РП, произрастающей на территории Дагестана.

Экспериментальная часть

Материалом для исследования были плоды РП, собранные после созревания в Кайтагском, Левашинском и Кулинском районах. Выбор районов обусловлен различием высоты над уровнем моря, климатических условий и почвенного состава [8, 9]. Плоды сушили воздушно-теньевым способом в хорошо проветриваемом помещении, без попадания прямых солнечных лучей.

Плоды РП представляли собой семечки длиной около 5–7 мм, шириной около 2–4 мм, массой 21 ± 1 мг, черного или коричневого с черными вкраплениями цвета. Общее содержание БАВ (жирное масло, флаволигнаны, углеводы) в плодах определяли по методикам, приведенным в Государственной фармакопее XIII издания [10]. Жирное масло в плодах определяли извлечением гексаном по методу Рушковского в аппарате Сокслета в течение 16 ч. Суммарное содержание флаволигнанов определяли спектрофотометрическим методом с предварительным извлечением 95% этиловым спиртом. В качестве раствора сравнения использовали стандартный раствор силибина. Общее содержание углеводов определяли измерением оптической плотности окрашенных растворов, образуемых при взаимодействии сахаров с пикриновой кислотой. Раствором сравнения служил раствор глюкозы. Содержание общего протеина определяли методом Кьельдаля, приведенного в ГФ XIII [10].

Физико-химические показатели всех образцов жирного масла определили по методикам, приведенным в [10]. Перед определением жирнокислотного состава образцов экстрактов триглицериды кислот переводили в метиловые эфиры раствором метилата натрия в метаноле по методике, приведенной в ГОСТ 31665-2012 [11]. Определение метиловых эфиров жирных кислот осуществляли на газовом хроматографе Agilent Technologies 7820A GC System Maestro оснащенным масс-селективным детектором Agilent Technologies 5975 Series MSD с ионизацией электронным ударом, энергия ионизации 70 эВ. Для разделения метиловых эфиров жирных кислот использовали кварцевую капиллярную колонку с малополярной неподвижной фазой HP – 5ms 30 м × 0.25 мм с толщиной пленки 0.25 мкм. Условия анализа: температура 185 °С, 50 мин изотерма. Идентификацию соединений осуществляли сравнением экспериментальных масс-спектров с библиотечными (Wiley275 и NIST98) масс-спектрами. Для градуировки хроматографа использовали стандартный раствор метиловых эфиров

Рудаков Олег Борисович – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой химии и химической технологии материалов, e-mail: gobi57@mail.ru
Саранов Игорь Александрович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры информационной безопасности, e-mail: mr.saranov@mail.ru

жирных кислот Supelco 37 Component FAME Mix. Количественное определение жирных кислот с C₁₄–C₂₀ проводили по площадям соответствующих пиков на хроматограмме, построенной по полному ионному току.

Для проведения термического анализа использовали прибор синхронного термического анализа STA 449 F3, Jupiter®, фирмы NETZSCH. Для анализа брали навески образцов жирного масла РМ в количестве 15–22 мг. Измерения теплофизических свойств проводили в диапазоне температур от -150 до +20 °С, скорость нагрева 3 и 5 °С/мин. Охлаждение системы осуществляли жидким азотом. Измерения выполняли в атмосфере гелия (расход продувочного газа – 10 мл/мин, расход защитного газа – 10 мл/мин. Точность измерения температуры составляла ± 0.3 °С.

Результаты и обсуждение

В таблице 1 приведены почвенно-климатические условия мест сбора лекарственного растительного сырья. Кайтагский район расположен в юго-восточной части Предгорного Дагестана, Левашинский район находится в горной части, Кулинский район – на границе внутригорного и высокогорного Дагестана. С увеличением высоты над уровнем моря места сбора РП уменьшается средняя дневная температура, количество солнечных дней и сумма активных температур, увеличивается влажность воздуха, сумма осадков и гидротермический коэффициент [8, 9]. Кайтагский район относится к засушливым районам, гидротермический коэффициент составляет 0.2, что в разы меньше 1.0. Левашинский район имеет оптимальные условия увлажнения, гидротермический коэффициент составляет 1.2. Увлажнение в Кулинском районе избыточное, гидротермический коэффициент составляет 2.4, что превышает оптимальное увлажнение в более чем в полтора раза [12].

В таблице 2 приведено суммарное содержание основных БАВ в плодах РП, произрастающей в разных районах Дагестана. Во всех образцах плодов РП, произрастающей в Дагестане, содержание БАВ сопоставимо с данными, приведенными в источниках [3, 13–18]. Известно, что синтез жирного масла в масличных растениях усиливается с уменьшением температуры воздуха, с ростом количества атмосферных осадков и влажности почвы [19–21]. В соответствии с этими факторами наибольшее содержание жирного масла обнаружено в плодах РП, собранных в Кулинском районе (29.7%), промежуточное – в Левашинском (28.2%) и наименьшее – в плодах, собранных в Кайтагском районе (26.0%), что, по-видимому, связано с уменьшением суммы активных температур и увеличением суммы осадков соответственно в этих районах (табл. 1 и 2).

Содержание углеводов в исследуемых образцах плодов РП находится в обратной зависимости от содержания жирного масла, так как углеводы служат материалом для синтеза жирного масла [12, 22, 23].

В работе [20] отмечается, что дефицитное орошение культивируемых сортов РП приводит к увеличению в них содержания флаволигнанов. Максимальное содержание флаволигнанов обнаружено в образцах плодов РП, собранных в Кайтагском районе (3.8%), где выпадает наименьшее количество осадков, среднее – в Левашинском (3.6%) и наименьшее – в Кулинском районе (3.4%). В этих районах с повышением высоты над уровнем моря уменьшается средняя дневная температура и количество солнечных дней, растет количество атмосферных осадков и гидротермический коэффициент.

В работах [24–26] показано, что с ростом количества осадков и суммы положительных температур выше 10 °С содержание белка в злаковых и бобовых культурах увеличивается. В нашем случае понижение температуры нивелируется повышением суммы атмосферных осадков. Этим можно объяснить, что в плодах, собранных в Кулинском районе, содержание белка чуть выше (13.8%), чем в плодах, собранных в Левашинском (13.4%) районе.

В научной литературе встречаются разные мнения о влиянии количества осадков, влажности почвы и суммы активных температур на образование жирного масла в семенах масличных растений и накопление в нем ненасыщенных жирных кислот [19, 21]. Исследуя процесс образования масла в различных растениях, С.Л. Иванов пришел к выводу, что из климатических факторов наибольшее влияние на процесс образования масла и накопление ненасыщенных жирных кислот в период созревания семян оказывает влажность почвы. Степень ненасыщенности масла в семенах снижается при уменьшении количества осадков и увеличении суммы температур в течение вегетационного периода [19]. В работе [21] подтверждается положительное влияние количества осадков и низких среднесуточных температур на накопление масла в семенах льна. Однако отмечается отрицательное влияние этих факторов на содержание ненасыщенных жирных кислот в масле льна.

В таблице 3 приведены физико-химические показатели и жирнокислотный состав масла плодов РП, произрастающей на территории Дагестана, и для сравнения литературные данные [27–33]. Из этих данных следует, что с увеличением количества осадков и уменьшением суммы активных температур при переходе с предгорного Кайтагского в высокогорный Кулинский район (табл. 1) выход масла увеличивается с 26 до 30%, но йодное число и, соответственно, общее содержание ненасыщенных жирных кислот в образцах масел РП уменьшается. Уменьшение общего содержания ненасыщенных жирных кислот в образцах масел РП подтверждают также результаты определения плотностей и показателей преломления этих масел. По-видимому, уменьшение значений этих показателей образцов масел связано в основном с уменьшением в них содержания линолевой кислоты.

Таблица 1. Почвенные и климатические условия (вегетационный период апрель-август 2019 г.) произрастания расторопши пятнистой в Республике Дагестан

Характеристика	Район (населенный пункт) сбора		
	Кайтагский (Маджалис)	Левашинский (Кутиша)	Кулинский (Хосрех)
Высота, м над уровнем моря	408	1593	2066
Тип почвы [8]	Аллювиально-луговой	Горно-каштановый	Горно-луговой
Содержание гумуса в почве [8]	2–4	2–4	6–10
pH почв [8]	7.0–7.5	7.0–7.3	6.0–6.1
Средняя дневная температура воздуха, °С [9]	25	24	20
Амплитуда температуры °С [9]	35	35	38
Количество солнечных дней [9]	68	73	46
Влажность воздуха, % [9]	45	52	55
Сумма осадков, мм [9]	59	332	515
Сумма активных температур, °С [9]	3111	2746	2173
ГТК*	0.2	1.2	2.4

ГТК* – гидротермический коэффициент; Величина ГТК в пределах 1.0–1.4 характеризует оптимальные условия увлажнения, более 1.4 – избыточные, менее 1.0 – засушливые условия [12].

Таблица 2. Содержание БАВ в плодах расторопши пятнистой, произрастающей в Республике Дагестан

Содержание, %	Район сбора			Литературные данные
	Кайтагский (Маджалис)	Левашинский (Кутиша)	Кулинский (Хосрех)	
Жирное масло	26.0	28.2	29.7	15.5–35 [3, 4, 13]
Углеводы	38.4	34.0	34.5	28.5–57.2 [15–17]
Белки	12.8	13.4	13.8	15.5–30.4 [17–18]
Флаволигнаны	3.8	3.6	3.4	1.5–4 [3, 13]

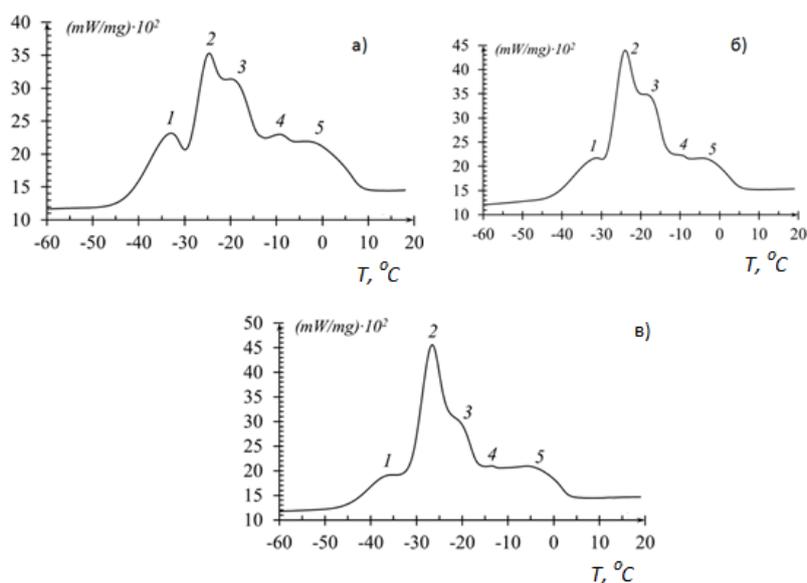
Таблица 3. Физико-химические показатели и жирнокислотный состав масла плодов расторопши пятнистой, произрастающей на территории Республики Дагестан

Наименование показателя	Район сбора			Литературные данные
	Кайтагский	Левашинский	Кулинский	
Плотность, г/см ³	0.9228	0.9219	0.9218	0.919 [27]
Показатель преломления	1.4704	1.4703	1.4698	1.4720 [27]
Число омыления, мгКОН/г	188	186	193	195–205 [28]
Кислотное число, мгКОН/г	4.2	3.5	3.7	1.49–5.48 [28]
Йодное число, гI ₂ /100г	115	112	110	95–117 [28]
Перекисное число, ммольО ₂ /кг	2.5	2.0	2.6	3.9–5.6 [28]
Выход масла, мас. %	26	28	30	20–30 [28]
Содержание жирных кислот, %				
Миристиновая (C14:0)	следы	0.2	0.2	0.09–0.17 [29–33]
Пальмитиновая (C16:0)	9.7	8.5	10.2	8.0–9.9 [29–33]
Линолевая (C18:2)	57.3	52.7	47.2	35–57 [29–33]
Олеиновая (C18:1)	24.7	29.2	29.0	21–33 [29–33]
Стеариновая (C18:0)	5.6	5.7	7.2	2.86–11 [29–33]
Эйкозеновая (C20:1)	0.9	0.3	1.4	–
Эйкозановая (C20:0)	1.8	3.4	4.8	2.7–6.9 [29–33]
Σ ненасыщенных	82.9	82.2	77.6	76.2–77.9 [32]
Σ насыщенных	17.1	17.8	22.4	22.1–22.5 [32]

Методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) изучены теплофизические свойства жирного масла дикорастущей РП в указанных районах Дагестана. Установлены характеристические тепловые эффекты для образцов масла – температуры максимумов эндотермических пиков на термограммах ДСК в 5 диапазонах: T₁ от -37.2 до -31.5 °С, T₂ от -26.7 до -24.1 °С, T₃ от -19.6 до -16.4 °С, T₄ от -13.5 до -8.2 °С и T₅ от -4.7 до -1.2 °С. (табл. 4). Максимум при T₁ отнесен к фракции триненасыщенных триацилглицеринов (ТАГ) – UUU, имеющих самые низкие T_{пл}. Наиболее выраженный максимум при T₂ формируется смесью фракций ТАГ UUU и – диненасыщенных, мононасыщенных ТАГ (UUS). Максимум при T₃ формируется смесью, содержащей преимущественно ТАГ UUS с примесью UUU и USS. Максимумы при T₄ и T₅ образуют фракции мононасыщенных и триненасыщенных ТАГ – USS и SSS [34]. На рисунке представлены примеры термограмм плавления образцов масла РП.

Термический анализ, выполненный по методологии [34], хорошо согласуется с выводами, полученными химическим и хроматографическим анализом.

В работе [34] дана интерпретация термограмм ДСК плавления жидких при комнатной температуре растительных масел. Согласно выводам этого исследования в области наиболее отрицательных температур (ниже $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$) характерны эндотермические эффекты ТАГ, содержащих преимущественно полиненасыщенные ЖК, в частности, обусловленные наличием в масле трилинолеата. На термограммах плавления масла РП (см. рисунок) этому эффекту соответствует 1 пик. Второй и третий пики формируют смеси три- и диненасыщенных фракций ТАГ (*UUU* и *UUS*), за образование третьего пика отвечает ТАГ с большим содержанием олеиновой кислоты. Наконец, 4 и 5 пики характеризуют наличие в ТАГ заметной доли пальмитиновой, стеариновой и эйкозановой кислот. Видно, что на положение максимумов эндотермических пиков в кривых плавления в условиях ДСК, а следовательно, и на жирнокислотный и триглицеридный состав жирного масла оказывают влияние условия произрастания сырья (высота над уровнем моря в местности произрастания РП, почва, содержание в ней гумуса, осадки, количество солнечных дней и др.). Например, для растительных масел, жидких при комнатной температуре, температуры максимумов эндотермических пиков T_1 и T_2 по данным [34] при увеличении суммы ненасыщенных жирных кислот смещаются в сторону более отрицательных значений, а T_4 и T_5 за счет увеличения доли насыщенных кислот в ТАГ смещаются в сторону менее отрицательных величин.



ДСК профили плавления масел рапсови пятнистой: а) Кулинский район; б) Левашинский район; в) Кайтагский район

Таблица 4. Значения температур максимумов эндотермических пиков T_i для образцов масла РП

Происхождение образца масла РП	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
Кулинский район	-32.4	-25.0	-18.3	-8.9	-1.2
Левашинский район	-31.5	-24.1	-16.4	-9.3	-3.0
Кайтагский район	-37.2	-26.7	-19.6	-13.5	-4.7

Заключение

Сравнение химических, физико-химических, хроматографических и теплофизических данных для высокогорных, равнинных и предгорных образцов жирного масла РП показало согласованные тенденции, связанные с фенотипическими факторами, а именно закономерным влиянием совокупности климатических условий Республики Дагестан на содержание и свойства жирного масла и других биологически активных веществ в плодах рапсови пятнистой. Для дальнейшего изучения влияния фенотипических факторов на химический состав РП целесообразно расширить число изучаемых природно-климатических зон. Вместе с тем полученные результаты уже можно рассматривать как первичный материал для дальнейшего мониторинга влияния естественных условий обитания, изменчивости погодных условий на месте произрастания в разные годы, на накопление, состав жирного масла и других БАВ в плодах рапсови пятнистой, произрастающей на территории Республики Дагестан.

Список литературы

1. Ефремов А.А., Шаталина Н.В., Стрижева Е.Н., Первышина Г.Г. Влияние экологических факторов на химический состав некоторых дикорастущих растений Красноярского края // Химия растительного сырья. 2002. №3. С. 53–56.
2. Тихонова О.А., Шеленга Т.В. Биологически активные вещества ягод черной смородины в условиях Северо-Запада России // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019. Т. 180. №3. С. 50–58. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-3-50-58.
3. Куркин В.А., Запесочная Г.Г., Авдеева Е.В., Рыжов В.М., Попова Л.Л., Грядунов П.Е. Расторопша пятнистая: монография. Самара, 2010. 118 с.
4. Цаприлова С.В., Родионова Р.А. Расторопша пятнистая: химический состав, стандартизация, применение // Вестник фармации. 2008. №3(41). С. 92–104.
5. Рамазанов А.Ш., Балаева Ш.А., Шахбанов К.Ш. Химический состав плодов и масла расторопши пятнистой, произрастающей на территории Республики Дагестан // Химия растительного сырья. 2019. №2. С. 113–118. DOI:10.14258/jcrpm.2019024441.
6. Рамазанов А.Ш., Балаева Ш.А. Аминокислотный состав плодов расторопши пятнистой, произрастающей на территории Республики Дагестан // Химия растительного сырья. 2020. №3. С. 215–223. DOI: 10.14258/jcrpm.2020036434.
7. Рамазанов А.Ш., Балаева Ш.А. Экстракция жирного масла из плодов расторопши пятнистой сверхкритическим диоксидом углерода // Сверхкритические флюиды: теория и практика. 2020. Т. 15. №4. С. 49–58.
8. Залибеков З.Г. Почвы Дагестана. Махачкала, 2010. 241 с.
9. Ну и погода [Электронный ресурс]. URL: <https://nuipogoda.ru/>.
10. Государственная фармакопея РФ. 13-е изд. М., 2015. Т. III. 1294 с.
11. ГОСТ 31665-2012. Масла растительные и жиры животные. Получение метиловых эфиров жирных кислот. М., 2019. 11 с.
12. Янчук Т.В., Макаркина М.А. Влияние метеорологических условий вегетационного периода на накопление сахаров и органических кислот в ягодах смородины черной // Современное садоводство. 2014. №2 (10). С. 63–69.
13. Мнацаканян В.А., Ананикян Г.С., Бабаханян М.А. Сравнительное изучение содержания жирного масла и флаволигнанов в семенах расторопши пятнистой *Silybum marianum* (L.) Gaertn. почвенного и гидропонического происхождения // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. №12-8. С. 1445–1447.
14. Zhang Z.S., Wang H.L., Li B.-Zh., Liming C. Constituents and thermal properties of milk thistle seed oils extracted with three methods // LWT – Food Science and Technology. 2020. Vol. 126. Pp. 109–282. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109282.
15. Apostol L., Iorga C.S., Mosoiu C. Nutrient composition of partially defatted milk thistle seeds // Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies. 2017. Vol. 21. Pp. 165–169.
16. Denev P.N., Ognyanov M.H., Georgiev Y.N., Teneva D.G., Klisurova D.I., Yanakieva I.Z. Chemical composition and antioxidant activity of partially defatted milk thistle seeds // Bulgarian Chemical Communications. 2020. Vol. 52. Pp. 182–187.
17. Воронова И.А. Агроэкологические аспекты возделывания расторопши пятнистой (*Silybum marianum* (L.) Gaertn.) в условиях лесостепи среднего Поволжья // Нива Поволжья. 2014. №1 (30). С. 23–29.
18. Keshavarz Afshar R., Chaichi M.R., Assareh M.H., Hashemi M., Liaghat A. Interactive effect of deficit irrigation and soil organic amendments on seed yield and flavonolignan production of milk thistle (*Silybum marianum* L. Gaertn.) // Industrial Crops and Products. 2014. Vol. 58. Pp. 166–172. DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.03.043.
19. Иванов С.Л. Климатическая теория образования органических веществ. М., 1961. 88 с.
20. Бражников В.Н., Бражникова О.Ф., Бражников Д.В. Влияние агроклиматических условий на продуктивность и жирнокислотный состав масла льна масличного // Таврический вестник аграрной науки. 2019. №4. С. 6–15. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-4-20-6-15.
21. Галицкий Д.Н., Шаманин В.П. Влияние условий окружающей среды на накопление масла в семенах льна масличного и его качество // Вестник НГАУ. 2016. №2. С. 18–24.
22. Лаксаева Е.А., Сычев И.А. Влияние некоторых факторов внешней среды на накопление биологически активных веществ в плодах Ирги обыкновенной // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова. 2009. №4. С. 137–142.
23. Гусейнова Б.М., Даудова Т.И. Экологические аспекты формирования биоконспекса в плодах дикорастущих ежевики и терна // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12. № 1-3. С. 675–678.
24. Кондратенко Е.П., Егушова Е.А., Сандрыкин Д.В., Пикулина О.И., Тюкало Г.Н. Влияние гидротермического режима на содержание белка и витаминов в зерне пшеницы в степной зоне Кемеровской области // Достижения науки и техники АПК. 2013. №6. С. 29–32.
25. Таланов И.П., Вильданова Г.В., Блохин В.И., Ланочкина М.А., Шайтанов О.Л., Ганиева И.С. др. Формирование белка в зерне сортов ячменя, возделываемых в Татарстане // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2016. Т. 11. №1. С. 10–15.

26. Пономарева С.В. Оценка сортов полевого гороха (*Pisum Arvense* L.) на содержание белка в зерне: взаимосвязи хозяйственно полезных признаков с погодно-климатическими условиями // *Зерновое хозяйство России*. 2020. №2. С. 13–17. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-68-2-13-17.
27. Дадаян А.С., Степанян Л.А., Петросян А.Р., Погосян А.С., Овсепян Г.Ц., Казарян С.Г., Дадаян С.А. Особенности технологий комплексной переработки облепихи крушиновидной (*Hipporhae*), расторопши пятнистой [*Silybum Marianum* (L.) Gaertn)] и миндаля обыкновенного (*Prunus Dulcis*) // *Химический журнал Армении*. 2020. Т. 73. №1. С. 89–101.
28. Meddeb W., Rezig L., Abderrabba M., Lizard G., Mejri M. Milk Thistle: An Investigation of the Chemical Composition and the Characterization of Its Cold-Pressed Seed Oils // *J. Mol. Sci.* 2017. Vol. 18. P. 2582. DOI: 10.3390/ijms18122582.
29. Куркин В.А., Сазонова О.В., Росихин Д.В., Рязанова Т.К. Жирнокислотный состав масла плодов расторопши пятнистой, культивируемой в Самарской области // *Химия растительного сырья*. 2017. №3. С. 101–105. DOI: 10.14258/jcprm.2017031727.
30. Bahl J.R., Bansal R.P., Goel R., Kumar S. Properties of the seed of a dwarf cultivar of the pharmaceutical silymarin producing plant *Silybum marianum* (L.) Gaertn. developed in India // *Indian Journal of Natural Products and Resources*. 2015. Vol. 6. Pp. 127–133.
31. Гасымова Ш.А., Новрузов Э.Н., Мехтиева Н.П. Изучение химического состава жирного масла из семян *Silybum marianum* (L.) Gaertn // *Химия растительного сырья*. 2017. №3. С. 107–111. DOI: 10.14258/jcprm.2017031585.
32. Zhang Z.-S., Wang S., Liu H., Li B.-Z., Che L. Constituents and thermal properties of milk thistle seed oils extracted with three methods // *LWT – Food Science and Technology*. 2020. Vol. 126. 109282. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109282.
33. Клейменова Н.Л. Жирнокислотный состав масла семян расторопши пятнистой, полученного методом холодного прессования // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2020. Т. 82. №4. С. 102–106. DOI: 10.20914/2310-1202-2020-4-102-106.
34. Саранов И.А., Рудаков О.Б., Полянский К.К., Клейменова Н.Л., Ветров А.В. Дифференциальная сканирующая калориметрия жидких растительных масел // *Химия растительного сырья*. 2020. №4. С. 157–164. DOI: 10.14258/jcprm.2020047603.

Поступила в редакцию 26 мая 2021 г.

После переработки 13 августа 2021 г.

Принята к публикации 20 августа 2021 г.

Для цитирования: Рамазанов А.Ш., Балаева Ш.А., Рудаков О.Б., Саранов И.А. Влияние климатических условий Республики Дагестан на содержание жирного масла и других биологически активных веществ в плодах расторопши пятнистой // *Химия растительного сырья*. 2021. №4. С. 207–215. DOI: 10.14258/jcprm.2021049668.

Ramazanov A.Sh.^{1,2*}, Balayeva Sh.A.¹, Rudakov O.B.³, Saranov I.A.⁴ THE INFLUENCE OF THE CLIMATIC CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF DAGESTAN ON THE CONTENT OF FATTY OIL AND OTHER BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES IN THE FRUITS OF MILK THISTLE SPOTTED

¹Dagestan state University, ul. M. Gadzhieva, 43A, Makhachkala, 367002 (Russia), e-mail: a_ramazanov@mail.ru

²Institute of Geothermal and Renewable Energy Problems, Branch of the Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences, pr. I. Shamilya, 39A, Makhachkala, 367030 (Russia)

³Voronezh state technical University, ul. 20-letiya Oktyabrya, 84, Voronezh, 394006, (Russia)

⁴Voronezh state University of engineering technologies, pr. Revolyutsii, 19, Voronezh, 394036 (Russia)

The object of the study was the fruits of milk thistle [*Silybum marianum* (L) Gaertn.] and fatty oil obtained from them by hexane extraction in the Soxhlet apparatus.

The aim of the study was to study the influence of natural and climatic conditions on the accumulation of fatty oil and other biologically active substances in the fruits of milk thistle growing on the territory of the Republic of Dagestan.

It was found that the content of fatty oil and proteins in the fruits of milk thistle increases with a decrease in air temperature, an increase in the amount of precipitation and soil moisture at the place of growth; the content of carbohydrates and flavonolignans in the studied samples of milk thistle fruits is inversely dependent on the content of fatty oil.

It was revealed that with an increase in the amount of precipitation and a decrease in the amount of active temperatures during the change of the natural and climatic zone from the foothill Kaitagsky to the high-mountain Kulinsky district, the total content of unsaturated fatty acids, primarily linoleic acid, in milk thistle oil samples decreases.

The method of differential scanning calorimetry has been used to study the thermophysical properties of the fatty oil of milk thistle growing in the Kulinsky, Levashinsky and Kaitagsky districts of Dagestan. The results of the thermal analysis are in good agreement with the conclusions obtained from the results of chemical and chromatographic analysis, differential scanning calorimetry allows us to identify trends in the change in the fatty acid and triglyceride composition of milk thistle fatty oil, depending on the natural and climatic conditions of the growth of milk thistle.

Keywords: milk thistle, *Silybum marianum*, fruits, climatic conditions, biologically active substances, fatty oil, composition, thermophysical properties.

References

1. Yefremov A.A., Shatalina N.V., Strizheva Ye.N., Pervyshina G.G. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2002, no. 3, pp. 53–56. (in Russ.).
2. Tikhonova O.A., Shelenga T.V. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii*, 2019, vol. 180, no. 3, pp. 50–58. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-3-50-58. (in Russ.).
3. Kurkin V.A., Zapesochnaya G.G., Avdeyeva Ye.V., Ryzhov V.M., Popova L.L., Gryadunov P.Ye. *Rastoropsha pyatnistaya: Monografiya*. [Milk thistle: monograph]. Samara, 2010, 118 p. (in Russ.).
4. Tsaprilova S.V., Rodionova R.A. *Vestnik farmatsii*, 2008, no. 3(41), pp. 92–104. (in Russ.).
5. Ramazanov A.Sh., Balayeva Sh.A., Shakhbanov K.Sh. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2019, no. 2, pp. 113–118. DOI:10.14258/jcprm.2019024441. (in Russ.).
6. Ramazanov A.Sh., Balayeva Sh.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2020, no. 3, pp. 215–223. DOI: 10.14258/jcprm.2020036434. (in Russ.).
7. Ramazanov A.Sh., Balayeva Sh.A. *Sverkhkriticheskiye flyuidy: teoriya i praktika*, 2020, vol. 15, no. 4, pp. 49–58. (in Russ.).
8. Zalibekov Z.G. *Pochvy Dagestana*. [Soils of Dagestan]. Makhachkala, 2010, 241 p. (in Russ.).
9. *Nu i pogoda* [Well, the weather]. URL: <https://nuipogoda.ru/>. (in Russ.).
10. *Gosudarstvennaya farmakopeya RF, 13-oye izd.* [State Pharmacopoeia of the Russian Federation, 13th ed.]. Moscow, 2015, vol. III, 1294 p. (in Russ.).
11. *GOST 31665-2012. Masla rastitel'nyye i zhiry zhivotnyye. Polucheniyе metilovykh efirov zhirnykh kislot*. [GOST 31665-2012. Vegetable oils and animal fats. Obtaining methyl esters of fatty acids]. Moscow, 2019, 11 p. (in Russ.).
12. Yanchuk T.V., Makarkina M.A. *Sovremennoye sadovodstvo*, 2014, no. 2 (10), pp. 63–69. (in Russ.).
13. Mnatsakanyan V.A., Ananikyan G.S., Babakhanyan M.A. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 2015, no. 12-8, pp. 1445–1447. (in Russ.).
14. Zhang Z.S., Wang H.L., Li B.-Zh., Liming C. *LWT – Food Science and Technology*, 2020, vol. 126, pp. 109–282. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109282.
15. Apostol L., Iorga C.S., Mosoiu C. *Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies*, 2017, vol. 21, pp. 165–169.
16. Denev P.N., Ognyanov M.H., Georgiev Y.N., Teneva D.G., Klisurova D.I., Yanakieva I.Z. *Bulgarian Chemical Communications*, 2020, vol. 52, pp. 182–187.
17. Voronova I.A. *Niva Povolzh'ya*, 2014, no. 1 (30), pp. 23–29. (in Russ.).
18. Keshavarz Afshar R., Chaichi M.R., Assareh M.H., Hashemi M., Liaghat A. *Industrial Crops and Products*, 2014, vol. 58, pp. 166–172. DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.03.043.
19. Ivanov S.L. *Klimaticheskaya teoriya obrazovaniya organicheskikh veshchestv*. [Climatic theory of the formation of organic matter]. Moscow, 1961, 88 p. (in Russ.).
20. Brazhnikov V.N., Brazhnikova O.F., Brazhnikov D.V. *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki*, 2019, no. 4, pp. 6–15. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-4-20-6-15. (in Russ.).
21. Galitskiy D.N., Shamanin V.P. *Vestnik NGAU*, 2016, no. 2, pp. 18–24. (in Russ.).

* Corresponding author.

22. Laksayeva Ye.A., Sychev I.A. *Rossiyskiy mediko-biologicheskiy vestnik imeni akademika I.P. Pavlova*, 2009, no. 4, pp. 137–142. (in Russ.).
23. Guseynova B.M., Daudova T.I. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2010, vol. 12, no. 1-3, pp. 675–678. (in Russ.).
24. Kondratenko Ye.P., Yegushova Ye.A., Sandrykin D.V., Pikulina O.I., Tyukalo G.N. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2013, no. 6, pp. 29–32. (in Russ.).
25. Talanov I.P., Vil'danova G.V., Blokhin V.I., Lanochkina M.A., Shaytanov O.L., Ganiyeva I.S. dr. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2016, vol. 11, no. 1, pp. 10–15. (in Russ.).
26. Ponomareva S.V. *Zernovoye khozyaystvo Rossii*, 2020, no. 2, pp. 13–17. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-68-2-13-17. (in Russ.).
27. Dadayan A.S., Stepanyan L.A., Petrosyan A.R., Pogosyan A.S., Ovsepyan G.Ts., Kazaryan S.G., Dadayan S.A. *Khimicheskiy zhurnal Armenii*, 2020, vol. 73, no. 1, pp. 89–101. (in Russ.).
28. Meddeb W., Rezig L., Abderrabba M., Lizard G., Mejri M. *J. Mol. Sci.*, 2017, vol. 18, p. 2582. DOI: 10.3390/ijms18122582.
29. Kurkin V.A., Sazonova O.V., Rosikhin D.V., Ryazanova T.K. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2017, no. 3, pp. 101–105. DOI: 10.14258/jcprm.2017031727. (in Russ.).
30. Bahl J.R., Bansal R.P., Goel R., Kumar S. *Indian Journal of Natural Products and Resources*, 2015, vol. 6, pp. 127–133.
31. Gasmova Sh.A., Novruzov E.N., Mekhtiyeva N.P. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2017, no. 3, pp. 107–111. DOI: 10.14258/jcprm.2017031585. (in Russ.).
32. Zhang Z.-S., Wang S., Liu H., Li B.-Z., Che L. *LWT – Food Science and Technology*, 2020, vol. 126, 109282. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109282.
33. Kleymenova N.L. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy*, 2020, vol. 82, no. 4, pp. 102–106. DOI: 10.20914/2310-1202-2020-4-102-106. (in Russ.).
34. Saranov I.A., Rudakov O.B., Polyanskiy K.K., Kleymenova N.L., Vetrov A.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2020, no. 4, pp. 157–164. DOI: 10.14258/jcprm.2020047603. (in Russ.).

Received May 26, 2021

Revised August 13, 2021

Accepted August 20, 2021

For citing: Ramazanov A.Sh., Balayeva Sh.A., Rudakov O.B., Saranov I.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2021, no. 4, pp. 207–215. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2021049668.

