

Оригинальная статья / Original article

УДК 577.13;581.6

DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-81-94

Статья публикуется в авторской редакции / The article is published in author's edition



Экспериментальное изучение структуры изменчивости природных популяций *Origanum vulgare* L. из Горного Дагестана

Абдулахид М. Мусаев, Гаджи К. Раджабов, Аслан М. Алиев, Фатима И. Исламова

Горный ботанический сад ДФИЦ РАН, Махачкала, Россия

Контактное лицо

Абдулахид М. Мусаев, старший научный сотрудник
Горного ботанического сада Дагестанского
федерального научного центра; 367015 Россия,
г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 79.

Тел. +79285157298

Email musaev-58@list.ruORCID <https://orcid.org/0000-0002-9005-1324>

Формат цитирования

Мусаев А.М., Раджабов Г.К., Алиев А.М.,
Исламова Ф.И. Экспериментальное изучение
структуры изменчивости природных популяций
Origanum vulgare L. из Горного Дагестана // Юг
России: экология, развитие. 2023. Т.18, N 3. С. 81-
94. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-81-94

Получена 2 мая 2023 г.

Прошла рецензирование 11 июня 2023 г.

Принята 10 августа 2023 г.

Резюме

Цель. Выявление пластичности и стабильности, а также оценка межпопуляционной дифференциации по накоплению вторичных метаболитов в эколого-географическом эксперименте с двумя модельными популяциями *Origanum vulgare* L., относящимся к разным подвидам и викарирующих вдоль высотного градиента.

Материал и методы. Эколого-географический эксперимент с пересаженными растениями *Origanum vulgare* L. на двух экспериментальных базах (высота 1100 и 1730 м), моделирующих условия горно-долинного и верхнего горного поясов. Суммарное содержание антиоксидантов устанавливалось электрохимическим методом. Эфирное масло получали гидродистилляцией на аппарате Клевенджера. Компонентный состав масла установлен на газовом хроматографе с масс-спектрометрическим детектором. Идентификация компонентов проводилась при помощи библиотек масс-спектров.

Результаты. Проведено изучение структуры изменчивости по выходу и компонентному составу эфирного масла, а также суммарной антиоксидантной активности у двух популяций *Origanum vulgare* L., относящихся к разным подвидам. Выявлены закономерности, позволяющие отнести изученные популяции к предгорному и высокогорному экотипам.

Выводы. Выход эфирного масла и содержание суммарных антиоксидантов четко скоррелированы с условиями на экспериментальных участках и не связаны с микроэволюционными процессами под контролем абиотических факторов высотного градиента.

Ключевые слова

Межпопуляционная дифференциация, экотипы, высотный градиент, терпеноиды, антиоксиданты, эфирные масла.

Experimental study of the structure of variability of natural populations of *Origanum vulgare* L. from mountainous Dagestan, Russia

Abdulakhid M. Musaev, Gadzhi K. Radzhabov, Aslan M. Aliyev and Fatima I. Islamova

Mountain Botanical Garden of the Dagestan Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

Principal contact

Abdulvahid M. Musaev, Senior Researcher, Mountain Botanical Garden, Dagestan Federal Scientific Centre; 79 M. Yaragskogo St, Makhachkala, 367015 Russia.

Tel. +79285157298

E-mail musaev-58@list.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9005-1324>

How to cite this article

Musaev A.M., Radzhabov G.K., Aliyev A.M., Islamova F.I. Experimental study of the structure of variability of natural populations of *Origanum vulgare* L. from mountainous Dagestan, Russia. *South of Russia: ecology, development*. 2023, vol. 18, no. 3, pp. 81-94. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2023-3-81-94

Received 2 May 2023

Revised 11 July 2023

Accepted 10 August 2023

Abstract

Aim. To identify plasticity and stability and to evaluate interpopulation differentiation in terms of accumulation of secondary metabolites in an ecological and geographical experiment with two model populations of *Origanum vulgare* L., belonging to different subspecies and vicarious along the altitudinal gradient.

Material and Methods. Ecological and geographical experiment with transplanted plants of *Origanum vulgare* L. at two experimental bases, at altitudes of 1100 and 1730 m and simulating the conditions of the mountain-valley and upper mountain belts. The total content of antioxidants was determined by the electrochemical method. The essential oil was obtained by hydrodistillation on a Clevenger apparatus. The component composition of the oil was established on a gas chromatograph with a mass spectrometric detector. Components were identified using mass spectra libraries.

Results. We studied the structure of variability in the yield and component composition of essential oil, as well as the total antioxidant activity in two populations of *Origanum vulgare* L. belonging to different subspecies. Regularities have been revealed that make it possible to attribute the studied populations to foothill and highland ecotypes.

Conclusions. The yield of essential oil and the content of total antioxidants are clearly correlated with the conditions in the experimental plots and are not associated with microevolutionary processes under the control of abiotic factors of the altitudinal gradient.

Key Words

Interpopulation differentiation, ecotypes, altitudinal gradient, terpenoids, antioxidants, essential oils.

ВВЕДЕНИЕ

Origanum vulgare L. – широко распространенное в умеренном и субтропическом климате северного полушария пряно-ароматическое и лекарственное растение [1–2]. Широкая экологическая амплитуда произрастания предполагает, соответственно, высокую полиморфность и изменчивость вида по биохимическим и морфологическим признакам [3–5].

В работах датского исследователя Итсворта [6–7] впервые был проанализирован обширный материал по данному виду и на основе изучения гербарного материала выделено 6 подвидов. Более подробно эту часть работы можно посмотреть в карте распространения подвидов душицы [8].

К сожалению, при этих исследованиях и выделении подвидов была охвачена только часть ареала вида, а именно европейская часть, Турция и Северная Африка. Вся европейская часть бывшего СССР, а также длинный «хвост» между Центральной Азией и Сибирью, а также горные регионы Кавказа остались неисследованными.

В этой связи, следует напомнить о горных районах с их сложным и расчлененным рельефом, а также наличием географических барьеров, способствующих стабилизирующему отбору изолированных популяций, который детерминирует морфологическую изменчивость и способствует увеличению приспособленности к локальной среде [9–11].

Основное разнообразие рода *Origanum* L., сосредоточено в Малой Азии (Турецкая республика) [12]. На Кавказе и, в частности, в Дагестане распространен один вид – *Origanum vulgare* L. [13–14]

Нами ранее были проведены рекогносцировочные исследования душицы по всему ареалу распространения ее в Горном Дагестане и заложены некоторые популяционно-экологические эксперименты [15], которые позволили нам сделать следующие предварительные выводы:

1. В Дагестане *O. vulgare* встречается от равнин до высокогорий (50–2100 м над уровнем моря).

2. Популяции с высоких предгорий и высокогорий (800–2100 м над уровнем моря) в эколого-географических экспериментах ведут себя как классические климатипы (экоотипы сформированные под воздействием климата) [16–18]. Популяции с равнин и низких предгорий выбиваются из закономерностей характерных для этого ряда климатипов и их фенология напоминает фенологию греческих или южно-итальянских популяций с очень ранним и продолжительным цветением и вторичным цветением осенью [19–20].

3. Эти две группы популяций морфологически различаются, в основном из-за различий в интенсивности окраски околоцветника, числа цветков в соцветии. Однако неоднократная проверка с выездом осенью на места произрастания природных популяций показала, что никакого осеннего или вторичного цветения у равнинных популяций не наблюдается.

Поэтому целью данной работы явилось сравнительное изучение двух природных популяций, собранных в предгорье (Талгинское ущелье, 550 м над уровнем моря) и в высокогорье (Гунибское плато, 1830 м над уровнем моря) по композиционному составу эфирного масла и его выходу, а также содержанию

суммарных антиоксидантов в эколого-географическом эксперименте.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА**Методика эколого-географического эксперимента**

В 2010 г., в период цветения были выкопаны и пересажены живые растения из природных популяций с условными названиями «Талги» и «Гуниб» на заранее подготовленные опытные участки на экспериментальных базах Горного ботанического сада ДФИЦ РАН, на Цудахарскую экспериментальную базу (ЦЭБ, 1100 м над уровнем моря, координаты СШ 42°19'40.11", ВД 47°0'52.97" по GPS) и Гунибскую экспериментальную базу (ГЭБ, 1730 м. над уровнем моря, координаты СШ 42°24'05.04", ВД 46°55'04.26" по GPS). При сборе растений для пересадки выдерживалась не менее 40 м расстояния между растениями, во избежание попадания клонов (одинаковых генотипов) в выборку. Всего было пересажено по 40 генотипов (особей) с каждой популяции. Через три года, в 2014 году, растения были срезаны на фазе массового цветения для проведения дальнейших анализов. Срок в три года, на наш взгляд достаточный, чтобы растения полностью акклиматизировались к новым условиям.

Часть растений выпала за 3 года в силу разных причин, поэтому малая выборка для анализов формировалась по принципу наименьшей выборки, то есть число особей, отбираемых для анализа должно было быть одинаковым с каждой популяции и с каждого опытного участка. Поэтому получилось, что из каждой популяции выборка для анализа формировалась из 25 растений (всего 50 на двух участках). В том же году были собраны выборки из растений (сырье для анализов) из мест первоначального произрастания популяций, т.е. из популяций «Талги» и «Гуниб», также из 25 растений, с соблюдением 40 метрового расстояния между ними.

Растения высушивались в тени, в условиях Гунибской экспериментальной базы и осенью 2014 года из них были получены эфирные масла на аппарате Клевенджера, а также определены суммарные антиоксиданты (в мг/г воздушно сухого сырья). Влажность воздушно сухого сырья 13 %.

Поскольку различия между генотипами не оценивались, данный эксперимент можно отнести к эколого-географическим с двухфакторной структурой организации.

Экспериментальные базы**Гунибская экспериментальная база (ГЭБ)**

Среднегодовая температура воздуха 6,7°C, с абсолютным максимумом температуры июля–августа 36°C, абсолютным минимумом температуры января -26°C. Количество солнечных дней в году – 333, средняя продолжительность солнечного сияния – 2250 часов. При среднем количестве осадков 680 мм их годовой ход носит отчетливый одновершинный характер с июньско-июльским максимумом 80–90 % годовой суммы. Почвы бурые лесные и горно-луговые черноземовидные каменисто-щебнистые и маломощные.

Цудахарская экспериментальная база (ЦЭБ)

Среднегодовая температура воздуха 10,1°C с абсолютным максимумом в июле–августе до 40°C, абсолютным минимумом в январе до -23°C. Среднее

количество безморозных дней 270. среднее количество осадков за зимний период около 40 мм, максимальное в июне–июле – 85. Почвы сухостепные, каменисто-щебнистые, маломощные, хрящеватые.

Гидродистилляция

Эфирное масло экстрагировали перегонкой с паром, на приборе Клевенджера определяли содержание масла (мл/100 г), перегонкой с водяным паром в течение 3 ч. при температуре кипения, в 3-кратной повторности в каждом варианте опыта, всего 6-кратно для каждого образца.

Композиционный анализ экстрактов

Композиционный анализ экстрактов проводили на хромато-масс-спектрометре Shimadzu GCMS-QP2010 plus на капиллярной колонке Supelco SLB-5ms (30 м × 0,25 мм × 0,25 μm) в режиме «сплит». В качестве газа-носителя использовался гелий высокой чистоты (99,9999 %) с расходом 1 мл/мин. Температуру колонки повышали от 60°C (время выдержки 4 мин) до 150°C со скоростью 10°C/мин, затем до 250°C со скоростью 5°C/мин. Температура инжектора, интерфейса и детектора составляла 250°C. Ионизация осуществлялась электронным ударом с энергией электронов 70 эВ. Ток катодной эмиссии 60 мкА, диапазон регистрируемых ионов 45–500 м/з. Идентификацию компонентов проводили с помощью библиотек масс-спектров NIST08 и FFNSC, а также литературных источников [21]. Перед анализом навеску разбавляли н-гексаном в 1000 раз. Вводили 1 мл разбавленной навески с разделением 1:40.

Метод определения общего содержания антиоксидантов (СОА)

Общее содержание антиоксидантов определяли амперометрическим методом на анализаторе «Цвет Яуза 01 – АА», основанном на измерении электрического тока в электрохимической ячейке, возникающего при приложении к электроду определенного потенциала. При построении градуировочного графика для исключения случайных результатов готовили растворы галловой кислоты (Sigma-Aldrich, чистота >98,5 %) массовой концентрации 0,2; 0,4; 2,0; 4,0 мг/л, и проведено 5 последовательных измерений, из которых 3 повторности учитывались при статистической обработке. В качестве элюента использовали ортофосфорную кислоту (Компонент-реактив, РФ) молярной долей 0,0022 моль/дм³. Данная методика была выбрана потому что она более устойчива к ошибкам, связанным с факторами внешней среды при проведении измерений и результаты хорошо коррелируют с методикой, принятой для измерения суммарных антиоксидантов в ФАО, где качестве стандарта используют не галловую кислоту, как в нашем случае, а синтетический водорастворимый аналог токоферола – тролокс. Более подробно с данным методом можно ознакомиться в нашей работе [22] или в работах разработчиков метода [23–24].

Статистические расчеты

Статистические расчеты проводились с использованием лицензионного пакета статистических программ от StatSoft, Statistica 5.5. Результаты представлены как

среднее значение ± стандартная ошибка. Значимость при $p < 0,05$ оценивали с помощью иерархического двухфакторного дисперсионного анализа по методу главных эффектов. В кластерном анализе в качестве меры расстояния использовалось евклидово расстояние. Дендрограммы строились методом полного сцепления.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты определения таксономического статуса популяций. Биосистематический статус модельных популяций, фенологические и морфологические особенности межпопуляционной дифференциации

Как уже упоминалось выше, внутривидовая классификация вида по Итсворту [6] *O. vulgare* на 6 подвидов, однако материал с кавказских популяций в данной работе не исследовался, поэтому определение биосистематического статуса модельных популяций представлял большой интерес.

Визуально растения из предгорной популяции выглядели более опушенными, и с более растянутым сроком цветения, что связано с большим числом цветков на одном колоске и с большим числом колосков на терминальном соцветии.

Определение проводилось на гербарном материале, собранном в природных популяциях и на экспериментальных участках в 2012–2013 годах, который хранится в гербарии Горного ботанического сада ДФИЦ РАН (акроним DAG).

По итогам определения предгорная популяция была отнесена к подвиду *O. vulgare ssp. viride*, Высокогорная определена как *O. vulgare ssp. vulgare*.

Сравнительный анализ содержания суммарных антиоксидантов.

Суммарные антиоксиданты являются интегральным показателем приспособленности организма к варьирующим условиям среды. Лабильность или стабильность этого показателя, на наш взгляд, может косвенно оценить адаптивный потенциал и устойчивость к неблагоприятным факторам среды.

Результаты представлены в таблице 1. (дескриптивная статистика) и в таблице 2. (двухфакторный дисперсионный анализ). Также на рисунке 1 показаны профили изменчивости этого показателя в зависимости от происхождения и места посадки. По результатам видно, что статистически достоверные различия связаны только с высотой над уровнем моря произрастания в природной или интродукционной популяции и не связаны с особенностями экотипа или подвида в целом, что нами первоначально выдвигалось в качестве рабочей гипотезы. Компонента дисперсии оценивающая вклад в общую изменчивость различия между вариантами посадки или произрастания забрала 100 % изменчивости, а различия между образцами по первоначальному происхождению являются случайными и данный фактор не контролирует изменчивость суммарных антиоксидантов (табл. 2). Из таблицы 1 и рисунка 1 можно сделать вывод, что в условиях эксперимента у обеих популяций видно заметное линейное возрастание количества суммарных антиоксидантов на участке, расположенном на высоте 1650 м по сравнению с участком на высоте 1100 метров.

Таблица 1. Дескриптивные статистики суммарного содержания антиоксидантов в вариантах эксперимента
Table 1. Descriptive statistics of the total content of antioxidants in the variants of the experiment

Уровни фактора Level of factor	Варианты эксперимента Experimental variants	N	Среднее ± ст. ошибка, (мг/г) Average ± st. error, (mg/g)	CV, (%)
Total		18	24,6 ± 1,19	20,49
{1}pop	Гуниб / Gunib	9	24,2 ± 2,19	27,08
{1}pop	Талги / Talgi	9	25,1 ± 1,07	12,8
{2}site	Гуниб NP / Gunib NP	3	31,8 ± 0,00	0
{2}site	Талги NP / Gunib NP	3	27,3 ± 0,00	0
{2}site	Талги GEB / Talgi GEB	3	27,2 ± 0,00	0
{2}site	Гуниб GEB / Gunib GEB	3	24,1 ± 0,00	0
{2}site	Гуниб TEB / Gunib TEB	3	16,6 ± 0,06	0
{2}site	Талги TEB / Talgi TEB	3	20,8 ± 0,00	0

Примечание: NP – природная популяция, GEB – Гунибская экспериментальная база, TEB – Цудахарская экспериментальная база
 Note: NP – natural populations, GEB – Gunib experimental base, TEB – Tsudakhar experimental base

Таблица 2. Двухфакторный дисперсионный анализ данных по накоплению суммарных антиоксидантов в эколого-географическом эксперименте с двумя подвидами *Origanum vulgare* L.

Table 2. Two-factor analysis of variance of data on the accumulation of total antioxidants in an ecological and geographical experiment with two subspecies of *Origanum vulgare* L.

MS Type: I	Результаты двухфакторного дисперсионного анализа по показателям накопления суммарных антиоксидантов						
	Results of two-factor analysis of variance for indicators of accumulation of total antioxidants						
	Effect (F/R)	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p
Участки сбора сырья Raw material collection areas	Random	2	181,0732	2	33,01104	5	0,154196
Популяции Populations	Random	1	3,9387	2	33,01104	0	0,762727
1*2	Random	2	33,0110	12	0,00002	1485497	0,000000

Примечание: Результаты ANOVA для синтезированных ошибок: степень свободы ошибки вычислена по методу Саттертуэйта
 Note: ANOVA Results for Synthesized Errors: Error computed using Satterthwaite method

Как видно из таблицы 2, единственным существенным и статистически достоверным влиянием на накопление суммарных антиоксидантов обладает взаимодействие факторов, которое объясняет 100 % изменчивости в данном дисперсионном комплексе. Ни участки выращивания, ни межпопуляционная дифференциация не оказывают существенного и достоверного влияния на различия между вариантами эксперимента.

Однако на рисунке 1 наглядно видно, что наблюдаемое взаимодействие факторов связано с неоднородностью самих вариантов эксперимента. Если исключить данные по природным популяциям, то взаимодействие факторов по-прежнему остается существенным и достоверным эффектом, влияющим на структуру изменчивости, однако доля варианты,

объясняемая взаимодействием, снижается со 100% до 1% (рис. 2). Оба подвида (популяции) параллельно снижают показатели содержания антиоксидантов в надземной части со снижением высоты над уровнем моря места посадки. Структура изменчивости кардинально меняется, что показано в таблице 3. Хотя влияние обоих учитываемых факторов недостоверно по общепринятому уровню достоверности $p \leq 0,05$, что связано с малым числом степеней свободы, мы посчитали необходимым учесть влияние обоих факторов при расчетах компонент дисперсии (рис. 2). Как видно из рисунка 2, доля вариантов, объясняемая взаимодействием факторов, равна 1 %, а факториальные компоненты дисперсии равны 77,9 % по участкам и 21,1 по популяциям соответственно.

Таблица 3. Двухфакторный дисперсионный анализ данных по накоплению суммарных антиоксидантов в эколого-географическом эксперименте с двумя подвидами *Origanum vulgare* L. с исключением данных по природным популяциям
Table 3. Two-factor analysis of variance of data on the accumulation of total antioxidants in an ecological-geographical experiment with two subspecies of *Origanum vulgare* L., data on natural populations

MS Type: I	Результаты двухфакторного дисперсионного анализа по показателям накопления суммарных антиоксидантов						
	Results of two-factor analysis of variance for indicators of accumulation of total antioxidants						
	Effect (F/R)	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p
Участки сбора сырья Raw material collection areas	Random	1	143,4517	1	0,924075	155,24	0,050986
Популяции Populations	Random	1	39,4219	1	0,924075	42,66	0,096718
1*2	Random	1	0,9241	8	0,000025	36963,00	0,000000

Примечание: Результаты ANOVA для синтезированных ошибок: степень свободы ошибки вычислена по методу Саттертуэйта
 Note: ANOVA Results for Synthesized Errors: Error computed using Satterthwaite method

Таким образом подтвердились наши первоначальные предположения о важности воздействия комплекса абиотических факторов высотного градиента на биосинтез этой группы вторичных метаболитов важности

микроразволюционных факторов, сформировавших подвиды как естественно-историческую структуру со своим гомеостазом, влияющим на уровень синтеза антиоксидантов.

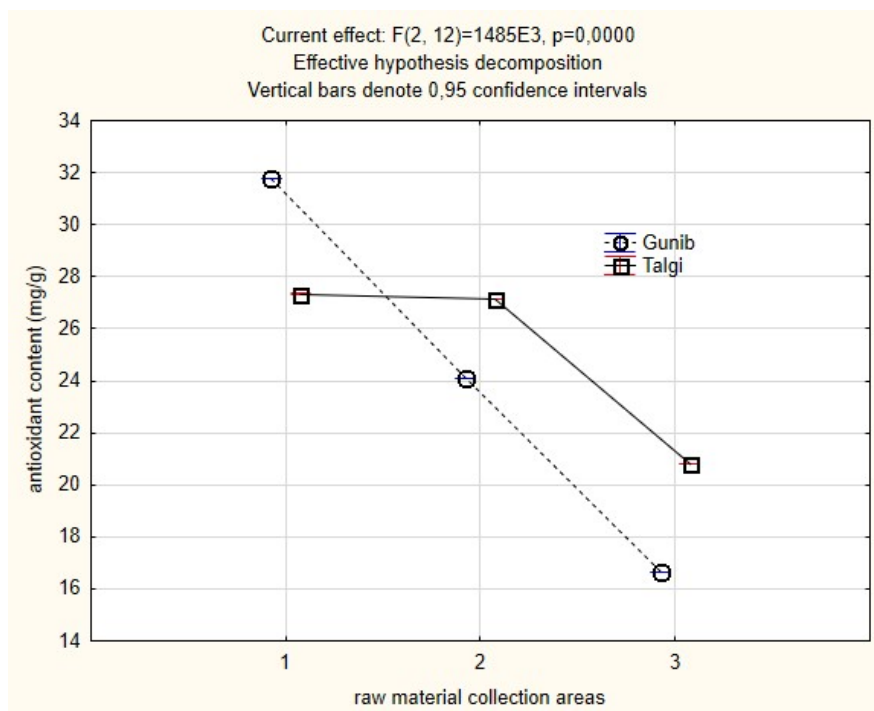


Рисунок 1. Профили изменчивости двух популяций *Origanum vulgare* L. относящихся к разным подвидам, в зависимости от участка произрастания по содержанию суммарных антиоксидантов в воздушно-сухом сырье в надземной части в период массового цветения: 1 – природные популяции, 2 – Цудахарская экспериментальная база, 3 – Гунибская экспериментальная база

Figure 1. Variation profiles of two populations of *Origanum vulgare* L. belonging to different subspecies, depending on the area of growth according to the content of total antioxidants in air-dry raw materials in the aerial part during the period of mass flowering: 1 – natural populations, 2 – Tsudakhar experimental base, 3 – Gunib experimental base

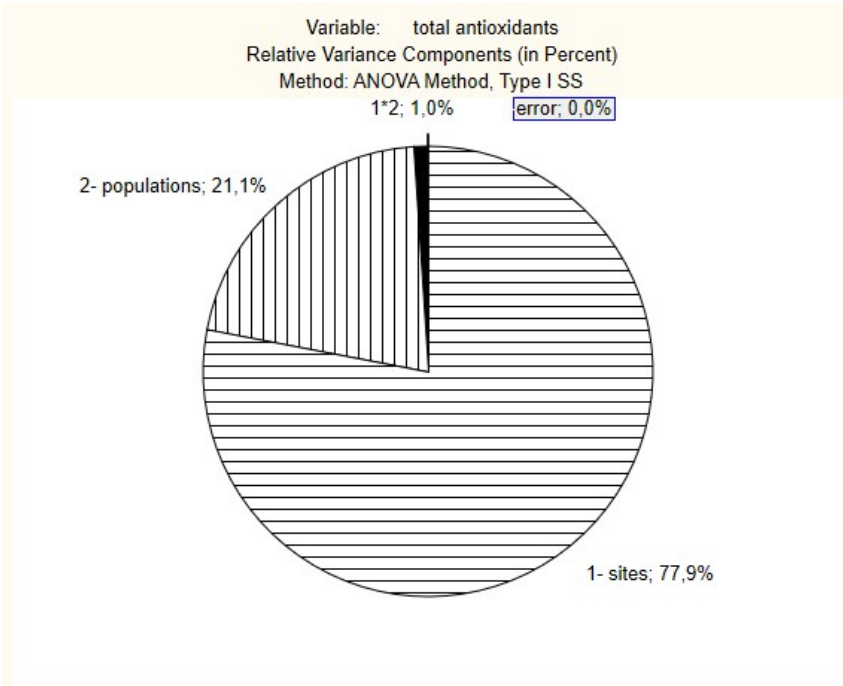


Рисунок 2. Компоненты дисперсии по содержанию суммарных антиоксидантов при обработке материала без учета данных по природным популяциям

Figure 2. The components of the variance in the content of total antioxidants during material processing without taking into account data on natural populations

Сравнительный анализ выхода эфирного масла

Вопрос продуктивности или выхода эфирного масла, а также выявление и оценка факторов, которые его контролируют, очень важен и актуален с точки зрения экономической ботаники. Экспериментального материала в этом отношении накоплено мало и по нему не представляется возможным сделать какие-либо обобщения.

Для *Origanum vulgare* L., вида с широким ареалом и морфологически дифференцированным на ряд групп, объединяемых в подвиды, характерен больший выход эфирного масла для южных популяций и поэтому, в нашей работе, мы спланировали эксперимент таким образом, чтобы выявить межпопуляционную дифференциацию у максимально удаленных пространственно и морфологически изолированных популяций, представленных двумя подвидами.

Таблица 4. Deskriptivnye statistiki po nakopleniyu эфирного масла душицы обыкновенной (*Origanum vulgare* L.) в зависимости от пункта сбора и выращивания

Tables 4. Descriptive statistics on the accumulation of essential oil of oregano (*Origanum vulgare* L.) depending on the point of collection and cultivation

Варианты эксперимента Experimental variants	N	Среднее ± ст. ошибка Average ± st. error	CV%
Total	18	0,14 ± 0,02	47,14
Гуниб / Gunib	9	0,15 ± 0,02	39,8
Талги / Talgi	9	0,12 ± 0,02	58,3
Гуниб NP / Gunib NP	3	0,09 ± 0	0,7
Талги NP / Talgi NP	3	0,21 ± 0	0
Гуниб GEB / Gunib GEB	3	0,15 ± 0	3,8
Талги GEB / Talgi GEB	3	0,08 ±	7,2
Гуниб TEB / Gunib TEB	3	0,23 ±	2,4
Талги TEB / Talgi TEB	3	0,06 ±	0

Примечание: NP – природная популяции, GEB – Гунибская экспериментальная база, TEB – Цудахарская экспериментальная база

Note: NP – natural populations, GEB – Gunib experimental base, TEB – Tsudakhar experimental base

Таблица 5. Двухфакторный дисперсионный анализ по выходу эфирного масла в эколого-географическом эксперименте с двумя подвидами *Origanum vulgare* L.

Table 5. Two-factor analysis of variance of data on the accumulation of essential oil in an ecological and geographical experiment with two subspecies of *Origanum vulgare* L.

MS Type: I	Результаты двухфакторного дисперсионного анализа по выходу эфирного масла Results of two-factor analysis of variance for indicators of accumulation of essential oil						
	Effect (F/R)	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p
Участки сбора сырья Raw material collection areas	Random	2	0,002058	2	0,031695	0,065	0,939017
Популяции Populations	Random	1	0,006013	2	0,031695	0,190	0,705647
1*2	Random	2	0,031695	12	0,000017	1895,385	0,000000

Примечание: Результаты ANOVA для синтезированных ошибок: степень свободы ошибки вычислена по методу Саттертуэйта

Note: ANOVA Results for Synthesized Errors: Error computed using Satterthwaite method

Как видно из таблицы 4 и рисунка 3, структура изменчивости по выходу эфирного масла весьма зависима от климатических условий высотного градиента. Гунибская популяция при пересадке с высоты 1800 м на 1650 и 1100 м над уровнем моря почти линейно увеличивает выход эфирного масла, а популяция из Талги наоборот снижает. При этом талгинская популяция, относящаяся к другому подвиду, при пересадке на вышестоящие экспериментальные базы, реагирует резким снижением продуктивности, при этом на высоте 1100 метров над уровнем моря (ЦЭБ) выход масла ненамного меньше, чем на Гунибской экспериментальной базе, статистически достоверных различий между ними нет.

Подвид *O. vulgare ssp. viride*, к которому относится талгинская популяция, в условиях посадки на высокогорные и горно-долинные условия (Гунибская и Цудахарская экспериментальные базы соответственно),

обладала растянутым цветением, почти втрое превышавшим аналогичный период у Гунибской популяции и в этих условиях, резко снизила выход эфирного масла.

Подвид *O. vulgare ssp. vulgare*, наоборот, чем ниже высаживался от исходной популяции, тем больше увеличивался выход эфирного масла.

По итогам дисперсионного анализа данных по выходу эфирного масла получилась почти такая же картина что и по выходу суммарных антиоксидантов, т.е. вся изменчивость достоверно объясняется лишь взаимодействием факторов, а сами факторы «происхождение популяции» и «место посадки» не имеют достоверного влияния на итоговый результат (табл. 5). Поэтому нами было решено, как и в случае с суммарными антиоксидантами рассмотреть вариабельность данных исключением данных по природным популяциям. Результаты представлены в таблице 6.

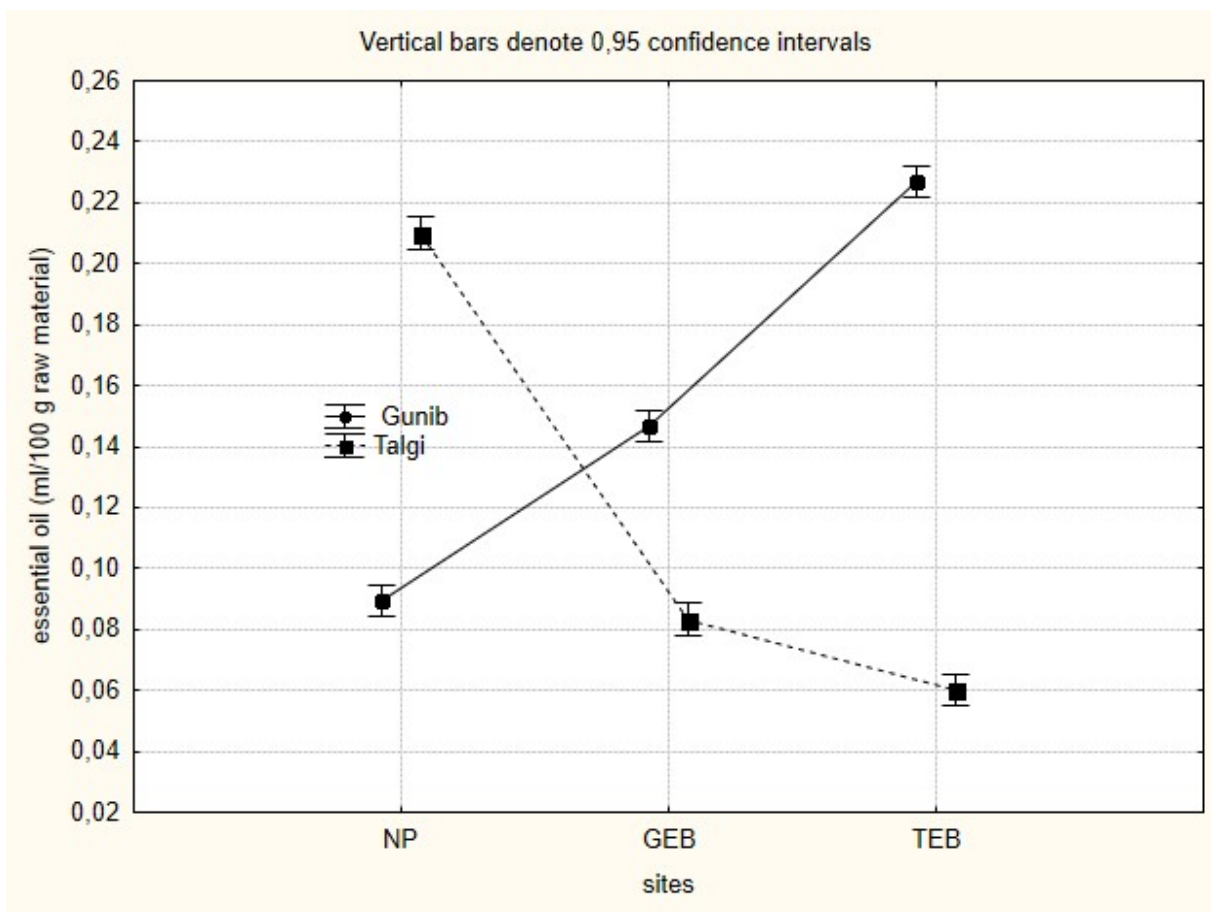


Рисунок 3. Профили изменчивости двух популяций *Origanum vulgare* L. относящихся к разным подвидам, в зависимости от участка произрастания по выходу эфирного масла в воздушно-сухом сырье в надземной части в период массового цветения: NP – природные популяции natural populations, GEB – Гунибская экспериментальная база, TEB – Цудахарская экспериментальная база

Figure 3. Variation profiles of two populations of *Origanum vulgare* L. belonging to different subspecies, depending on the site of growth by the yield of essential oil in air-dry raw materials in the aerial part during the period of mass flowering: NP – natural populations, GEB – Gunib experimental base, TEB – Tsudakhar experimental base

Таблица 6. Двухфакторный дисперсионный анализ по выходу эфирного масла в эколого-географическом эксперименте с двумя подвидами *Origanum vulgare* L., с исключением данных по природным популяциям

Table 6. Two-factor analysis of variance of data on the accumulation of essential oil in an ecological and geographical experiment with two subspecies of *Origanum vulgare* L. with the exclusion of data on natural populations

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа по выходу эфирного масла							
Results of two-factor analysis of variance for indicators of accumulation of essential oil							
	Effect (F/R)	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p
{1}Var5	Random	1	0,002408	1	0,008008	0,3007	0,680669
{2}Var6	Random	1	0,039675	1	0,008008	4,9542	0,268813
1*2	Random	1	0,008008	8	0,000025	320,3333	0,000000

Примечание: Результаты ANOVA для синтезированных ошибок: степень свободы ошибки вычислена по методу Саттертуэйта
 Note: ANOVA Results for Synthesized Errors: Error computed using Satterthwaite method

Как видно из таблицы 6, по-прежнему, взаимодействие факторов является единственным достоверно подтвержденным предиктором, контролирующим выход эфирного масла, хотя компонента дисперсии фактора «происхождение популяций» тоже можно учесть, поскольку F-критерий имеет значение 4,9542, но нулевая гипотеза опровергается не только на уровне 28,9 %. Тем не менее, доля вариации этого фактора в общем дисперсионном комплексе оказалась наибольшей, и ее доля составила 66,3 %, а доля взаимодействия факторов 33,4 (рис. 4).

Влияние абиотических факторов, в том числе комплекса факторов высотного градиента на морфологические и биохимические признаки *Origanum vulgare* L. обсуждается во многих работах [15–18]. В нашем случае совершенно очевиден факт высокой пластичности и вторичных метаболитов, (суммарных антиоксидантов и компонентов эфирного масла) под влиянием участка выращивания (суммарные антиоксиданты) или происхождения популяций (эфирные масла).

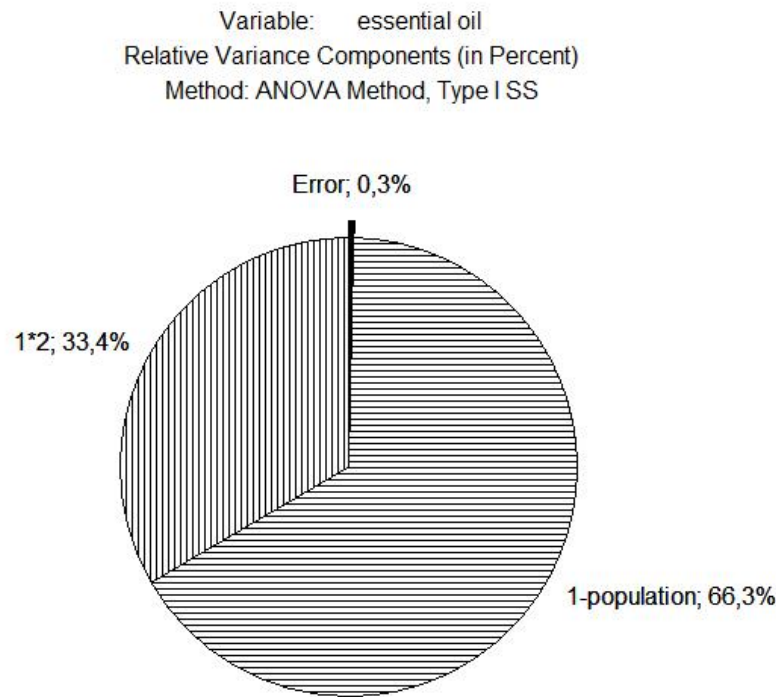


Рисунок 4. Круговая диаграмма по компонентам дисперсии по выходу эфирных масел при обработке данных без учета данных по природным популяциям
Figure 4. Pie chart for the components of the variants in the content of essential oils during data processing without taking into account data on natural populations

Сравнительный анализ компонентного состава эфирного масла

Идентификация компонентов эфирного масла, как уже упоминалось выше, проводилась при помощи лицензионных библиотек масс-спектров NIST08 и FFNSC. Капиллярная трубка Supelco SLB-5ms (30 м × 0,25 мм × 0,25 μm) плохо идентифицировала тяжелые компоненты с большим временем удержания, из-за чего проводилась тщательная проверка этих результатов с использованием справочной литературы [21].

Результаты приводятся в таблице 7. Несмотря на неизбежную громоздкость и неудобство восприятия, эти результаты являются первыми достоверными результатами компонентного состава эфирного масла, позволяющими оценивать в первом приближении генетические ресурсы и селекционный потенциал изолированных популяций *Origanum vulgare* L., произрастающих в гетерогенной среде горных экосистем Горного Дагестана.

Таблица 7. Компонентный состав эфирного масла в природных популяциях эколого-географического эксперимента
Table 7. Component composition of the essential oil of *Origanum vulgare* L. in natural populations an eco-geographical experiment

N	RT	Компоненты, тривиальные названия Components, trivial names	Талги Talgi	Талги ТЕВ Talgi TEB	Талги ГЕВ Talgi GEB	Г у н и б G u n i b	Гуниб ТЕВ Gunib TEB	Гуниб ГЕВ Gunib GEB
1.	8.133	Thujene <alpha->	0,42	0,33	0,13	0,50	0,60	0,29
2.	8.370	Pinene <alpha->	0,60	0,42	0,16	0,32	0,70	0,35
3.	9.446	Sabinene	5,31	5,96	4,01	3,07	6,68	2,23
4.	9.592	Pinene <beta->	0,97	0,65	0,21	0,63	0,88	0,76
5.	9.715	n-Octanone-3	2,38	0,77	1,04	1,32	1,72	0,35
6.	9.829	Myrcene	0,54	0,38	0,28	0,81	0,53	0,45
7.	9.896	2,3-Dehydro-1,8-cineole	0	0	0	0	0	0,10
8.	10.023	Hexanol <ethyl->	0,67	0,24	0,28	0,47	0,88	0,21
9.	10.284	Phellandrene <alpha->	0,08	0,11	0	0,13	0,22	0,05
10.	10.538	Terpinene <alpha->	1,56	1,93	0,75	2,66	5,29	2,22
11.	10.713	Cymene <para->	3,52	2,30	2,89	1,32	1,58	0,88
12.	10.833	Limonene	1,18	0,87	0,52	0,50	1,26	0,70
13.	10.873	Phellandrene <alpha->	0,04	0	0	0,43	0,53	0,37
14.	10.921	Eucalyptol	5,00	3,44	1,95	0,28	0,83	1,96

15.	11.180	beta.-Ocimene	6,70	1,26	1,70	4,51	7,33	5,14
16.	11.472	Terpinene <gamma->	2,92	3,73	2,03	4,11	7,15	3,54
17.	11.741	Sabinene hydrate <trans->	0	0	0	0	0	0,51
18.	11.749	Sabinene hydrate <cis->	0,09	0,11	0	0	0,62	0
19.	12.054	Terpinolene	0,57	0,71	0,28	1,00	2,01	0,90
20.	12.129	Ocimenone <trans->	0,14	0,33	0,24	0,13	0,14	0,04
21.	12.288	Linalool	2,41	4,70	5,19	2,31	2,15	2,51
22.	12.380	n-Nonaldehyde	0,11	0,17	0,15	0	0	0
23.	12.390	Sabinene hydrate <cis->	0	0	0	0	0,31	0,24
24.	12.433	Chrysanthone	0	0,21	0,16	0,12	0,09	0
25.	12.706	Thujone <beta->	0	0,17	0,13	0,12	0,07	0
26.	12.840	Ocim-(4E,6Z)-ene <allo-> (1,4-Hexadiene, 5-methyl-3-(1-methylethylidene)-	0,28	0,23	0,18	0,20	0,57	0,29
27.	13.181	2-Cyclohexen-1-ol, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-, cis-	0,12	0	0	0,12	0,37	0,17
28.	13.307	Camphor	0,18	0,94	0,70	0,55	0,44	0,16
29.	13.488	9-Methylbicyclo[3.3.1]nonane	0,08	0	0	0	0,10	0
30.	13.684	Terpineol <delta->	0,09	0	0	0	0	0
31.	13.752	Borneol	0,06	0,06	0	0	0	0
32.	13.875	Terpinen-4-ol	3,25	2,15	0,86	3,63	8,68	4,30
33.	14.127	Terpineol <alpha->	9,79	0,72	0,21	2,16	0,81	10,15
34.	14.346	Piperitol <trans->	0,05	0	0	0,08	0,3	0,15
35.	14.737	Thymol methyl ether	0	0,21	0,62	0	0	0,05
36.	14.776	Carvacryl methyl ether	0,35	0	0	0,15	0	0
37.	14.842	Pulegone	0	0,06	0,08	0,04	0	0
38.	14.908	Cuminaldehyde	0,10	0	0	0	0,09	0
39.	15.576	Thymol	0,04	0,16	0,18	0,34	0	0,20
40.	15.682	Dihydroedulan IIA	0,23	0,50	0,34	0,33	0,15	0
41.	15.723	Carvacrol	0,08	0,51	0,27	0	0,11	0
42.	16.253	1,4-Cyclohexadiene-1-methanol, 4-(1-methylethyl)-	0	0	0	0	0,05	0
43.	16.355	Bicyclogermacrene	0,24	0,23	0,18	0,09	0,56	0,89
44.	17.114	Copaene <alpha->	0,19	0,24	0,17	0,22	0,18	0,24
45.	17.190	10,12-Tricosadiynoic acid, methyl ester, Doconexent, cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexanoic acid, .omega.-3 Marine Triglycerides	0,13	0,25	0,22	0,43	0,13	0
46.	17.278	Bourbonene <beta->	1,47	1,26	2,09	2,60	1,60	2,12
47.	17.339	<u>alpha-Bourbonene</u>	0,05	0	0,08	0,12	0	0,08
48.	17.599	6,8-Nonadien-2-one, 6-methyl-5-(1-methylethylidene)-	0	0	0	0,11	0	0
49.	17.687	Gurjunene <alpha->	0	0	0	0	0,10	0,05
50.	17.929	Caryophyllene	12,34	10,36	13,85	10,19	10,44	10,96
51.	18.012	Bergamotene <alpha-, trans->	0,09	0,27	0,37	0,09	0,17	0,08
52.	18.063	Cubebene <beta->	0,31	0,31	0,38	0,50	0,37	0,42
53.	18.121	Bergamotene <beta-, trans->	0	0	0,11	0,10	0	0
54.	18.227	Farnesene <(E)-, beta->	0,06	0	0,10	0	0	0,11
55.	18.232	(Z)-.beta.-Farnesene	0	0	0	0	0,09	0
56.	18.317	Isogermacrene D	0,22	0	0	0	0,25	0
57.	18.320	Octadecane, 1-chloro-	0	0,30	0,38	0	0	0
58.	18.324	Cedrene <beta->	0	0	0	0,42	0	0,38
59.	18.448	Murolene <epsilon>	0,15	0	0	0,18	0,10	0,12
60.	18.536	Humulene <alpha->	2,48	2,61	2,16	2,30	2,35	2,58
61.	18.626	Caryophyllene <9-epi-(E)->	0,25	0,31	0,24	0,77	0,43	1,06
62.	18.767	Cubebene <alpha->	0,07	0	0,07	0,17	0	0
63.	18.808	(E)-.beta.-Ionone	0,10	0,40	0,14	0,31	0	0
64.	18.815	alpha.-Amorphene	0	0	0	0	0,25	0,20
65.	18.875	(Z,E)-.alpha.-Farnesene	0,11	0	1,29	0,16	0,13	0,13
66.	18.979	Germacrene D	8,55	6,63	7,07	0	0	0
67.	18.993	Cadinene <gamma->	0	0	0	8,34	8,90	9,02
68.	19.139	alpha.-Farnesene	1,60	3,67	1,29	2,93	3,40	2,84
69.	19.234	Bicyclogermacrene	1,30	1,27	0,92	5,19	2,86	4,17

70.	19.295	Bisabolene <beta->	4,51	7,92	14,16	4,29	2,52	4,38
71.	19.506	Cadinene <gamma->	0,09	0,24	0	0,31	0,25	0,38
72.	19.562	Cadinene <delta->	0,74	0,96	0,65	1,74	1,28	3,,00
73.	19.856	Bisabolene <(Z)-, alpha->	0,21	0,17	0,21	0,13	0,09	0,17
74.	19.930	Cadinene <alpha->	0	0	0	0,08	0,05	0,13
75.	20.271	n.i.	0,77	1,52	1,65	0,78	0,46	0,44
76.	20.550	Bicyclo[5.2.0]nonane, 2-methylene-4,8,8-trimethyl-4-vinyl-	0	0	0	0,43	0	0
77.	20.599	Lanceol <cis->	0,10	0	0,12	0	0,11	0,15
78.	20.742	Spathulenol	1,92	4,10	1,80	5,90	2,06	3,04
79.	20.886	Caryophyllene oxide	8,63	12,88	18,22	8,50	4,80	5,45
80.	21.040	Salvial-4(14)-en-1-one	0,20	0,42	0,43	0	0	0
81.	21.093	Cubenol	0,16	0	0	0	0	0
82.	21.102	Maaliene <gamma->	0	0,38	0,35	0,80	0	0
83.	21.294	Globulol	0,14	0	0,30	0,38	0	0
84.	21.299	n.i.	0	0,38	0	0	0,24	0
85.	21.382	Humulene epoxide II	1,09	2,69	2,62	1,40	0,69	0,9
86.	21.636	Viridiflorol	0,07	0,42	0	0,19	0	0,56
87.	21.754	1H-Cycloprop[e]azulen-7-ol, decahydro-1,1,7-trimethyl-4-methylene-, [1ar-(1a.alpha.,4a.alpha.,7.beta.,7a.beta.,7b.alpha.)]-	0	0	0	0,28	0	0
88.	21.801	Isopulegyl acetate	0	0,11	0,23	0	0	0
89.	21.867	Bicyclo[7.2.0]undecan-3-ol <11,11-dimethyl-, 4,8-bis(methylene)->	0,28	0,59	0,46	0	0	0
90.	21.885	Cadina-1(6),4-diene	0	0	0	0	0,17	0
91.	21.927	Cadin-4-en-10-ol	0,21	0	0	1,35	0,32	0
92.	21.963	Alloaromadendrene oxide-(1)	0	0	0,22	0	0	0
93.	22.162	.alpha.-Cadinol	0,57	0	0	0,60	0,65	1,24
94.	22.182	Duvatrienediol	0	1,18	0,89	0	0	0
95.	22.445	Isoaromadendrene epoxide	0,49	1,48	1,10	0,69	0,26	0,32
96.	22.696	Cyclopropanemethanol, .alpha.,2-dimethyl-2-(4-methyl-3-pentenyl)-, [1.alpha.(R*),2.alpha.]-	0	0,33	0,14	0	0	0
97.	22.852	6-Isopropenyl-4,8a-dimethyl-1,2,3,5,6,7,8,8a-octahydro-naphthalen-2-ol	0,09	0,28	0,20	0,19	0	0,15
98.	23.389	3,7,11-Trimethyl-dodeca-2,4,6,10-tetraenal	0	0,20	0,27	0	0	0
99.	25.423	Phytone	0,11	0,42	0,57	0,64	0,26	0,69
100.	30.387	Phytol	0	0,18	0,10	0,15	0,03	0
Number of components by experimental variants			72	64	67	74	68	63
Число компонентов по вариантам эксперимента			72	64	67	74	68	63

Примечание: Цифры означают массовую долю в % каждого компонента в составе эфирного масла.

RT – время удержания в минутах (Retention Time), n.i. – не идентифицированные компоненты.

Жирным шрифтом выделены основные (мажорные) компоненты

Note: The numbers indicate the mass fraction in % of each component in the composition of the essential oil.

RT – retention time in minutes (Retention Time), n.i. – unidentified components. The main (major) components are highlighted in bold

Как видно из таблицы 7, всего обнаружено 100 компонентов эфирного масла, из них идентифицировано 98, не идентифицировано 2 компонента. Все варианты эксперимента имеют разное количество компонентов, заметна тенденция небольшого превышения числа компонент в эфирном масле, полученном из сырья, собранного в природных популяциях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На рисунке 5 показаны результаты кластерного анализа композиционного состава эфирных масел по итогам эколого-географического эксперимента. По результатам видно, что природные популяции расположились по краям дендрограммы, а экспериментальные участки моделирующие условия верхнего горного пояса (Гуниб) и

климатического подрайона горных долин (Цудахар) расположились посередине, причем попарно для каждой популяции. Таким образом, еще раз подтвердилось то, что эфирные масла, как по выходу, так и по композиционному составу больше зависят от происхождения популяции, т.е. от микроэволюционной предьстории до пересадки на экспериментальный участок. А группа вторичных метаболитов, которые входят в состав надземной части, и изучались нами как суммарные антиоксиданты, отличаются более высокой пластичностью (люфтом) и их продуктивность и активность зависят от абиотических параметров на участке и в гораздо меньшей степени от микроэволюционной предьстории до пересадки.

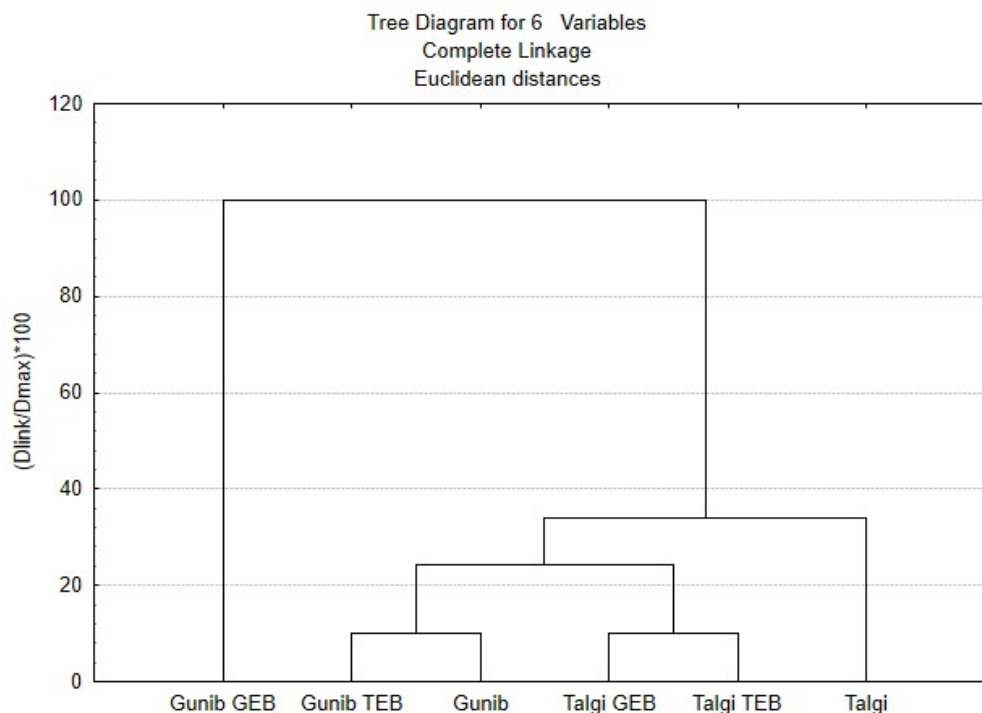


Рисунок 5. Оценка близости компонентного состава эфирного масла *Origanum vulgare* L. в эколого-географическом эксперименте

Figure 5. Assessing the proximity of the component composition of the essential oil of *Origanum vulgare* L. in an ecological-geographical experiment

Таким образом, оценка этих двух популяций показывает высокую пластичность по содержанию суммарных антиоксидантов, важности условий участка, а также климатических условий года для прогноза повышения этого показателя.

Если судить о качественных показателях эфирного масла, то из таблицы 7 видно, что два важнейших компонента эфирного масла карвакрол и тимол присутствуют в совсем небольших количествах (41 и 39 номера в таблице соответственно). Карвакрол обнаружен в количествах 0–0,51 %, тимол 0–0,34 %. Между тем, многие итальянские и греческие популяции имеют выход карвакрола и тимола более половины по массе в композиционном составе эфирного масла [24–25], существенно (иногда в несколько раз) выше и выход эфирного масла [24]. Известно, что измельченная надземная часть *Origanum vulgare* и *O. majorana*, используются для приготовления традиционной южноевропейской приправы к мясным блюдам, с коммерческим названием «орегано». Из-за низкого содержания вышеупомянутых компонентов дагестанские популяции не смогут конкурировать с греческими и итальянскими популяциями, но все они, обладая приятным запахом, могут входить в состав чайных композиций, тизанов. По нашим наблюдениям, местное население с незапамятных времен использует надземную часть *Origanum vulgare* в качестве отхаркивающего, антипростудного, седативного средства, в виде водных настоев.

Поскольку изучаемый вид на ранних этапах онтогенеза, будучи мелкосемянным видом, выживает и достигает репродуктивной стадии только в условиях ослабленной ценотической конкуренции, а взрослое растение успешно произрастает даже на дерновинных лугах, можно сказать, что его репродуктивная стратегия

меняется от r-стратегии в ювенильном возрасте к K-стратегии во взрослом состоянии, что также является показателем пластичности присущей виду, в том числе, по интенсивности накопления групп вторичных метаболитов.

Поскольку у эфиромасличных видов семейства Яснотковые, особенно у многолетних и корневищных видов межпопуляционная дифференциация вдоль средовых градиентов выражена слабее, чем у однолетников и монокарпиков, изменчивость между генотипами составляет наибольшую долю и для его оценки нужно заложить подобные эксперименты с клонами-генотипами, по итогам которого можно отобрать плюсовые генотипы, у которых содержание эфирных масел может в разы превысить средние значения для популяции. Другими словами, в нашем случае индивидуальный отбор будет намного эффективнее группового отбора для формирования сортов-клонов.

Перспективы дальнейшего исследования этого вида лежат в плоскости эколого-генетических экспериментов, которые хоть и являются трудоемкими, но весьма эффективны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ličina B.Z. et al. Biological activities of the extracts from wild growing *Origanum vulgare* L // Food control. 2013. V. 33. N 2. P. 498–504.
2. Teixeira B. et al. Chemical composition and bioactivity of different oregano (*Origanum vulgare*) extracts and essential oil // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2013. V. 93. N 11. P. 2707–2714.
3. Morshedloo M.R. et al. An over review to *Origanum vulgare* L. and its pharmacological properties // Journal of Medicinal Plants. 2018. V. 17. N 68. P. 15–31.

4. Chalchat J.C., Pasquier B. Morphological and chemical studies of Origanum clones: *Origanum vulgare* L. ssp. *Vulgare* // Journal of Essential Oil Research. 1998. V. 10. N 2. P. 119–125.
5. De Falco E. et al. Chemical composition and biological activity of essential oils of *Origanum vulgare* L. subsp. *vulgare* L. under different growth conditions // Molecules. 2013. V. 18. N 12. P. 14948–14960.
6. Ietswaart J.H. A taxonomic revision of the genus Origanum (Labiatae) // Leiden Botanical Series. 1980. V. 4. N 1. P. 1–153.
7. Ietswaart J.H., Barel R.A., Ikelaar M.E. Male sterility and ecology of Dutch *Origanum vulgare* populations // Acta botanica neerlandica. 1984. V. 33. P. 335–345.
8. Kokkini S. Taxonomy, diversity and distribution of Origanum species. Proceedings of the IPGRI International Workshop on Oregano, 8–12 May 1996, CIHEAM, Valenzano (Bari), Italy. 1997. P. 2–12.
9. Fryer J.H., Ledig F.T. Microevolution of the photosynthetic temperature optimum in relation to the elevational complex gradient // Canadian Journal of Botany. 1972. V. 50. N 6. P. 1231–1235.
10. Stöcklin J., Kuss P., Pluess A. Genetic diversity, phenotypic variation and local adaptation in the alpine landscape: case studies with alpine plant species // Botanica Helvetica. 2009. V. 119. N 2. P. 125–133.
11. Baughman O.W. et al. Strong patterns of intraspecific variation and local adaptation in Great Basin plants revealed through a review of 75 years of experiments // Ecology and Evolution. 2019. V. 9. N 1. P. 6259–6275.
12. Baser K.H.C. The turkish origanum species. Oregano. The Genera Origanum and Lippia. 2002. V. 109. P. 109–126.
13. Мусаев А.М., Сулейманова З.Г. Изучение межпопуляционной дифференциации душицы (*Origanum vulgare* L.) в природных популяциях и при интродукции // Ботанический вестник Северного Кавказа. 2016. N 4. С. 31–40.
14. Ухова М.О. Родо-видовой анализ семейства Lamiaceae в разных локусах кавказского экорегиона // Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации. 2019. С. 18–20.
15. Сулейманова З.Г. и др. Структура изменчивости морфологических, биологических и фитохимических признаков *Origanum vulgare* L. и возможности ее использования в лекарственном растениеводстве горных регионов // Биологические и гуманитарные ресурсы развития горных регионов. 2009. С. 121–124.
16. Richardson B.A. et al. Will phenotypic plasticity affecting flowering phenology keep pace with climate change? // Global change biology. 2017. V. 23. N 6. P. 2499–2508.
17. Брынцев В.А., Коженкова А.А. Географическая изменчивость сосны кедровой сибирской (*pinus sibirica* du tour) при интродукции // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2016. N 6. С. 89–97.
18. Kitiki A. Status of cultivation and use of oregano in Turkey // Proceedings of the IPGRI International Workshop on Oregano. 1996. P. 122–132.
19. Skoula M., Kamenopoulos S. *Origanum dictamnus* L. and *Origanum vulgare* L. subsp. *hirtum* (Link) Ietswaart: traditional uses and production in Greece // Proc IPGRI Intern. Workshop on Oregano. Valenzano: Bari, Italy. 1996. P. 26–32.
20. Leto C., Salamone A. Bio-agronomical behaviour in Sicilian Origanum ecotypes // Proceedings of the IPGRI International Workshop on Oregano. CIHEAM. 1996. P. 68–73.
21. Adams R.P. Identification of essential oil components by gas chromatography / mass spectrometry. 5 online ed. Texensis Publishing, 2017.
22. Исламова Ф.И., Мусаев А.М., Раджабов Г.К. Структура изменчивости некоторых пряно-ароматических растений по содержанию суммарных антиоксидантов в эколого-географическом эксперименте // Овощи России. 2019. N 3. С. 87–90. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-3-87-90>
23. Яшин А.Я., Яшин Я.И., Черноусова Н.И. Определение природных антиоксидантов амперометрическим методом // Пищевая промышленность. 2006. N 2. С. 10–12.
24. Яшин А.Я. Инжекционно-проточная система с амперометрическим детектором для селективного определения антиоксидантов в пищевых продуктах и напитках // Российский химический журнал. 2008. Т. 52. N 2. С. 130–135.
25. Kokkini S. Taxonomy, diversity and distribution of Origanum species // Proceedings of the IPGRI international workshop on Oregano. CIHEAM: Valenzano (Bari), Italy, 1996. V. 8. P. 6–12.
26. Kokkini S., Vokou D. Carvacrol – rich plants in Greece // Flavour and Fragrance Journal. 1989. V. 4. N 1. P. 1–7.

REFERENCES

1. Ličina B.Z. et al. Biological activities of the extracts from wild growing *Origanum vulgare* L. Food control. 2013, vol. 33, no. 2, pp. 498–504.
2. Teixeira B. et al. Chemical composition and bioactivity of different oregano (*Origanum vulgare*) extracts and essential oil. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2013, vol. 93, no.11, pp. 2707–2714.
3. Morshedloo M.R. et al. An over review to *Origanum vulgare* L. and its pharmacological properties. Journal of Medicinal Plants. 2018, vol. 17, no. 68, pp. 15–31.
4. Chalchat J.C., Pasquier B. Morphological and chemical studies of Origanum clones: *Origanum vulgare* L. ssp. *Vulgare*. Journal of Essential Oil Research. 1998, vol. 10, no. 2, pp. 119–125.
5. De Falco E. et al. Chemical composition and biological activity of essential oils of *Origanum vulgare* L. subsp. *vulgare* L. under different growth conditions. Molecules. 2013, vol. 18, no. 12, pp. 14948–14960.
6. Ietswaart J.H. A taxonomic revision of the genus Origanum (Labiatae). Leiden Botanical Series. 1980, vol. 4, no. 1, pp. 1–153.
7. Ietswaart J.H., Barel R.A., Ikelaar M.E. Male sterility and ecology of Dutch *Origanum vulgare* populations. Acta botanica neerlandica. 1984, vol. 33, pp. 335–345.
8. Kokkini S. Taxonomy, diversity and distribution of Origanum species. Proceedings of the IPGRI International Workshop on Oregano, 8–12 May 1996, CIHEAM, Valenzano (Bari), Italy. 1997, pp. 2–12.
9. Fryer J.H., Ledig F.T. Microevolution of the photosynthetic temperature optimum in relation to the elevational complex gradient. Canadian Journal of Botany. 1972, vol. 50, no. 6, pp. 1231–1235.
10. Stöcklin J., Kuss P., Pluess A. Genetic diversity, phenotypic variation and local adaptation in the alpine landscape: case studies with alpine plant species. Botanica Helvetica. 2009, vol. 119, no. 2, pp. 125–133.
11. Baughman O.W. et al. Strong patterns of intraspecific variation and local adaptation in Great Basin plants revealed through a review of 75 years of experiments. Ecology and Evolution. 2019, vol. 9, no. 11, pp. 6259–6275.
12. Baser K.H.C. The turkish origanum species. Oregano. The Genera Origanum and Lippia. 2002, vol. 109, pp. 109–126.
13. Musaev A.M., Suleimanova Z.G. Study of interpopulation differentiation of oregano (*Origanum vulgare* L.) in natural populations and during introduction. Botanicheskii vestnik Severnogo Kavkaza [Botanical Bulletin of the North Caucasus]. 2016, no. 4, pp. 31–40. (In Russian)
14. Ukhova M.O. Genus and species analysis of the family Lamiaceae in different locus of the caucasian ecoregion. Sovremennaya nauka: aktual'nye voprosy, dostizheniya i innovatsii [Modern science: actual issues, achievements and innovations]. 2019, pp. 18–20. (In Russian)

15. Suleimanova Z.G. et al. The structure of the variability of morphological, biological and phytochemical characteristics of *Origanum vulgare* L. and the possibilities of its use in medicinal plant production of mountain regions [Biological and humanitarian resources for the development of mountain regions]. 2009, pp. 121–124. (In Russian)
16. Richardson B.A. et al. Will phenotypic plasticity affecting flowering phenology keep pace with climate change? *Global change biology*. 2017, vol. 23, no. 6, pp. 2499–2508.
17. Bryntsev V.A., Kozhenkova A.A. Geographic variability of siberian stone pine (*pinus sibirica* du tour) at the introduction. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Lesnoi zhurnal* [News of higher educational institutions. Forest Magazine]. 2016, no.6, pp. 89–97. (In Russian)
18. Kitiki A. Status of cultivation and use of oregano in Turkey // *Proceedings of the IPGRI International Workshop on Oregano*. 1996, pp. 122–132.
19. Skoula M., Kamenopoulos S. *Origanum dictamnus* L. and *Origanum vulgare* L. subsp. *hirtum* (Link) letswaart: traditional uses and production in Greece. *Proc IPGRI Intern. Workshop on Oregano*. Valenzano: Bari, Italy. 1996, pp. 26–32.
20. Leto C., Salamone A. Bio-agronomical behaviour in Sicilian *Origanum* ecotypes. *Proceedings of the IPGRI International Workshop on Oregano*. CIHEAM. 1996, pp. 68–73.
21. Adams R.P. Identification of essential oil components by gas chromatography / mass spectrometry. 5 online ed. Texensis Publishing, 2017.
22. Islamova F.I., Musaev A.M., Radzhabov G.K The structure of variability of some spicy-aromatic plants by the content of total antioxidants in an ecological and geographical experiment. *Vegetables of Russia*, 2019, no. 3, pp. 87–90. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-3-87-90> (In Russian)
23. Yashin A.Ya., Yashin Ya.I., Chernousova N.I. Determination of natural antioxidants by amperometric method. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food industry]. 2006, no. 2, pp. 10–12. (In Russian)
24. Yashin A.Ya. Injection-flow system with an amperometric detector for the selective determination of antioxidants in food products and drinks. *Rossiiskii khimicheskii zhurnal* [Russian chemical journal]. 2008, vol. 52, no. 2, pp. 130–135. (In Russian)
25. Kokkini S. Taxonomy, diversity and distribution of *Origanum* species. *Proceedings of the IPGRI international workshop on Oregano*. CIHEAM, Valenzano (Bari), Italy, 1996, vol. 8, pp. 6–12.
26. Kokkini S., Vokou D. Carvacrol - rich plants in Greece. *Flavour and Fragrance Journal*. 1989, vol. 4, no. 1, pp. 1–7.

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Абдулахид М. Мусаев обеспечивал общее руководство проектом, планировал эксперимент, интерпретировал результаты и написал статью. Гаджи К. Раджабов собирал образцы с экспериментальных участков, получил образцы эфирного масла на аппарате Клевенлжера. Аслан М. Алиев анализировал компонентный состав эфирных масел на газовом хроматографе с масс-спектрометрическим детектором. Фатима И. Исламова определила содержание суммарных антиоксидантов амперометрическим методом. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Abdulakhid M. Musaev undertook general project management, experiment planning, interpretation of results and writing the article. Gadzhi K. Radzhabov collected samples from experimental site and obtained samples of essential oil using the Klevenlger apparatus. Aslan M. Aliyev analysed the component composition of essential oils on a gas chromatograph with a mass spectrometric detector. Fatima I. Islamova determined the content of total antioxidants by the amperometric method. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Абдулахид М. Мусаев / Abdulakhid M. Musaev <https://orcid.org/0000-0002-9005-1324>

Гаджи К. Раджабов / Gadzhi K. Radzhabov <https://orcid.org/0000-0001-9263-5684>

Аслан М. Алиев / Aslan M. Aliyev <https://orcid.org/0000-0002-2181-1801>

Фатима И. Исламова / Fatima I. Islamova <https://orcid.org/0000-0003-4804-3168>