

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Общая биология

BIOLOGICAL SCIENCES

General biology

УДК 581.19:582.3/99

О. М. Балаева-Тихомирова, Е. А. Леонович, О. В. Авласевич

Учреждение образования «Витебский государственный университет имени П. М. Машерова»,
Министерство образования Республики Беларусь, пр-т Московский, 33, 210038 Витебск, Республика Беларусь,
+375 (212) 26 00 26, olgabal.tih@gmail.com

СОДЕРЖАНИЕ ЭНДОГЕННЫХ АНТИОКСИДАНТОВ И ПРОДУКТОВ ПЕРЕКИСНОГО ОКИСЛЕНИЯ ЛИПИДОВ В СЫРЬЕ И ЭКСТРАКТАХ ALLIUM URSINUM LINNAEUS, A. SCHOENOPRASUM L. И PRIMULA VERIS L.

В статье обосновывается возможность использования биомассы первоцветов в качестве источника эндогенных антиоксидантов для снижения и предупреждения последствий окислительного стресса у биологических объектов.

Был проведен анализ по установлению взаимосвязи между показателями неферментативной антиоксидантной системы, фотосинтетических пигментов, продуктов перекисного окисления липидов и типом популяции, видом растения, органа и местом произрастания первоцветов. Проанализированы исследуемые показатели у природных и интродукционных популяций раннецветущих растений. Установлено, что значение показателей варьировало незначительно, что доказывает возможность культивирования данных видов растений, сохраняя их ценность как источника биологически активных веществ. При этом сохраняется биоразнообразие природных популяций.

Теоретическая часть работы затрагивает изучение состава антиоксидантов раннецветущих растений с учетом сложившейся возможности противостоять неблагоприятным условиям окружающей среды. Практическая значимость работы заключается в обосновании дальнейшего использования биомассы раннецветущих растений для изготовления экстрактов, обладающих антиоксидантным действием. Экстракты предназначены для повышения стрессоустойчивости биологических объектов.

Ключевые слова: первоцветы; биологически активные вещества; эндогенные антиоксиданты; показатели неферментативной антиоксидантной системы; окислительный стресс.

Табл. 10. Библиогр.: 12 назв.

О. М. Balayeva-Tichomirova, E. A. Leonovich, O. V. Avlasevich

Masherov Vitebsk State University, Ministry of Education of the Republic of Belarus, 33 Moskovskiy Ave.,
Vitebsk, Belarus, +375 (212) 26 00 26, olgabal.tih@gmail.com

THE CONTENT OF ENDOGENOUS ANTIOXIDANTS AND PERIPHERAL OXIDATION PRODUCTS OF LIPIDES IN RAW MATERIAL AND EXTRACTS ALLIUM URSINUM LINNAEUS, A. SCHOENOPRASUM L. AND PRIMULA VERIS L.

The article justifies the possibility of using biomass primroses as a source of endogenous antioxidants to reduce and prevent the effects of oxidative stress in biological objects.

Analysis was made to establish the relationship between the indices of the non-enzymatic antioxidant system, photosynthetic pigments, lipid peroxidation products and the type of population, the species of the plant, the organ, and the location of the primroses. Parameters for natural and introduction populations of early-flowering plants are analyzed. It was found out that the value of the indicators varied insignificantly, which proves the possibility of cultivation of these plant species, preserving their value as a source of biologically active substances. At the same time biodiversity of natural populations is preserved.

The theoretical part of the work touches upon the study of the composition of antioxidants of early-spring plants taking into account the existing opportunity to withstand unfavorable environmental conditions. The practical importance of the work is to justify the further use of the biomass of early-flowering plants for production of extracts that have antioxidant effects. Extracts are designed to increase the stress resistance of biological objects.

Key words: primroses; biosubstances; endogenous antioxidants; indicators of non-enzymatic antioxidant system; oxidative stress.

Table 10. Ref.: 12 titles.

Введение. Стрессоры при воздействии на биологические объекты формируют неспецифичную ответную реакцию, которая определяется избыточностью прооксидантных процессов либо недостаточностью существующей антиоксидантной системы. Обработка биологического объекта биосовместимым природным антиоксидантным поликомпонентным препаратом может повысить устойчивость его к действию факторов, вызывающих окислительный стресс, или снизить последствия данного воздействия [1]. В качестве сырья для таких антиоксидантных экстрактов предлагается использовать биомассу раннецветущих растений, для чего необходимо исследовать содержание эндогенных антиоксидантов, содержащихся в раннецветущих растениях [2].

Растениями, содержащими в своем составе практически все известные антиоксиданты, являются различные виды луков [3], а также первоцвет весенний [4]. В их листьях содержатся витамин С, соединения фенольной природы, флавоноиды, каротиноиды, пектиновые и минеральные вещества, эфирные масла [5]. Данные растения широко используются за рубежом в качестве антиоксидантных, противогрибковых, антибактериальных, кардиотонических, гиполипемических средств в виде спиртовых экстрактов и капсул с порошком измельченного сырья. Однако в Республике Беларусь и странах СНГ данные растения являются малоизученными и не находят широкого применения [6]. Поскольку биологически активные вещества изученных растений нестойки, быстро разрушаются при хранении и высушивании растительного сырья, то актуальным является создание экстрактов и изучение их биологической активности. Несмотря на более поздние сроки цветения, лук шнитт условно будем относить к первоцветам для объединения всех изученных растений в одну группу.

Цель работы — определить компоненты антиоксидантной системы, продуктов перекисного окисления липидов и содержание фотосинтетических пигментов раннецветущих растений в зависимости от типа популяции и места произрастания.

Материал и методы исследования. Объект исследования — раннецветущие растения — лук медвежий (*Allium ursinum* Linnaeus); первоцвет весенний (*Primula veris* L.); лук шнитт (*Allium schoenoprasum* L.).

Предмет исследования — содержание эндогенных антиоксидантов (суммы флавоноидов, суммы фенольных соединений, аскорбиновой кислоты), содержание продуктов перекисного окисления липидов (диеновых конъюгатов и ТБК-позитивных веществ (ТБК-ПВ), преимущественно малонового диальдегида), состояние фотосинтетического аппарата (концентрация хлорофиллов и каротиноидов).

Образцы растений отбирались из популяций, произрастающих в условиях ботанического сада ВГУ имени П. М. Машерова (интродукционная популяция, полученная из природных популяций растений, произрастающих вблизи д. Шавеки Шумилинского района), Жортайское лесничество (д. Крацевичи Борисовского района) и Витебское лесничество (г. Витебск, поселок Бороники).

Исследуемые показатели определялись спектрофотометрическими методами в листьях растений и полученных из них экстрактов.

Для получения экстрактов растений применяли классический метод экстрагирования — настаивание. Были подобраны условия проведения экстрагирования (вид экстрагента — спирт и вода, его концентрация — 70%-й спиртовой раствор, кратность экстрагирования — 3, соотношение «сырье : экстрагент» — 1 : 5, степень измельчения сырья — 1,0 мм, время экстракции — 12 ч). При этом основным критерием выбора являлось содержание эндогенных антиоксидантов в экстракте по сравнению с их содержанием в растительном сырье. Полученные

при трехкратном извлечении растворы объединяли, помещали в прохладное место (холодильная камера при температуре 8—10°C) на 24 ч. После оседания балластных веществ вытяжку фильтровали через бумажный фильтр. В результате получили прозрачные экстракты темно-зеленого цвета. Далее изучали состав полученных экстрактов.

Содержание диеновых конъюгатов определяли в суспензии хлоропластов, растворяя их в смеси «гептан : изопропиловый спирт» в соотношении 1 : 1. Концентрацию продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) устанавливали по тесту с тиобарбитуровой кислотой. Содержание суммы фенольных соединений определяли в спиртовых экстрактах при добавлении реактива Фолина—Чиокальтеу. Содержание суммы флавоноидов выявляли в спиртовых экстрактах при добавлении раствора алюминия хлорида. Концентрацию аскорбиновой кислоты определяли на основании ее способности инактивировать свободные радикалы, образуя неактивный радикал — семидегидроаскорбат. Содержание фотосинтетических пигментов определяли в экстрактах из ацетона, концентрацию пигментов в растворе — по формуле Вернера. Содержание суммы каротиноидов рассчитывали по формуле Веттштейна [7].

Математическую обработку полученных результатов проводили методами параметрической и непараметрической статистики с использованием пакета статистических программ Microsoft Excel 2003, STATISTICA 6.0. Достоверность различий учитывали при $P < 0,05$.

Результаты и их обсуждение. Раннецветущие растения на всех стадиях развития устойчивы к климатическому стрессу (низкая температура, влажность воздуха и почвы в начале вегетации, значительные перепады ночных и дневных температур воздуха и почвы, постоянные северо-западные ветра) [8]. Первоцветы обладают высокой способностью к биологической адаптации, что необходимо для их нормального функционирования под воздействием экстремальных условий. Сложные условия произрастания приводят к активации окислительного стресса и увеличению числа свободных радикалов, что может привести к гибели клеток и, как следствие, гибели самого растения [9].

Эндогенные вещества растений способны нейтрализовать избыточное образование свободных радикалов, проявляя тем самым защитные, антиоксидантные свойства [10]. Установлено, что способностью к «тушению» реакций одноэлектронного восстановления кислорода обладают такие соединения, как аскорбиновая кислота, токоферол, восстановленный глутатион, флавоноиды, полифенольные комплексы, полиамины, свободные аминокислоты (в частности, пролин), растворимые углеводы [11]. Ферменты-антиоксиданты катализируют преимущественно реакции, нейтрализующие супероксид и перекись водорода, а детоксикация реактивных производных кислорода (синглетный кислород, гидроперекисный радикал, гидроксил-радикал и пероксинитрит) осуществляется эндогенными антиоксидантными системами, относящимися к неферментативной антиоксидантной системе растения [12].

Способность раннецветущих растений противостоять неблагоприятным факторам окружающей среды обусловлена особенностью их эндогенной антиоксидантной системы (таблица 1).

Т а б л и ц а 1. — Показатели неферментативной антиоксидантной системы и продукты перекисного окисления липидов листьев раннецветущих растений ($M \pm m$)

T a b l e 1. — Indicators of a non-enzymatic antioxidant system of leaves of early-flowering plants ($M \pm m$)

Показатель	Растительный объект		
	Медвежий лук (листья)	Первоцвет весенний (листья)	Лук шнитт (листья)
Диеновые конъюгаты, мкмоль / г	0,54±0,03 ²	0,74±0,01 ¹	0,45±0,002 ²
ТБК-положительные вещества, моль / г	8,49±0,20 ²	4,51±0,17 ¹	2,62±0,45 ^{1, 2}
Сумма фенольных соединений, мг / г	22,99±3,73 ²	49,62±4,80 ¹	15,39±2,01 ^{1, 2}

Окончание таблицы 1

Показатель	Растительный объект		
	Медвежий лук (листья)	Медвежий лук (листья)	Медвежий лук (листья)
Сумма флавоноидов, мг / г	1,83±0,66	2,28±0,28 ¹	1,23±0,17 ²
Аскорбиновая кислота, мг / г	23,59±0,22 ²	77, 43±0,54 ¹	11,65±0,15 ^{1,2}
Сумма хлорофиллов <i>a</i> и <i>b</i> , мг / г	0,50±0,010	0,63±0,009 ¹	0,21±0,005 ^{1,2}
Каротиноиды, мг / г	0,29±0,014 ²	0,87±0,012 ¹	0,13±0,002 ^{1,2}

Примечание. ¹*P* < 0,05 по сравнению с медвежьим луком (ботанический сад); ²*P* < 0,05 по сравнению с первоцветом весенним (ботанический сад).

Как следует из таблицы 1, наибольшее содержание суммы фенольных соединений, суммы флавоноидов, аскорбиновой кислоты отмечено в листьях первоцвета весеннего. Содержание ТБК-ПВ снижено в листьях первоцвета весеннего по сравнению с медвежьим луком в 1,9 раза. По сравнению с медвежьим луком в первоцвете весеннем увеличено содержание следующих показателей: суммы фенольных соединений — в 2,16 раза, суммы флавоноидов — в 1,25 раза, аскорбиновой кислоты — в 3,28 раза. По сравнению с луком шнитт в первоцвете весеннем повышено содержание следующих показателей: суммы фенольных соединений — в 3,2 раза, суммы флавоноидов — в 1,9 раза, аскорбиновой кислоты — в 6,6 раза. Состояние фотосинтетического аппарата первоцветов оценивали по содержанию пигментов, наибольшее содержание отмечено в листьях первоцвета весеннего: по сравнению с медвежьим луком увеличено содержание суммы хлорофиллов *a* и *b* в 1,3 раза, каротиноидов — в 3 раза, по сравнению со шнитт-луком содержание суммы хлорофиллов *a* и *b* больше чем в 3 раза, каротиноидов — в 6,7 раз. Таким образом, по содержанию эндогенных антиоксидантов и состоянию ассимиляционного аппарата наибольшей антиоксидантной активностью и возможностью противодействовать последствиям окислительного стресса обладают листья первоцвета.

Рассмотрим результаты исследования влияния типа популяции и местопрорастания на содержание эндогенных антиоксидантов, продуктов перекисного окисления липидов, состояние фотосинтетического аппарата (таблицы 2—8).

Фенольные соединения участвуют в окислительно-восстановительных процессах, защитных механизмах, в процессах роста растения, являются антиоксидантами и стимулируют деление клеток. Наибольшее содержание фенольных соединений зафиксировано в листьях первоцвета весеннего природной популяции, произрастающей в лесничестве Борисовского района, и составляет 50,32 мг / г (см. таблицу 2). Наименьшее значение данного показателя отмечено в листьях лука медвежьего природной популяции, произрастающего в лесничестве Витебского района, и составляет 14,26 мг / г, что в 3,53 раза меньше, чем в листьях первоцвета весеннего. Значение данного показателя внутри популяции одного вида варьируют незначительно и составляет у первоцвета весеннего Δ 1,01 мг / г, у медвежьего лука — Δ 1,12 мг / г, у лука шнитт — Δ 1,68 мг / г. Выявлено, что содержание данного показателя статистически значимо отличается между медвежьим луком, произрастающим в г. Витебске и Витебском районе и растениями данного вида из Борисовского района.

Флавоноиды защищают растительные ткани от избыточной радиации, противодействуют воспалительным и окислительным реакциям, участвуют в окислительно-восстановительных реакциях, протекающих в растительных тканях, нейтрализуя избыток свободных радикалов. Наибольшее содержание суммы флавоноидов зафиксировано в листьях первоцвета весеннего интродукционной популяции, произрастающей в ботаническом саду г. Витебска, и составляет 2,28 мг / г. Наименьшее значение данного показателя отмечено в листьях лука медвежьего

природной популяции, произрастающего в лесничестве Витебского района, и составляет 1,09 мг / г, что в 2,1 раза меньше, чем в листьях первоцвета весеннего (см. таблицу 3). Отмечено, что содержание суммы флавоноидов статистически значимо отличается в зависимости от местопроизрастания, но изменения значений данного показателя варьируют незначительно. Так, например, у медвежьего лука при сравнении с растениями из лесничества Витебского района содержание суммы флавоноидов в 1,68 и 1,61 раза больше в популяциях ботанического сада и лесничества Борисовского района соответственно. Данный показатель изменяется незначительно в пределах одного вида: у первоцвета весеннего на $\Delta 0,27$ мг / г, у медвежьего лука — $\Delta 0,76$ мг / г, у лука шнитт — $\Delta 0,07$ мг / г.

Т а б л и ц а 2. — Сумма фенольных соединений (мг / г) в листьях природных и интродукционных популяций раннецветущих растений ($M \pm m$)

Table 2. — The sum of phenolic compounds (mg / g) in the leaves of natural and introduction populations of early-flowering plants ($M \pm m$)

Растительный объект	Место сбора		
	Ботанический сад (г. Витебск)	Лесничество (Борисовский р-н)	Лесничество (Витебский р-н)
Медвежий лук	22,99±3,73	20,60±2,70 ¹	14,26±4,79 ¹
Первоцвет весенний	49,62±4,80	50,32±2,08 ¹	49,67±2,07 ^{1, 2}
Лук шнитт	15,39±2,01	19,76±1,29 ¹	18,08±3,35 ^{1, 2}

Примечание. ¹P < 0,05 по сравнению с растениями ботанического сада г. Витебска; ²P < 0,05 по сравнению с растениями лесничества Борисовского района.

Т а б л и ц а 3. — Сумма флавоноидов (мг / г) в листьях природных и интродукционных популяций раннецветущих растений ($M \pm m$)

Table 3. — The sum of flavonoids (mg / g) in the leaves of natural and introduction populations of early-flowering plants ($M \pm m$)

Растительный объект	Место сбора		
	Ботанический сад (г. Витебск)	Лесничество (Борисовский р-н)	Лесничество (Витебский р-н)
Медвежий лук	1,83±0,66	1,76±0,60 ¹	1,09±0,23 ¹
Первоцвет весенний	2,28±0,28	2,01±0,38 ¹	2,21±0,44 ^{1, 2}
Лук шнитт	1,23±0,17	1,16±0,10 ¹	1,21±0,11 ^{1, 2}

Примечание. ¹P < 0,05 по сравнению с растениями ботанического сада г. Витебска; ²P < 0,05 по сравнению с растениями лесничества Борисовского района.

Суммарное содержание фенольных соединений и флавоноидов позволяет выявить связь с определенным экологическим окружением, влияние которого определяется характером влагообеспеченности и освещенности. Из проведенных исследований следует, что наиболее благоприятные условия для накопления фенольных соединений, включая флавоноиды, — в ботаническом саду г. Витебска.

Аскорбиновая кислота является важнейшим внутриклеточным антиоксидантом, способным легко отдавать два атома водорода, используемых в реакциях обезвреживания свободных радикалов. Наибольшее содержание аскорбиновой кислоты зафиксировано в листьях первоцвета весеннего, произрастающего в природной популяции лесничества Борисовского

района, — 81,65 мг / г. Наименьшее значение данного показателя отмечено в листьях лука шнитт природной популяции, произрастающего в лесничестве Витебского района, что составляет 10,06 мг / г, а это в 8,12 раза меньше, чем в листьях первоцвета весеннего (см. таблицу 4). Отмечено, что разница в содержании витамина С между видами растений значительная и составляет от 4,32 до 7,99 раза при сравнении содержания в листьях первоцвета весеннего с медвежьим луком и луком шнитт соответственно, а при сравнении между медвежьим луком и луком шнитт — в 1,86 раза. У одного вида растения в зависимости от местообитания показатель изменяется незначительно: например, у медвежьего лука содержание витамина С в 1,41 и 1,25 раза больше в популяциях ботанического сада г. Витебска и Борисовского района соответственно при сравнении с растениями из популяции лесничества Витебского района.

Т а б л и ц а 4. — Содержание аскорбиновой кислоты (мг / г) в листьях природных и интродукционных популяций раннецветущих растений ($M \pm m$)

Table 4. — The content of ascorbic acid (mg / g) in leaves of natural and introduction populations of early-flowering plants ($M \pm m$)

Растительный объект	Место сбора		
	Ботанический сад (г. Витебск)	Лесничество (Борисовский р-н)	Лесничество (Витебский р-н)
Медвежий лук	23,59±0,22	18,96±0,31 ¹	16,72±0,411 ¹
Первоцвет весенний	77,43±0,54	81,65±0,73 ¹	78,32±0,62 ^{1,2}
Лук шнитт	11,65±0,15	10,22±0,13 ¹	10,06±0,11 ^{1,2}

Примечание. ¹ $P < 0,05$ по сравнению с растениями ботанического сада г. Витебска; ² $P < 0,05$ по сравнению с растениями лесничества Борисовского района.

Содержание аскорбиновой кислоты зависит не только от видовых особенностей, но и от условий произрастания. Свет оказывает положительное влияние на синтез витамина С, хотя при недостатке света и даже в темноте происходит образование аскорбиновой кислоты. Как и в случае с фенольными соединениями, наиболее благоприятные условия для накопления витамина С в Витебском ботаническом саду.

Для оценки возможности раннецветущих растений противостоять неблагоприятным факторам окружающей среды, помимо содержания эндогенных антиоксидантов, используют активность антиоксидантной системы, которую оценивают по содержанию промежуточных и конечных продуктов перекисного окисления липидов (см. таблицы 5 и 6). Диеновые конъюгаты представляют собой ранние продукты ПОЛ, которые впоследствии преобразуются в конечные продукты.

Т а б л и ц а 5. — Содержание диеновых конъюгатов (мкмоль / г) в листьях природных и интродукционных популяций раннецветущих растений ($M \pm m$)

Table 5. — The content of diene conjugates ($\mu\text{mol} / \text{g}$) in leaves of natural and introduction populations of early-flowering plants ($M \pm m$)

Растительный объект	Место сбора		
	Ботанический сад (г. Витебск)	Лесничество (Борисовский р-н)	Лесничество (Витебский р-н)
Медвежий лук	0,54±0,03	0,49±0,07 ¹	0,54±0,03 ¹
Первоцвет весенний	0,74±0,01	0,81±0,05 ¹	0,84±0,14 ^{1,2}
Лук шнитт	0,45±0,02	0,41±0,03 ¹	0,21±0,02 ^{1,2}

Примечание. ¹ $P < 0,05$ по сравнению с растениями ботанического сада г. Витебска; ² $P < 0,05$ по сравнению с растениями лесничества Борисовского района.

Наибольшее содержание диеновых конъюгатов выявлено в листьях первоцвета весеннего, произрастающего в природной популяции лесничества Витебского района, что составляет 0,84 мкмоль / г, наименьшее значение (0,21 мкмоль / г) — в листьях лука шнитт того же местопроизрастания, что в 4,00 раза меньше, чем в листьях первоцвета весеннего. Установлено, что разница в содержании диеновых конъюгатов между видами растений значительная. В листьях первоцвета весеннего, по сравнению с листьями медвежьего лука и шнитт-лука, содержание данного показателя повышено в 1,56 и 4,00 раза соответственно. У медвежьего лука концентрация диеновых конъюгатов выше в 2,57 раза по сравнению с луком шнитт. При сопоставлении данных по одному виду в зависимости от местопроизрастания и типа популяции значительных изменений не отмечено.

У лука шнитт выявлены статистически значимые отличия в содержании диеновых конъюгатов между популяциями. Наименьшее их содержание зафиксировано в природной популяции Витебского лесничества, по сравнению с которой концентрация данного показателя повышена в 2,14 раза в интродукционной популяции ботанического сада г. Витебска и в 1,95 раза — в природной популяции Борисовского района.

Т а б л и ц а 6. — Содержание ТБК-ПВ (нмоль / г) в листьях природных и интродукционных популяций раннецветущих растений ($M \pm m$)

Table 6. — The content of products of lipid peroxidation (nmol / g) in leaves of natural and introduction populations of early-flowering plants ($M \pm m$)

Растительный объект	Место сбора		
	Ботанический сад (г. Витебск)	Лесничество (Борисовский р-н)	Лесничество (Витебский р-н)
Медвежий лук	8,49±0,20	4,56±0,79 ¹	7,18±1,02 ¹
Первоцвет весенний	4,51±0,17	5,10±0,82 ¹	4,57±0,36 ^{1,2}
Лук шнитт	2,62±0,45	3,30±0,59 ¹	2,77±0,32 ^{1,2}

Примечание. ¹ $P < 0,05$ по сравнению с растениями ботанического сада г. Витебска; ² $P < 0,05$ по сравнению с растениями лесничества Борисовского района.

МДА — один из конечных продуктов ПОЛ, взаимодействующий с амоногруппами белков, вызывая их необратимую денатурацию. Наибольшее содержание продуктов перекисного окисления липидов зафиксировано в листьях медвежьего лука, произрастающего в ботаническом саду г. Витебска. Отмечено, что данный показатель выше у медвежьего лука в 1,9 раза по сравнению с первоцветом и в 3,2 раза — по сравнению с луком шнитт. В зависимости от местообитания данный показатель изменяется незначительно, но у медвежьего лука повышен в популяциях ботанического сада г. Витебска и лесничества Витебского района в 1,86 и в 1,57 раза соответственно при сравнении показателя с популяцией лесничества Борисовского района.

Анализируя результаты (см. таблицы 5 и 6), можно сделать заключение, что наиболее благоприятными и наименее стрессовыми оказываются условия произрастания природных популяций растений в Борисовском районе. Процессам ПОЛ принадлежит существенная роль в регуляции метаболизма мембранных липидов, изменении физико-химических свойств и проницаемости мембран в физиологических условиях. При этом продукты ПОЛ представляют опасность для организма растений только в случае нарушения функционирования аниоксидантной системы.

Стресс у растений оказывает существенное влияние на работу ассимиляционного аппарата, и прежде всего пигментов — хлорофиллов и каротиноидов, на которых основана работа продукционного процесса. Статистически значимых отличий в содержании хлорофилла в зависимости от места произрастания в популяциях медвежьего лука и первоцвета весеннего не обнаружено

(см. таблицу 7). Содержание хлорофилла в растениях медвежьего лука в среднем составляет 0,51 мг / г свежего веса, у первоцвета весеннего — 0,60 мг / г свежего веса. При сопоставлении данных по концентрации суммы хлорофиллов *a* и *b* между листьями медвежьего лука и луком шнитт установлены статистически значимые различия. Концентрация суммы хлорофиллов *a* и *b* в медвежьем луке из всех трех мест сбора превышает таковые показатели у лука шнитт в 2,3 раза.

Т а б л и ц а 7. — Сумма хлорофиллов *a* и *b* (мг / г) в листьях природных и интродукционных популяций раннецветущих растений ($M \pm m$)

Table 7. — The sum of chlorophylls *a* and *b* (mg / g) in leaves of natural and introduction populations of early-flowering plants ($M \pm m$)

Растительный объект	Место сбора		
	Ботанический сад (г. Витебск)	Лесничество (Борисовский р-н)	Лесничество (Витебский р-н)
Медвежий лук	0,55±0,010	0,50±0,012 ¹	0,49±0,01 ¹
Первоцвет весенний	0,63±0,009	0,59±0,010 ¹	0,57±0,013 ^{1, 2}
Лук шнитт	0,21±0,005	0,25±0,004 ¹	0,23±0,03 ^{1, 2}

Примечание. ¹*P* < 0,05 по сравнению с растениями ботанического сада г. Витебска; ²*P* < 0,05 по сравнению с растениями лесничества Борисовского района.

Содержание каротиноидов изменяется незначительно в зависимости от места обитания (см. таблицу 8). Установлено, что большее количество каротиноидов содержится в первоцвете весеннем (0,90 мг / г свежего веса), чем в листьях медвежьего лука (0,32 мг / г свежего веса). Содержание каротиноидов у первоцвета весеннего статистически значимо выше в 2,6 раза в сравнении с медвежьим луком. Из таблицы 8 следует, что концентрация каротиноидов ниже в 2,4 раза в шнитт-луке по сравнению с медвежьим луком, произрастающих в ботаническом саду г. Витебска.

Т а б л и ц а 8. — Содержание каротиноидов (мг / г) в листьях природных и интродукционных популяций раннецветущих растений ($M \pm m$)

Table 8. — The content of carotenoids (mg / g) in leaves of natural and introduction populations of early-flowering plants ($M \pm m$)

Растительный объект	Место сбора		
	Ботанический сад (г. Витебск)	Лесничество (Борисовский р-н)	Лесничество (Витебский р-н)
Медвежий лук	0,29±0,014	0,33±0,011 ¹	0,35±0,016 ¹
Первоцвет весенний	0,87±0,012	0,90±0,010 ¹	0,92±0,012 ^{1, 2}
Лук шнитт	0,13±0,002	0,11±0,002 ¹	0,14±0,003 ^{1, 2}

Примечание. ¹*P* < 0,05 по сравнению с растениями ботанического сада г. Витебска; ²*P* < 0,05 по сравнению с растениями лесничества Борисовского района.

Количество фотосинтетических пигментов и каротиноидов напрямую зависит от условий освещенности. Однако известно, что каротин может синтезироваться и в лишенных света частях растения, но в меньшем количестве. По сумме хлорофиллов лидируют растения из ботанического сада г. Витебска, а по содержанию каротиноидов — растения из лесничества Витебского района (см. таблицы 7 и 8).

Наибольшее содержание суммы фенольных соединений, аскорбиновой кислоты отмечено в водном экстракте (1 : 5) листьев первоцвета весеннего (таблица 9). Содержание продуктов перекисного окисления липидов снижено в экстракте листьев первоцвета весеннего (ЭЛПВ) по сравнению с экстрактом листьев медвежьего лука (ЭЛМЛ) в 2,00 раза. По сравнению с экстрактом листьев лука шнитт (ЭЛЛШ) в ЭЛМЛ увеличено содержание следующих показателей: сумма фенольных соединений — в 2,24 раза, аскорбиновой кислоты — в 3,4 раза. По сравнению с ЭЛЛШ, в ЭЛПВ увеличено содержание следующих показателей: сумма фенольных соединений — в 2,49, аскорбиновой кислоты — в 7,01 раза.

Т а б л и ц а 9 — Содержание показателей неферментативной антиоксидантной системы в водных экстрактах (1 : 5) листьев раннецветущих растений ($M \pm m$)

Table 9. — The content of parameters of a nonenzymatic antioxidant system in water extracts (1 : 5) of leaves of early-flowering plants ($M \pm m$)

Показатель	Водный экстракт (1:5)		
	ЭЛЛШ	ЭЛПВ	ЭЛМЛ
Диеновые конъюгаты, мкмоль / г	0,35±0,010 ²	0,62±0,009 ¹	0,41±0,010 ²
ТБК ПВ, нмоль / г	1,92±0,12 ^{1, 2}	4,02±0,32 ¹	8,11±0,38 ²
Сумма фенольных соединений, мг / г	11,12±1,06 ^{1, 2}	27,68±2,24 ¹	12,34±2,45 ²
Сумма флавоноидов, мг / г	0,65±0,09 ²	0,51±0,04 ¹	0,54±0,09
Аскорбиновая кислота, мг/г	9,72±0,12 ^{1, 2}	68,15±0,44 ¹	20,04±0,12 ²
Сумма хлорофиллов <i>a</i> и <i>b</i> , мг / г	0,17±0,002 ^{1, 2}	0,55±0,004 ¹	0,41±0,010
Каротиноиды, мг / г	0,08±0,001 ^{1, 2}	0,74±0,006 ¹	0,21±0,012 ²

Примечание. ¹ $P < 0,05$ по сравнению с ЭЛМЛ; ² $P < 0,05$ по сравнению с ЭЛПВ.

Наибольшее содержание пигментов фотосинтетического аппарата первоцветов наблюдается в ЭЛПВ: по сравнению с ЭЛМЛ увеличено содержание хлорофилла в 1,34 раза, каротиноидов — в 3,52 раза, по сравнению со ЭЛЛШ содержание хлорофилла больше в 3,24 раза, каротиноидов — в 9,25 раза.

Наибольшее содержание суммы фенольных соединений и аскорбиновой кислоты отмечено в экстрактах листьев первоцвета весеннего, а содержание суммы флавоноидов больше в экстрактах листьев медвежьего лука (таблица 10). Активность перекисного окисления липидов снижена в листьях первоцвета весеннего по сравнению с медвежьим луком в 2 раза. По сравнению с медвежьим луком, в первоцвете весеннем увеличено содержание следующих показателей: сумма фенольных соединений — в 1,61, аскорбиновой кислоты — в 3,33 раза. По сравнению с ЭЛЛШ в экстрактах первоцвета весеннего увеличено содержание следующих показателей: сумма фенольных соединений — в 2,6 раза, аскорбиновой кислоты — в 6,6 раза. Содержание суммы флавоноидов выше в ЭЛМЛ в 1,58 раза по сравнению с ЭЛПВ.

Состояние фотосинтетического аппарата первоцветов оценивали по содержанию пигментов. Наибольшее содержание отмечено в экстрактах листьев первоцвета весеннего: по сравнению с медвежьим луком увеличено содержание хлорофилла в 1,33 раза, каротиноидов — в 2,93 раза, по сравнению с экстрактом шнитт-лука содержание хлорофилла больше в 3,21 раза, каротиноидов — в 7,45 раза.

Т а б л и ц а 10. — Содержание показателей неферментативной антиоксидантной системы в 70%-х спиртовых экстрактах листьях раннецветущих растений ($M \pm m$)

Table 10. — The content of parameters of a nonenzymatic antioxidant system in 70% extracts of leaves of early-flowering plants ($M \pm m$)

Показатель	Спиртовой экстракт 70% (1 : 5)		
	ЭЛПВ	ЭЛПВ	ЭЛПВ
Диеновые конъюгаты, мкмоль / г	0,42±0,01 ²	0,71±0,012 ¹	0,49±0,010 ²
ТБК ПВ, нмоль / г	2,12±0,45 ^{1,2}	4,27±0,14 ¹	8,21±0,13 ²
Сумма фенольных соединений, мг / г	13,23±1,43 ^{1,2}	34,51±3,03 ¹	21,39±1,23 ²
Сумма флавоноидов, мг / г	1,11±0,05 ²	0,90±0,12 ¹	1,42±0,05
Аскорбиновая кислота, мг / г	10,92±0,11 ^{1,2}	77,03±0,67 ¹	23,12±0,15 ²
Сумма хлорофиллов <i>a</i> и <i>b</i> , мг / г	0,19±0,004 ^{1,2}	0,61±0,005 ¹	0,46±0,010
Каротиноиды, мг / г	0,11±0,002 ^{1,2}	0,82±0,008 ¹	0,28±0,011 ²

Примечание. ¹ $P < 0,05$ по сравнению с ЭЛМЛ; ² $P < 0,05$ по сравнению с ЭЛПВ.

Заключение. Практическая значимость работы заключается в обосновании дальнейшего использования биомассы раннецветущих растений для изготовления экстрактов, обладающих антиоксидантным действием. Экстракты предназначены для повышения стрессоустойчивости биологических объектов.

В ходе проведения исследований показано, что растения двух видов лука (*Allium ursinum*, *A. schoenoprasum*) и первоцвета весеннего (*Primula veris*) независимо от места произрастания обладают широким спектром антиоксидантов, препятствующим развитию окислительного стресса. Наибольшее количество определенных антиоксидантов содержит первоцвет весенний. На накопление фенольных соединений, витамина С и фотосинтетических пигментов оказывают влияние освещенность и влагообеспеченность. Из исследуемых мест произрастания растений наиболее благоприятным по большинству параметров является ботанический сад г. Витебска. Биологически активные вещества наиболее полно экстрагируются из растений 70%-м раствором спирта в соотношении «сырье : экстрагент» — 1 : 5. Экстракты содержат низкомолекулярные антиоксиданты в достаточном количестве, поэтому могут применяться как средства для снижения и предупреждения последствий окислительного стресса у биологических объектов.

Список цитируемых источников

1. Артамонов, В. И. Растения и чистота природной среды / В. И. Артамонов. — М. : Наука, 2006. — 172 с.
2. Аверьянов, А. А. Активные формы кислорода и иммунитет растений / А. А. Аверьянов // Успехи современной биологии. — 2001. — № 5. — С. 722—737.
3. Манукян, К. А. Получение и исследования антиоксидантной активности экстрактов листьев лука медвежьего и лука победного / К. А. Манукян, А. Ю. Айрапетова, Т. А. Шаталова // Здоровье и образование в XXI веке. — 2017. — Т. 19, № 3. — С. 150—153.
4. Исследование качественного и количественного состава флавоноидных соединений густого экстракта первоцвета лекарственного / Г. М. Латыпова [и др.] // Химия растительного сырья. — 2009. — № 4. — С. 113—116.
5. Айрапетова, К. А. Получение экстракта лука медвежьего (черемши) (*Allium ursinum* L.) и изучение его антиоксидантной активности / К. А. Айрапетова, Е. В. Компанцева, Т. А. Шаталова // Изв. Самар. науч. центра Рос. акад. наук. — 2011. — Т. 13, № 1 (8). — С. 1964—1966.
6. Изучение гиполипидемического действия экстракта лука медвежьего (черемши) (*Allium ursinum* L.) / К. А. Айрапетова [и др.] // Изв. Самар. науч. центра Рос. акад. наук. — 2011. — Т. 13, № 1 (4). — С. 758—760.
7. Толкачева, Т. А. Защитные реакции растительных объектов при стрессе и методы их оценки / Т. А. Толкачева, И. М. Морозова, Г. В. Ляхович // Современные проблемы биохимии. Методы исследований / Е. В. Барковский [и др.]; под ред. А. А. Чиркина. — Минск : Высш. шк., 2013. — С. 438—469.
8. Экоморфологический анализ раннецветущих видов растений в техногенных экотопах юго-востока Украины / А. З. Глухов [и др.] // Экологія та ноосферологія. — 2011. — Т. 22, № 3—4. — С. 48—57.

9. Абдулин, И. Ф. Органические антиоксиданты как объекты анализа / И. Ф. Абдулин, Е. Н. Турова, Г. К. Будников // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2001. — Т. 167, № 6. — С. 3—13.
10. Веретенников, А. В. Физиология растений / А. В. Веретенников. — М. : Акад. проект, 2006. — 480 с.
11. Гребинский, С. О. Биохимия растений / С. О. Гребинский. — Львов : Высш. шк., 2005. — 210 с.
12. Медведев, С. С. Физиология растений / С. С. Медведев. — СПб. : Изд-во С-Петербур. ун-та, 2004. — 336 с.

References

1. Artamonov V. I. *Rasteniya i chistota prirodnoj sredy* [Plants and cleanliness of the natural environment]. Moscow, Science, 2006, 172 p.
2. Aver'yanov A. A. *Aktivnye formy kisloroda i immunitet rastenij* [Active forms of oxygen and plant immunity]. Advances in modern biology, 2001. № 5, pp. 722—737.
3. Manukyan K. A. *Poluchenie i issledovaniya antioksidantnoj aktivnosti ehkstraktov list'ev luka medvezh'ego i luka pobednogo* [Obtaining and researching the antioxidant activity of leaves and onions extracts of bear and onion victorious]. Health and education in the 21st century, 2017. Vol. 19, № 3, pp. 150—153.
4. Latypova G. M. *Issledovanie kachestvennogo i kolichestvennogo sostava flavonoidnyh soedinenij gustogo ehkstrakta pervocveta lekarstvennogo* [Investigation of the qualitative and quantitative composition of flavonoid compounds of a thick extract of the primrose drug]. Chemistry of plant raw materials, 2009. № 4, pp. 113—116.
5. Ajrapetova K. A. *Poluchenie ehkstrakta luka medvezh'ego (cheremshi) (Allium ursinum L.) i izuchenie ego antioksidantnoj aktivnosti* [Preparation of the extract of *Allium ursinum* L. and the study of its antioxidant activity]. Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2011. Vol. 13, № 1 (8), pp. 1964—1966.
6. *Izuchenie gipolipidemicheskogo dejstviya ehkstrakta luka medvezh'ego (cheremshi) (Allium ursinum L.)* [Study of the lipid-lowering action of the extract *Allium ursinum* L.]. Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2011. Vol.13, № 1 (4), pp. 758—760.
7. Tolkacheva T. A., Morozova I. M., Lyahovich G. V. *Zashchitnye reakcii rastitel'nyh obyektov pri stresse i metody ih ocenki* [Protective reactions of plant objects under stress in stress and methods for their evaluation]. Modern problems of biochemistry. Methods of Research. Minsk, Higher School, 2013, pp. 438—469.
8. [Ecomorphological analysis of early-springing plant species in technogenic ecotopes of the southeast of Ukraine]. Ecology and noosphere. 2011. Vol. 22, № 3-4, pp. 48—57.
9. Abdulin I. F., Turova E. N., Budnikov G. K. *Organicheskie antioksidanty kak obyekty analiza* [Organic antioxidants as objects of analysis]. Factory laboratory. Diagnostics of materials, 2001, № 6, pp. 3—13.
10. Veretennikov A. V. *Fiziologiya rastenij* [Plant physiology]. Moscow, Academic Project, 2006, 480 p.
11. Grebinskij S. O. *Biohimiya rastenij* [Biochemistry of plants]. Lviv, High school, 2005, 210 p.
12. Medvedev S. S. *Fiziologiya rastenij* [Plant Physiology]. St. Petersburg, Publishing House of St. Petersburg Univ., 2004, 336 p.

SUMMARY

In connection with the increase in the impact of unfavorable environmental factors on biological objects, including plants used in agriculture, it is important to find adequate ways to counteract current stressors (climate change — extreme temperature effects, drought and excessive watering of soils, accumulation of heavy metals, etc.). Among the factors that counteract stress, natural biocompatible biologically active compositions containing endogenous antioxidants are of great interest.

The aim of the study was to determine the components of the antioxidant system, products of lipid peroxidation and the content of photosynthetic pigments of early-flowering plants, depending on the type of population and place of growth.

The object of the study was early-flowering plants — *Allium ursinum*, *A. schoenoprasum* and *Primula veris*.

The subject of the study is the content of endogenous antioxidants (the sum of flavonoids, the sum of phenolic compounds, ascorbic acid), the content of lipid peroxidation products (dienic conjugates and TBA-positive substances, predominantly malonic dialdehyde), the state of the photosynthetic apparatus (concentration of chlorophylls and carotenoids).

The investigated parameters were determined by the spectrophotometric method.

Results of the study. The research showed that plants of two species of onions (*Allium ursinum*, *A. schoenoprasum*) and *Primula veris* irrespective of the place of their growth have a wide spectrum of antioxidants, which hinder the development of oxidative stress. The greatest amount of certain antioxidants contains spring primrose. The accumulation of phenolic compounds, vitamin C and photosynthetic pigments is influenced by illumination and moisture supply. From the places where plants grow, the most favorable for most parameters is the botanical garden of Vitebsk. Biologically active substances are most fully extracted from plants by a 70% solution of alcohol in the ratio of raw materials : extractant — 1 : 5. Extracts contain low-molecular antioxidants in sufficient quantities, so they can be used as a means to reduce and prevent the effects of oxidative stress in biological objects.

Thus, the practical significance of the work is to justify the further use of the biomass of early-flowering plants for the production of extracts that have antioxidant activity. Extracts are designed to increase the stress resistance of biological objects.

Поступила в редакцию 14.08.2017