

УДК 54.05 :58.056

**СТРУКТУРА ИЗМЕНЧИВОСТИ СОДЕРЖАНИЯ АНТИОКСИДАНТОВ  
В ПРЯНО-АРОМАТИЧЕСКИХ РАСТЕНИЯХ:  
МЕЖСОРТОВАЯ И СРЕДОВАЯ КОМПОНЕНТЫ****Исламова Ф.И., Мусаев А.М., Раджабов Г.К., Гусейнова З.А.,  
Вагабова Ф.А., Рабаданов Г.А.***ФГБУН «Горный ботанический сад Дагестанского научного центра РАН»,  
Махачкала, e-mail: fatimaisl@mail.ru*

В данной работе представлены результаты изучения антиоксидантной активности различных пряно-ароматических растений, в зависимости от сорта – эндогенного фактора, места произрастания – экзогенного фактора, на примере широко известных представителей из семейства зонтичных Apiaceae Lindl.: укропа (*Anethum graveolens*), кориандра (*Coriandrum sativum*), петрушки (*Petroselinum crispum*). Для изучения, суммарного содержания антиоксидантов, в качестве растительного сырья использовали надземную часть растений, собранных с двух экспериментальных баз, Гунибской и Цудахарской (ГЭБ и ЦЭБ), в 2014 г. При выполнении работы использовалась уникальная научная установка ГорБС ДНЦ «Система экспериментальных баз, расположенных вдоль высотного градиента» 1100 и 1650 м над уровнем моря, моделирующих условия горно-долинного и верхнего горного климатических поясов соответственно. В результате исследований выявлена структура и тренды изменчивости по накоплению антиоксидантов в зависимости от вида, сорта (популяции) и высоты над уровнем моря места произрастания образца. Полученные данные позволяют научно обосновать подбор потенциально богатых источников антиоксидантов и выявить экологический оптимум произрастания для различных сортов и видов пряно-ароматических растений.

**Ключевые слова:** пряно-ароматические, Apiaceae Lindl, укроп (*Anethum graveolens*), кориандр (*Coriandrum sativum*), петрушка (*Petroselinum crispum*), суммарное содержание антиоксидантов, высота над уровнем моря, структура изменчивости, компоненты дисперсии

**THE STRUCTURE OF VARIABILITY OF THE CONTENT OF ANTIOXIDANTS  
IN AROMATIC PLANTS: INTERVARIETAL AND ENVIRONMENTAL COMPONENTS****Islamova F.I., Musaev A.M., Radzhabov G.K., Guseynova Z.A., Vagabova F.A.,  
Rabadanov G.A.***Mountain botanical garden, Dagestan Scientific Centre, RAS, Makhachkala, e-mail: fatimaisl@mail.ru*

This article presents the results of a study of antioxidant activity of various aromatic plants, depending on the varieties of endogenous factor of growth – exogenous factors, for example, the widely known representatives of the Apiaceae Lindl.: dill (*Anethum graveolens*), coriander (*Coriandrum sativum*), parsley (*Petroselinum crispum* to be supplied fresh). For study, the total content of antioxidants as rawplant materials were used aboveground part of the plant collected from the two pilot bases Gunibskaya and Tsudakharskay (GEB and TSEB) in 2014 year. While implementing the project, will be used an unique scientific installation Mountain Botanical garden Dagestan scientific center «System experimental bases located along an altitudinal gradient» of 1100 and 1650 m above sea level, simulating the conditions of the mountain-lowland and upper mountain climate zones, respectively. As a result, there was to discover the structure and trends of variability in accumulation of antioxidants depending on the species, cultivar of population and elevation above sea level, and the place of growing of the sample. According exceeded results allow us scientifically substantiate the selection of the potentially richest sources of antioxidants and to identify the environmental optimum of growth for different varieties and species of aromatic plants.

**Keywords:** aromatic, Apiaceae Lindl, dill (*Anethum graveolens*), Coriander (*Coriandrum sativum*), parsley (*Petroselinum crispum* to be supplied fresh), the total content of antioxidants, the height above sea level, the structure of variability, components of variance

Известно, что антиоксиданты растительного происхождения способны повышать антиоксидантный потенциал организма [5]. При окислительном стрессе в живом организме происходит накопление активных форм кислорода, которые вызывают разрушение клеточных структур и провоцируют развитие разнообразных хронических заболеваний. При этом обезвреживание активных форм кислорода успешно осуществляют не только эндогенные антиоксиданты организма человека, но и антиоксиданты, поступающие с растительной пищей [3]. Яв-

ляясь богатым источником антиоксидантов, пряно-ароматические и эфиромасличные обладают способностью нейтрализовать свободные радикалы, а также катализировать ряд ферментативных процессов [1, 2, 4, 7, 11]. Высокое содержание биологически активных соединений большинства пряно-ароматических растений определило их значимую роль не только как вкусовых веществ, но и как лечебно-физиологических активаторов, действующих на гормональном уровне регуляции нервной и пищеварительной систем организма.

В последние годы возрос интерес к проблеме интродукции пряно-ароматических и эфиромасличных растений. Интродукция растений – один из основных методов обогащения сортимента и повышения эффективности различных отраслей сельского хозяйства, а также оптимизации получения лекарственного растительного сырья.

**Целью наших исследований** явилось изучение структуры изменчивости антиоксидантной активности различных пряно-ароматических растений, в зависимости от сорта, эндогенного фактора, места произрастания на примере широко известных пряно-ароматических видов семейства зонтичных (Ariaceae Lindl.): укропа (*Anethum graveolens*), кориандра (*Coriandrum sativum*), петрушки (*Petroselinum crispum*).

#### Материалы и методы исследований

Объектом исследования служили сорта укропа *A. graveolens* L – «Обильнолистный», «Амазон», «Ambrella», «Аллигатор», «Севастопольский», кориандра *C. sativum*: – «Дебют», «Шико», «Янтарь», петрушки *P. crispum*, сорта: «Бисер», «Бутербродная». Все семена были приобретены в магазине «Розовый сад» в г. Краснодаре, в апреле 2013 г. Производитель: фирма «Гавриш».

Семена были высеяны в мае 2014 г. на двух экспериментальных базах Горного ботанического сада ДНЦ РАН, на высотах 1100 и 1650 метров над уровнем моря, моделирующих условия горно-долинного и верхнего горного климатических поясов соответственно [8].

Схема опыта – рандомизированная, по 3 повторности, без разбивки на блоки. Делянки размером 1 м<sup>2</sup>, на которые высевалось по 200 семян, с дальнейшим прореживанием до 50 растений на делянку.

Для изучения суммарного содержания антиоксидантов, в качестве растительного сырья использовали надземную часть растений, собранных с двух экспериментальных баз, Гунибской и Цудахарской (ГЭБ и ЦЭБ), в 2014 г. Для приготовления водных экстрактов навеску 1 г сырья травы поместили в колбу (100 мл), добавили 100 мл кипящей бидистиллированной воды и перемешивали в течение 5 мин, фильтровали через бумажный фильтр. При построении градуировочного графика, с целью исключения случайных результатов были приготовлены растворы галловой кислоты с массовой концентрацией: 0,2; 0,4; 2,0; 4,0 мг/л. В качестве элюента использовали ортофосфорную кислоту с молярной долей 0,0022 моль/дм<sup>3</sup>. Определение суммарного содержания антиоксидантов проводили амперометрическим методом на приборе «Цвет Яуза 01 – АА», основанный на измерении электрического тока в электрохимической ячейке, возникающего при подаче на электрод определенного потенциала [6]. Амперометрический метод позволяет определить суммарное содержание фенольных соединений в изучаемых образцах. Сущность данного метода заключается в измерении электрического тока, возникающего при окислении исследуемого вещества (или смеси веществ) на рабочего электрода при постоянном потенциале 1,3 В. При этом потенциале происходит окисление только групп ОН природных антиоксидантов фенольного типа [6, 10]. Предварительно строили градуировочную зависимость сигнала образ-

ца сравнения галловой кислоты от его концентрации. С помощью полученной градуировки сравнивали сигналы исследуемого экстракта с сигналами образца сравнения – галловой кислоты. Значения СКО (относительное среднее квадратичное отклонение) должны по методике составить не более 5% [9]. В нашей работе составляли менее 1%. Суммарное содержание антиоксидантов (ССА, мг/г) определяли в водных экстрактах. За результат принимали среднее из данных параллельных определений по каждому показателю. Полученные данные обработали статистически с использованием пакета электронных таблиц Microsoft Excel и лицензионного пакета программ Statistika 5.5. Суммарное содержание антиоксидантов выражали в мг/г воздушно-сухого сырья.

#### Результаты исследований и их обсуждение

Проведенный анализ по изучению суммарного содержания антиоксидантов в пряно-ароматических растениях показал межсортовую дифференциацию между образцами *Anethum*, *Coriandrum*, *Petroselinum* и также реакцию от места произрастания сырья. Результаты определения содержания антиоксидантов в исследуемых образцах *Anethum*, представленные в табл. 1, показывают наибольшее накопление антиоксидантов в сорте «Обильнолистный», причем тенденция сохраняется в обоих образцах, собранных с обеих баз. Но количественное содержание антиоксидантов в образцах, собранных на Цудахарской базе, в целом больше, чем на Гунибской базе. Эти рабочие гипотезы подтверждаются двухфакторным дисперсионным анализом (табл. 2). Количественная оценка вклада двух факторов в общую вариабельность по содержанию суммарных антиоксидантов была получена в ходе анализа компонент дисперсии методом ожидаемых средних квадратов (рис. 1).

Из круговой диаграммы видно, что основной вклад в общую изменчивость внесли межсортовые различия (89,2%), а вклад места произрастания составил 5,5%. Причем превышение содержания антиоксидантов в *Anethum*, выращенном на более низкой высоте, является статистически значимым и нулевая гипотеза опровергается на уровне 99,999%.

При изучении антиоксидантной активности в сортах *Coriandrum* («Дебют», «Шико», «Янтарь») (табл. 3) наблюдается структура изменчивости, носящая противоположный характер – наибольшие различия наблюдаются между образцами, выращенными на разных высотах, а между сортами различия невелики, причем на большей высоте накапливается и больше антиоксидантов. Эти выводы подтверждаются результатами дисперсионного анализа и анализа компонент дисперсии (табл. 4 и рис. 2).

Таблица 1

Суммарное содержание антиоксидантов  
в надземной части *Anethum graveolens* в период технической зрелости

№ п/п	Место сбора сырья и сорта	ССА, мг/г, среднее
1	ЦЭБ («Обильнолистный»)	19,37 ± 0,00
2	ЦЭБ («Амазон»)	4,59 ± 0,00
3	ЦЭБ («Ambrella»)	8,62 ± 0,00
4	ЦЭБ («Аллигатор»)	8,20 ± 0,00
5	ЦЭБ («Севастопольский»)	11,13 ± 0,00
6	ГЭБ («Обильнолистный»)	15,63 ± 0,00
7	ГЭБ («Амазон»)	5,76 ± 0,00
8	ГЭБ («Ambrella»)	7,52 ± 0,00
9	ГЭБ («Аллигатор»)	7,68 ± 0,00
10	ГЭБ («Севастопольский»)	6,89 ± 0,00

Таблица 2

Результаты двухфакторного иерархического дисперсионного анализа  
для сортов *Anethum* по содержанию суммарных антиоксидантов на двух участках

Источник	Эффект	Ст. своб.	Ср. квадрат	Ст. своб.	Ср. квадрат	F-критерий	p-уровень
1. Базы	Случайный	1	21,3195	24	1,286656	16,5697	0,000441
2 Сорта	Случайный	4	131,0958	24	1,286656	101,8887	0,000000

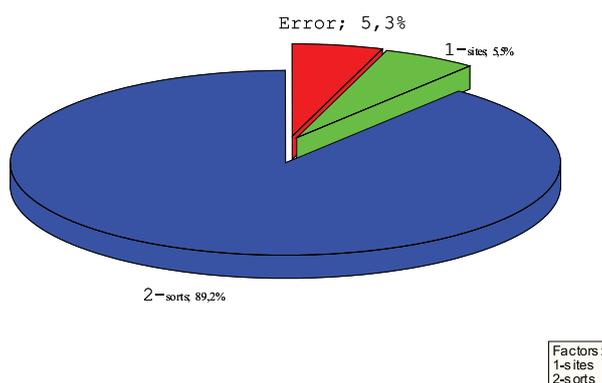


Рис. 1. Относительные компоненты дисперсии по содержанию суммарных антиоксидантов у 5 сортов *Anethum graveolens* в двухфакторном эксперименте

Таблица 3

Суммарное содержание антиоксидантов в надземной части *Coriandrum sativum*  
в период технической зрелости

№ п/п	Место сбора сырья и сорта	ССА, мг/г, среднее
1	ЦЭБ («Дебют»)	2,85 ± 0,00
2	ЦЭБ («Шико»)	5,11 ± 0,00
3	ЦЭБ («Янтарь»)	4,59 ± 0,00
4	ГЭБ («Дебют»)	9,45 ± 0,00
5	ГЭБ («Шико»)	9,56 ± 0,00
6	ГЭБ («Янтарь»)	7,61 ± 0,00

Вклад фактора места произрастания составил 91,1%, а межсортовые различия внесли 3,1% в общую вариабельность по содержанию суммарных антиоксидантов в надземной части *Coriandrum*.

Определение суммарного содержания антиоксидантов в траве *Petroselinum* показывает, что исследуемые образцы обладают также высокой антиоксидантной активностью (табл. 5). В образцах, собранных

на Гунибской базе, суммарное содержание антиоксидантов выше, особо отличился сорт «Бутербродная». В данном случае также наи-

большой вклад в общую варианту внесли меж-сортовые различия, (82,5%), а место произрастания – 17,2% соответственно (табл. 6, рис. 3).

**Таблица 4**

Результаты двухфакторного иерархического дисперсионного анализа для трех сортов *Coriandrum* по содержанию суммарных антиоксидантов на двух участках

Источник	Эффект	Ст. своб.	Ср. квадрат	Ст. своб.	Ст. квадрат	F-критерий	p-уровень
1. Базы	Случайный	1	98,98245	14	0,695850	142,2468	0,000000
2. Сорта	Случайный	2	2,93195	14	0,695850	4,2135	0,036941

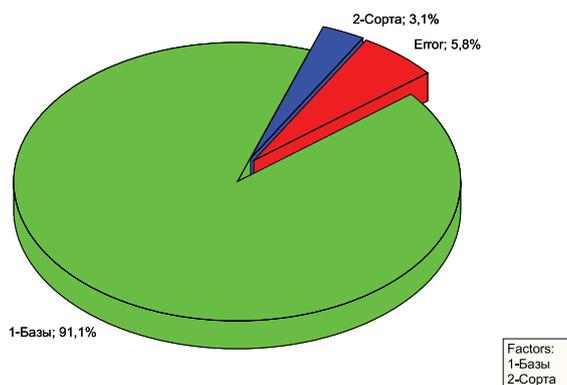


Рис. 2. Относительные компоненты дисперсии по содержанию суммарных антиоксидантов у трех сортов *Coriandrum* в двухфакторном эксперименте

**Таблица 5**

Суммарное содержание антиоксидантов в надземной части *Petroselinum crispum* в период технической зрелости

№ п/п	Место сбора сырья и сорта	ССА, мг/г, среднее
1	ЦЭБ «Бисер»	4,56 ± 0,00
2	ЦЭБ «Бутербродная»	6,92 ± 0,00
3	ГЭБ «Бисер»	5,73 ± 0,00
4	ГЭБ «Бутербродная»	7,75 ± 0,00

**Таблица 6**

Результаты двухфакторного иерархического дисперсионного анализа для двух сортов *Petroselinum* по содержанию суммарных антиоксидантов на двух участках

Источник	Эффект	Ст. своб.	Ср. квадрат	Ст. своб.	Ст. квадрат	F-критерий	p-уровень
1. Базы	Случайный	1	3,00000	9	0,009633	311,419	0,000000
2. Сорта	Случайный	1	14,38830	9	0,009633	1493,595	0,000000

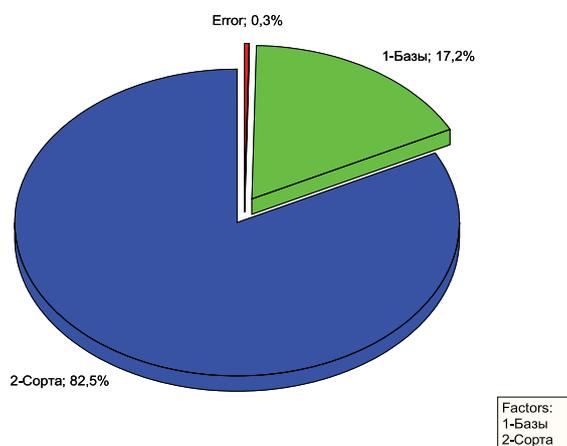


Рис. 3. Относительные компоненты дисперсии по содержанию суммарных антиоксидантов у двух сортов *Petroselinum crispum* в двухфакторном эксперименте

### Заключение

Результаты проведенных нами исследований по изучению антиоксидантной активности некоторых пряно-ароматических растений из семейства зонтичных, выращенных в эксперименте с использованием высотного градиента, как комплекса факторов, воздействующих на степень и темпы накопления вторичных метаболитов, обладающих антиоксидантными свойствами, показал высокий потенциал подобного подхода для выявления структуры и трендов изменчивости по их накоплению в зависимости от вида, сорта (популяции), высоты над уровнем моря, места произрастания образца. Возможно, что с набором высоты над уровнем моря увеличивается воздействие некоторых абиотических факторов (уровня ультрафиолетового облучения, разницы между ночными и дневными температурами), которые стимулируют образование дополнительного количества фенольных соединений (антоцианов и флавоноидов), являющихся мембраностабилизаторами и предохраняющих растущие части растений от жесткого излучения и температурных контрастов. По результатам нашей работы, для двух видов – *Coriandrum* и *Petroselinum* закономерность возрастания суммарных антиоксидантов с повышением высоты над уровнем моря места произрастания подтвердилась, а для сортов *Anethum*, наоборот, наблюдается достоверное уменьшение образования суммарных антиоксидантов. Можно предположить, что данный феномен объясняется природой веществ, которые проявляют антиоксидантные свойства. Большую часть антиоксидантов в *Anethum* составляют эфирные масла, синтез которых снижается с увеличением суровости климата, и данный процесс затеняет эффект от возрастания антоцианов и флавоноидов, который для сортов *Anethum* также имеет место.

Полученные нами данные позволяют научно обосновать подбор потенциально богатых источников антиоксидантов и вы-

явить экологический оптимум произрастания для различных сортов и видов пряно-ароматических растений.

Различные тренды накопления антиоксидантов и контрасты по сортам и по высоте над уровнем моря места произрастания сорта позволяют прогнозировать их ожидаемые значения по уравнению регрессии, если задействовать для таких экспериментов три и более экспериментальных участка.

### Список литературы

1. Андреев В.А., Мишарина Т.А., Полшков А.Н. Изменение состава эфирных масел пряно-ароматических растений при хранении // Пищевая промышленность. – 2001. – № 7. – С. 52–53.
2. Антиоксидантные свойства сверхкритических экстрактов / А.Г. Лепешков, А.Р. Водяник, В.Н. Прокофьев, Г.Г. Кириллов // Пищевая промышленность: сырье и добавки. – 2003. – № 12. – С. 56–57.
3. Антиоксидантные характеристики зеленых и пряно-ароматических культур / М.С. Гинс, В.А. Харченко, В.К. Гинс, А.А. Байков, П.Ф. Кононков, И.Т. Ушакова // Овощи России. – 2014. – № 2. – С. 42–45.
4. Базарнова Ю.Г., Веретнов Б.Я. Ингибирование радикального окисления пищевых жиров флавоноидными антиоксидантами // Вопросы питания. – 2004. – Т. 73. – № 3. – С. 35–42.
5. Зенков Н.К., Ланкин В.З., Меньщикова Е.Б. Окислительный стресс: биохимический и патофизиологический аспекты. – М.: Маик «Наука/Интерпериодика», 2001. – 343 с.
6. Измерение содержания фенолов в экстрактах лекарственных трав и их смесях амперометрическим методом / В.М. Мисин, Н.Н. Сажина, А.Ю. Завьялов, Я.И. Яшин // Химия растительного сырья. – 2009. – № 4. – С. 127–132.
7. Толкунова Н.Н. Исследование химического состава растительных экстрактов // Мясная индустрия. – 2003. – № 12. – С. 64–75.
8. Уникальная научная установка ГорБС ДНЦ «Система экспериментальных баз расположенных вдоль высотного градиента». – <http://www.ckp-rg.ru/usu/418283>.
9. Яшин А.Я. Инжекционно-проточная система с амперометрическим детектором для селективного определения антиоксидантов в пищевых продуктах и напитках // Российский химический журнал (Журнал российского химического общества им. ДИ Менделеева). – 2008. – Т. 52. – № 2. – С. 130–135.
10. Яшин А.Я. Экспрессный электрохимический метод определения антиоксидантной активности пищевых продуктов / А.Я. Яшин, Я.И. Яшин, Н.И. Черноусова, В.П. Пахомов // Пиво и напитки. – 2004. – № 6. – С. 44–46.
11. Gurib-Fakim A. Medicinal plants: traditions of yesterday and drugs of tomorrow // Molecular aspects of Medicine. – 2006. – Т. 27. – № 1. – С. 1–93.