

BIOLOGICAL SCIENCES

BIOCHEMICAL FEATURES OF OXIDATIVE STRESS DEVELOPMENT AND SEARCH WAYS OF ITS CORRECTION

Balaeva-Tikhomirova O.,

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Head of Department of Chemistry and science education Vitebsk State University named after P.M. Masherova,

Volodko A.,

postgraduate student of Department of Chemistry and science education Vitebsk State University named after P.M. Masherova

Fomicheva N.,

Master's student of Vitebsk State University named after P. Masherova

Rumyantseva O.,

Master's student of Vitebsk State University named after P. Masherova

Sidorova T.

student of Vitebsk State University named after P.M. Masherova

БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА И ПОИСК СПОСОБОВ ЕГО КОРРЕКЦИИ

Балаева-Тихомирова О. М.,

к.б.н., доцент, зав. кафедрой химии и ЕНО Витебский государственный университет имени П.М. Машерова,

Володько А.С.,

аспирант кафедры химии и ЕНО Витебский государственный университет имени П.М. Машерова

Фомичёва Н.С.,

магистрант Витебский государственный университет имени П.М. Машерова

Румянцева О.С.,

магистрант Витебский государственный университет имени П.М. Машерова

Сидорова Т.В.

студентка Витебский государственный университет имени П.М. Машерова

DOI: [10.24412/3453-9875-2021-58-2-16-23](https://doi.org/10.24412/3453-9875-2021-58-2-16-23)

Abstract

The article is devoted to the study of the urgent problem of the biochemical characteristics of the development of oxidative stress in biological objects and the search for ways to prevent and correct the disorders caused by it.

Аннотация

Статья посвящена изучению актуальной задачи биохимических особенностей развития окислительного стресса у биологических объектов и поиска способов профилактики и коррекции вызванных им нарушений.

Keywords: oxidative stress, natural antioxidant drugs, early flowering plants.

Ключевые слова: окислительный стресс, природные антиоксидантные препараты, раннецветущие растения.

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 этого 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, гиполипидемических средств в виде спиртовых экстрактов и капсул с порошком измельченного сырья. Однако в Республики Бела-

русью 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.

В связи с увеличением воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды на биологические объекты, в том числе и растения, используемые в сельском хозяйстве, актуальным является поиск адекватных способов противодействия современным стрессорам (экстремальные температурные воздействия, засуха и избыточное обводнение почв, накопление тяжелых металлов и др.). Среди факторов, противодействующих стрессу, большой интерес представляют природные биосовместимые биологически активные композиции, содержащие эндогенные антиоксиданты.

Цель работы: рассмотреть биохимические особенности развития окислительного стресса у раннецветущих растений и поиск способов профилактики и коррекции вызванных ими нарушений.

Материалы и методы исследования. 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), лесничество Жортайское д. Крацевичи Борисовского района и лесничество Витебское г. Витебск поселок Бороники. Исследуемые показатели определялись спектрофотометрическими методами в листьях растений и полученных из них экстрактов.

Объект исследования – раннецветущие растения – лук медвежий (*Allium ursinum*); первоцвет весенний (*Primula officinalis*); лук шнитт (*Allium schoenoprasum*).

Предмет исследования – содержание эндогенных антиоксидантов (сумма флавоноидов, сумма фенольных соединений, аскорбиновой кислоты), активность антиоксидантной системы (содержание продуктов перекисного окисления липидов, диеновых конъюгатов), состояние фотосинтетического аппарата (концентрация хлорофиллов и каротиноидов).

Для оценки стабильности водных экстрактов раннецветущих растений при их хранении была разработана следующая модель – исследование экстракта первоцвета весеннего, лука шнитт, медвежьего лука: экстракт листьев водный (1:5); экстракт листьев водный (1:10).

Стандартизация экстрактов. Анализ экстрактов проводился по содержанию действующих веществ. Для этого проводится качественный и количественный химический, физико-химический анализы.

Методика получения экстракта: 1 г растительного материала + 4 мл дистиллированной воды

(1:5) и 1 г растительного материала + 9 мл дистиллированной воды (1:10) растирали в ступке, после этого экстрагировали в течении 30 минут, центрифугировали при 3000 об/мин в течении 15 минут. Отделяли экстракт от центрифугата и дозировали в пеницилинки, плотно закрывали крышкой и ставили в холодильник на хранение. В результате получили прозрачные экстракты темно-зеленого цвета. Далее изучали состав полученных экстрактов.

Исследуемые показатели определялись спектрофотометрическими методами.

Содержание диеновых конъюгатов определяли в суспензии хлоропластов, растворяя их в смеси гептан: изопропиловый спирт в соотношении 1:1. Концентрацию продуктов перекисного окисления липидов 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 инaktivировать свободные радикалы, образуя неактивный радикал – семидегидроаскорбат. Содержание фотосинтетических пигментов определяли в экстрактах из ацетона. Концентрацию пигментов в растворе рассчитывали по формуле Вернера. Содержание суммы каротиноидов рассчитывали по формуле Веттштейна [7].

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

Результаты собственных исследований и их обсуждение. Раннецветущие растения на всех стадиях развития устойчивы к климатическому стрессу (низкой температуре и влажности воздуха и почвы в начале вегетации, значительных перепадах ночных и дневных температур воздуха и почвы, к постоянным северо-западным ветрам) [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 соединениями, как аскорбиновая кислота, токоферол, восстановленный глутатион, флавоноиды, полифенольные комплексы, полиамины, свободные аминокислоты (в частности, пролин), растворимые уг-

леводы [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 эндоген-

ными антиоксидантными относящимися к неферментативной антиоксидантной системе растений [12].

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

Таблица 1

Показатели неферментативной антиоксидантной системы и продукты перекисного окисления липидов листьев раннецветущих растений ($M \pm m$)

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-позитивные 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}
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 – ¹P < 0,05 по сравнению с медвежьим луком (ботанический сад); ²P < 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 раз. По сравнению с медвежьим луком в первоцвете весеннем увеличено содержание следующих показателей: суммы фенольных соединений – в 2,16 раз, суммы флавоноидов – в 1,25 раз, аскорбиновой кислоты – в 3,28 раз. По сравнению с луком шнитт в первоцвете весеннем повышено содержание следующих показателей: суммы фенольных соединений – в 3,2 раза, суммы флавоноидов – в 1,9 раз, аскорбиновой кислоты – в 6,6 раз. Состояние фотосинтетического аппарата первоцветов оценивали по содержанию пиг-

ментов, наибольшее содержание отмечено в листьях первоцвета весеннего: по сравнению с медвежьим луком увеличено содержание суммы хлорофиллов *a* и *b* в 1,3 раз, каротиноидов – в 3 раза, по сравнению со шнитт луком содержание суммы хлорофиллов *a* и *b* больше 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.

Результаты исследования влияния типа популяции и местопрорастания на содержание эндогенных антиоксидантов, продуктов перекисного окисления липидов, состояние фотосинтетического аппарата представлены в таблицах 2–8.

Таблица 2

Сумма фенольных соединений (мг/г) в листьях природных и интродукционных популяций раннецветущих растений ($M \pm m$)

Растительный объект	Место сбора		
	Ботанический сад (г. Витебск)	Лесничество (Борисовского р-на)	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.

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

(таблица 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 1,01 мг/г, у медвежьего лука – 1,12 мг/г, у лука шнитт – 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 медвежь-

его природной популяции, произрастающего в лесничестве Витебского района и составляет 1,09 мг/г, что в 2,1 раза меньше, чем в листьях первоцвета весеннего (таблица 3). Отмечено, что содержание суммы флавоноидов статистически значимо отличается в зависимости от местообитания, 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 раз 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 Д 0,27 мг/г, у медвежьего лука – Д 0,76 мг/г, у лука шнитт – 0,07 мг/г.

Таблица 3

Сумма флавоноидов (мг/г) в листьях природных и интродукционных популяций раннецветущих растений ($M \pm m$)

Растительный объект	Место сбора		
	Ботанический сад (г. Витебск)	Лесничество (Борисовского р-на)	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. Витебск.

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 и составляет 81,65 мг/г.

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

Таблица 4

Содержание аскорбиновой кислоты (мг/г) в листьях природных и интродукционных популяций раннецветущих растений ($M \pm m$)

Растительный объект	Место сбора		
	Ботанический сад (г. Витебск)	Лесничество (Борисовского р-на)	Лесничество (Витебского р-на)
Медвежий лук	23,59±0,22	18,96±0,31 ¹	16,72±0,41 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 – ¹P < 0,05 по сравнению с растениями ботанического сада г. Витебска; ²P < 0,05 по сравнению с растениями лесничества Борисовского района.

Содержание аскорбиновой кислоты зависит не только от видовых особенностей, но и от условий их 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 ботаниче-

ском 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 (таблицы 5, 6). Диеновые каньюгаты представляют собой ранние продукты ПОЛ, которые в последствие преобразуются в конечные продукты.

Наибольшее содержание диеновых коньюгатов выявлено в листьях первоцвета весеннего, произрастающего в природной популяции лесничества Витебского района и составляет 0,84 мкмоль/г,

наименьшее значение – 0,21 мкмоль/г в листьях лука шнитт того же местопроизрастания, что в 4 раза меньше, чем в листьях первоцвета весеннего. Установлено, что разница в содержании диеновых коньюгатов между видами растений значительная. В листьях первоцвета весеннего по сравнению с листьями медвежьего лука и лука шнитт содержание данного показателя повышено в 1,56 раз и 4 раза соответственно. У медвежьего лука концентрация диеновых коньюгатов выше в 2,57 раз по сравнению с луком шнитт. При сопоставлении данных по одному виду в зависимости от местопроизрастания и типа популяции значительных изменений не отмечено.

Таблица 5

Содержание диеновых коньюгатов (мкмоль/г) в листьях природных и интродукционных популяций раннецветущих растений ($M \pm m$)

Растительный объект	Место сбора		
	Ботанический сад (г. Витебск)	Лесничество (Борисовского р-на)	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 – ¹P < 0,05 по сравнению с растениями ботанического сада г. Витебска; ²P < 0,05 по сравнению с растениями лесничества Борисовского района.

У лука шнитт выявлены статистически значимые отличия в содержании диеновых коньюгатов между популяциями. Наименьшее содержание диеновых коньюгатов 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 раз в природной популяции Борисовского района.

Таблица 6

Содержание ТБК-ПВ (нмоль/г) в листьях природных и интродукционных популяций раннецветущих растений ($M \pm m$)

Растительный объект	Место сбора		
	Ботанический сад (г. Витебск)	Лесничество (Борисовского р-на)	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 – ¹P < 0,05 по сравнению с растениями ботанического сада г. Витебска; ²P < 0,05 по сравнению с растениями лесничества Борисовского района.

Один из конечных продуктов ПОЛ, относящийся к ТБК-ПВ, является малоновый диальдегид, который взаимодействует 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 раз 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 раз соответственно при сравнении показателя с популяцией лесничества Борисовского района.

Анализируя результаты, представленные в таблицах 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 антиоксидантной 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 (таблица 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 шнитта в 2,3 раза.

Таблица 7

Сумма хлорофиллов *a* и *b* (мг/г) в листьях природных и интродукционных популяций раннецветущих растений ($M \pm m$)

Растительный объект	Место сбора		
	Ботанический сад (г. Витебск)	Лесничество (Борисовского р-на)	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 – ¹P < 0,05 по сравнению с растениями ботанического сада г. Витебска; ²P < 0,05 по сравнению с растениями лесничества Борисовского района.

Содержание каротиноидов изменяется незначительно от места обитания (таблица 3.8). Установлено, что большее количество каротиноидов содержится в первоцвете весеннем – 0,90 мг/г свежего веса, чем в 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 луке шнитт по сравнению с медвежьим луком, произрастающих в ботаническом саду г. Витебска.

Таблица 8

Содержание каротиноидов (мг/г) в листьях природных и интродукционных популяций раннецветущих растений ($M \pm m$)

Растительный объект	Место сбора		
	Ботанический сад (г. Витебск)	Лесничество (Борисовского р-на)	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 – ¹P < 0,05 по сравнению с растениями ботанического сада г. Витебска; ²P < 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. Как видно из таблиц 7 и 8, по сумме хлорофиллов лидируют растения из ботанического сада г. Витебск, а по содержанию каротиноидов – растения из лесничества Витебского района. Состояние фотосинтетического аппарата первоцветов оценивали по содержанию пигментов, наибольшее содержание отмечено в экстрактах ли-

стьев первоцвета весеннего: по сравнению с медвежьим луком увеличено содержание хлорофилла в 1,33 раза, каротиноидов – в 2,93 раза, по сравнению с экстрактом лука шнитта содержание хлорофилла больше в 3,21 раза, каротиноидов – в 7,45 раз. 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.

Таблица 9

Содержание показателей неферментативной антиоксидантной системы в водных экстрактах (1:5) листьев раннецветущих растений ($M \pm m$)

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

Как следует из таблицы 9, наибольшее содержание суммы фенольных соединений, аскорбиновой кислоты отмечено в водном экстракте (1:5) листьев первоцвета весеннего. Содержание продуктов перекисного окисления липидов снижена в экстракт листьев первоцвета весеннего (ЭЛПВ) по сравнению с экстракт листьев медвежьего лука

(ЭЛМЛ) в 2 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 раза, аскорбиновой кислоты – в 7,01 раза.

Таблица 10

Содержание показателей неферментативной антиоксидантной системы в водных экстрактах (1:10) листьев раннецветущих растений ($M \pm m$)

Показатель	Водный экстракт (1:10)		
	ЭЛМЛ	ЭЛПВ	ЭЛЛШ
Диеновые конъюгаты, мкмоль/г	0,29±0,011 ²	0,46±0,013 ¹	0,28±0,003 ²
ТБК ПВ, нмоль/г	7,92 ± 0,35 ²	3,82 ± 0,18 ¹	1,73 ± 0,32 ^{1,2}
Сумма фенольных соединений, мг/г	8,98 ± 1,52 ²	19,36 ± 1,82 ¹	9,36 ± 0,74 ^{1,2}
Сумма флавоноидов, мг/г	0,82±0,02	1,07 ± 0,03 ¹	0,58 ± 0,04 ²
Аскорбиновая кислота, мг/г	18,77±0,18 ²	62,45±0,69 ¹	9,02±0,13 ^{1,2}
Сумма хлорофиллов <i>a</i> и <i>b</i> , мг/г	0,64±0,010	0,48±0,002 ¹	0,41±0,002 ^{1,2}
Каротиноиды, мг/г	0,17±0,012 ²	0,51±0,010 ¹	0,07±0,001 ^{1,2}

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

Как следует из таблицы 10, наибольшее содержание суммы фенольных соединений, аскорбиновой кислоты установлено в водном экстракте (1:10) листьев первоцвета весеннего. Активность перекисного окисления липидов снижена в ЭЛПВ по сравнению с ЭЛМЛ в 2 раза. По сравнению с ЭЛМЛ в ЭЛПВ увеличено содержание следующих показателей: сумма фенольных соединений – в 2,16 раза, аскорбиновой кислоты – в 3,32 раза. По сравнению с ЭЛЛШ в ЭЛПВ увеличено содержание следующих показателей: сумма фенольных соединений – в 2,07 раза, аскорбиновой кислоты – в 6,92 раза.

Наибольшее содержание хлорофилла отмечено в ЭЛМЛ: по сравнению с ЭЛПВ и ЭЛЛШ увеличено содержание хлорофилла в 1,3 и 1,56 раз соответственно.

Наибольшее содержание каротиноидов отмечено в ЭЛПВ: по сравнению с ЭЛМЛ и ЭЛЛШ увеличено содержание каротиноидов в 3 и 7,29 раза соответственно. Таким образом, по содержанию эндогенных антиоксидантов и состоянию ассимиляционного аппарата, наибольшей антиоксидантной активностью и возможностью противодействовать последствиям окислительного стресса обладает ЭЛПВ. Известно, что при охлаждении растений в их клетках инициируются процессы образования активных форм кислорода, которые образуются при нарушениях в работе электронно-транспортных цепей. Образующиеся во время холодового стресса АФК активируют процессы перекисного окисления липидов в результате чего образуются первичные молекулярные продукты ПОЛ, к которым относятся диеновые конъюгаты. При дальнейших превращениях первичных продуктов образуются вторичные продукты ПОЛ, к числу которых относится МДА. При этом в мембранных липидах уменьшается количество ненасыщенных жирных кислот, что сопровождается снижением текучести и проницаемости мембран. Итогом таких процессов может быть нарушение метаболизма и даже гибель растений.

Заключение. В результате исследования по обоснованию возможности использования раннецветущих растений как биофармацевтической субстанции, содержащей эндогенные антиоксиданты, переходящие в водные и спиртовые экстракты, можно сделать следующие выводы:

1. Определение показателей неферментативной антиоксидантной системы и состояния фотосинтетического аппарата биомассы первоцветов показало следующее: содержание аскорбиновой кислоты, каротиноидов, диеновых конъюгатов, фенольных соединений, флавоноидов выше у первоцвета весеннего (*Primula officinalis*) по сравнению с медвежьим луком (*Allium ursinum*) в 3,4; 2,6; 1,4; 2,4; 2,2 раза соответственно. У медвежьего лука (*Allium ursinum*) по сравнению с луком шниттом (*Allium schoenoprasum*) выше содержание конъюгированных диенов, продуктов перекисного окисления липидов, фенольных соединений, флавоноидов, аскорбиновой кислоты, хлорофиллов, каротиноидов в 1,2; 3,2; 1,5; 1,5; 1,9; 2,3; 2,4 раза соответственно. Полученные данные доказывают высокое содержание эндогенных антиоксидантов, повышенную активность антиоксидантной системы и фотосинтетического аппарата биомассы первоцветов, которые статистически отличаются в зависимости от вида растения.

2. По результатам системного экологического анализа были установлены взаимосвязи между содержанием показателей неферментативной антиоксидантной системы, фотосинтетических пигментов и типом популяции, видом растения и местом произрастания первоцветов. Статистически значимые различия были получены в листьях первоцвета весеннего (*Primula officinalis*) с листьями лука шнитта (*Allium schoenoprasum*). Наибольшее содержание фенольных соединений, флавоноидов, хлорофилла и каротиноидов отмечено в листьях первоцвета весеннего. Для медвежьего лука (*Allium ursinum*) и лука шнитта (*Allium schoenoprasum*) установлено

высокое содержание фенольных соединений, флавоноидов в листьях.

3. Исследование антиоксидантной активности водных экстрактов раннецветущих растений: медвежьего лука (*Allium ursinum*), первоцвета весеннего (*Primula officinalis*), шнитт-лука (*Allium schoenoprasum*) показало, что наибольшей антиоксидантной активностью и возможностью противодействовать последствиям окислительного стресса обладает водный экстракт (1:5) листьев первоцвета весеннего: содержание диеновых конъюгатов в 1,5 и 1,77 раза больше, чем в ЭЛМЛ и ЭЛЛШ соответственно; содержание аскорбиновой кислоты в 3,4 и 7,01 раза больше, чем в ЭЛМЛ и ЭЛЛШ соответственно; содержание фенолов в 2,24 и 2,49 раза больше, чем в ЭЛМЛ и ЭЛЛШ соответственно; содержание хлорофилла больше в 1,34 и 3,24 раза, чем в ЭЛМЛ и ЭЛЛШ соответственно; содержание каротиноидов в 3,52 и 9,25 раза больше, чем в ЭЛМЛ и ЭЛЛШ соответственно.

Таким образом, 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*, *Allium 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. Полученные экстракты содержат низкомолекулярные антиоксиданты в достаточном количестве, поэтому могут применяться в качестве средства для снижения и предупреждения последствий окислительного стресса у биологических объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

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. Получение и исследования антиоксидантной активности экстрактов листьев лука медвежьего и лука победного // Манукян К.А., Айрапетова А.Ю., Шаталова Т.А. / 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 // Латыпова Г.М., Романова З.Р., Бубенчикова В.Н., Аюпова Г.В. / Химия растительного сырья. – 2009. – № 4 – С. 113–116.

5. Получение экстракта лука медвежьего (черемши) (*Allium ursinum* L.) и изучение его антиоксидантной активности// Айрапетова К.А., Компанцева Е.В., Шаталова Т.А. / Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т.13, № 1 (8). – С. 1964–1966.

6. Изучение гиполипидемического действия экстракта лука медвежьего (черемши) (*Allium ursinum* L.) // Айрапетова К.А., Сергеева Е.О., Компанцева А.Ю., Терехов А.Ю., Саджая Л.А. / Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т.13, № 1 (4). – С. 758–760.

7. Толкачева, Т.А. Защитные реакции растительных объектов при стрессе и методы их оценки / Толкачева Т.А., Морозова И.М., Ляхович Г.В. // Современные проблемы биохимии. Методы исследований: учеб. пособие / Е.В. Барковский [и др.]; под ред. проф. А.А. Чиркина. – Минск: Высш. шк., 2013. – 438-469с.

8. Экоморфологический анализ раннецветущих видов растений в техногенных экотопах юго-востока Украины // Глухов А.З., Хархота А.И., Прохорова С.И., Агурова И.В., Жуков С.П. / Экология та ноосферологія. – 2011. – Т.22, № 3–4. – С. 48–57.

9. Абдулин, И.Ф. Органические антиоксиданты как объекты анализа / Абдулин И.Ф., Турова Е.Н., Будников Г.К. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2001. – Т.167, № 6. – С.3–13.

10. Веретенников, А.В. Физиология растений/ А.В. Веретенников. – М.: Академический Проект, 2006. – 480 с.

11. Гребинский, С.О. Биохимия растений. / С.О. Гребинский. – Львов: Высшая школа, 2005. – 210 с.

12. Медведев, С.С. Физиология растений / С.С. Медведев. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2004. – 336 с.