

Ферментативная активность тканей раннецветущих растений

О.М. Балаева-Тихомирова, А.Д. Кублицкая, Е.А. Леонович
Учреждение образования «Витебский государственный университет
имени П.М. Машиерова»

Раннецветущие растения обладают более совершенной антиоксидантной системой по сравнению с другими растениями, что связано с неустойчивыми погодными условиями в период их роста и развития.

Цель работы – изучить ферментативную антиоксидантную активность раннецветущих растений.

Материал и методы. Исследовались раннецветущие растения (лук медвежий (*Allium ursinum*), первоцвет весенний (*Primula officinalis*), лук шнитт (*Allium schoenoprasum*), их ферментативная антиоксидантная система (антиоксидантная активность растительного сырья, активность глутатионредуктазы, каталазы, аскорбатпероксидазы) с использованием спектрометрических методов анализа.

Результаты и их обсуждение. Определен комплекс биохимических показателей раннецветущих растений в сравнении друг с другом, местом произрастания и исследуемым органом растения. Исследована активность ферментов антиоксидантной системы в природных, интродуционных и интродуционно-окультуренных популяциях раннецветущих растений, позволяющая противостоять окислительному стрессу.

Заключение. Наиболее эффективной антиоксидантной системой обладают природные популяции раннецветущих растений, из органов растений – цветки первоцвета весеннего, корни медвежьего лука и лука шнитта.

Ключевые слова: раннецветущие растения, антиоксидантная активность, каталаза, глутатионредуктаза, аскорбатпероксидаза.

Enzymatic Activity of Tissues of Early-Flowering Plants

О.М. Balayeva-Tikhomirova, A.D. Kublitskaya, E.A. Leonovich
Educational establishment «Vitebsk State University named after P.M. Masherov»

Early-flowering plants have an improved antioxidant system in comparison with other plants, due to the unstable weather conditions during the period of their growth and development.

The aim is to study enzymatic antioxidant activity of early-flowering plants.

Materials and methods. The object of the research is early-flowering plants (*Allium ursinum*, *Primula officinalis*, *Allium schoenoprasum*), their antioxidant enzymatic systems (antioxidant activity of plant material, the activity of glutathione reductase, catalase, ascorbate peroxidase).

Findings and their discussion. The complex of biochemical parameters of early-flowering plants in comparison with each other, place of growth and the locus of the investigated organs. The work set the new scientific data on the activity of antioxidant enzymes in natural, introduced, introduced-cultivated populations of early-flowering plants which make it possible to withstand oxidative stress.

Conclusion. Natural population of the organs of plants – flowers of primrose spring, the roots bear onion and onion chives have most effective antioxidant system.

Key words: early-flowering plants, antioxidant activity, catalase, glutathione reductase, ascorbate peroxidase.

Раннецветущие растения обладают более совершенной антиоксидантной системой по сравнению с другими растениями, что связано с неустойчивыми погодными условиями в период их роста и развития. Данные виды растений имеют высокое содержание биологически активных веществ широкого спектра действия. При этом по качественному составу химических веществ различные виды раннецветущих растений близки между собой, но по количественному содержанию они существенно различаются. Для защиты от разрушительного действия свободных радикалов организмы используют компоненты

антиоксидантной защиты, в составе антиоксидантов [1].

Растительные антиоксиданты имеют широкий спектр целебного воздействия. Они обладают сосудорасширяющими, противоопухолевыми, противовоспалительными, бактерицидными, иммуностимулирующими и противоаллергическими свойствами [2]. Данные соединения замедляют или предотвращают окисление органических соединений. Они защищают организм от негативных воздействий свободных радикалов. Антиоксидант соединяется со свободным радикалом, предотвращая разрушительное действие

лишнего электрона. С помощью ферментной защитной системы организм преобразует клеточный оксидант в воду и кислород (нерадикал) [3].

К высокомолекулярным антиоксидантам относят мембраносвязанные и цитозольные ферменты (супероксиддисмутаза, каталаза, глутатионзависимые пероксидазы и трансферазы) [4].

Цель работы – изучить ферментативную антиоксидантную активность раннецветущих растений.

Материал и методы. Исследования ферментативной антиоксидантной активности проводились в популяциях раннецветущих растений. Объект исследования: раннецветущие растения (лук медвежий (*Allium ursinum*); первоцвет весенний (*Primula officinalis*); лук шнитт (*Allium schoenoprasum*), их вегетативные и генеративные органы. Предмет исследования: биохимические показатели растений (активность глутатионредуктазы, каталазы, аскорбатпероксидазы (АПП), определение антиоксидантной активности (АА) растительного сырья). Системно-экологический анализ раннецветущих растений проводился в зависимости от органа растения и места его произрастания. Образцы растений отбирались в популяции, произрастающей в условиях ботанического сада ВГУ имени П.М. Машерова, лесничества д. Крацевичи Борисовского района и лесничества Витебского района. Лук шнитт был собран в тех же районах на частных подворьях. В эксперименте участвовали растения из популяций природных (медвежьего лука и первоцвета весеннего), интродуционных (медвежьего лука и первоцвета весеннего) и интродуционно-культурных (лук шнитт).

Антиоксидантную активность растительных объектов определяли по способности ингибировать аутоокисление адреналина *in vitro* и тем самым предотвратили образование активных форм кислорода [5].

Активность каталазы исследовалась по методу М.А. Королюк, основанному на определении коли-

чества H_2O_2 , не разложившегося после инкубации с каталазой, путем спектрофотометрической регистрации окрашенного продукта реакции взаимодействия пероксида водорода с молибдатом аммония [4], с использованием молярного коэффициента экстинкции $22200 \text{ см}^{-1} \cdot \text{М}^{-1}$.

Активность глутатионредуктазы (мкмоль/мин·г ткани) устанавливали по М.С. Радюк [6]. Принцип определения активности ГР заключается в превращении GSSG в GSH в присутствии НАДФН. Активность глутатионредуктазы рассчитывали с учетом коэффициента молярной экстинкции $6,22 \text{ мМ}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$.

Методика определения активности аскорбатпероксидазы основана на исследовании кинетики потребления аскорбата, регистрируемой в течение 2 мин при 290 нм на спектрофлуориметре Solar. Активность фермента рассчитывают, используя коэффициент молярной экстинкции $2,8 \text{ мМ}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ [7].

Математическую обработку полученных результатов проводили методами параметрической и непараметрической статистики с применением пакета статистических программ Microsoft Excel 2003, STATISTICA 6.0.

Результаты и их обсуждение. Антиоксидантная активность растений изменяется в зависимости от вида [8]. Установлено, что из раннецветущих растений медвежьего лука и первоцвета весеннего антиоксидантная активность выше у первоцвета весеннего из природных и интродуционных популяций. Антиоксидантная активность растительного сырья природной популяции раннецветущих растений выше, чем у таких же интродуционных – в 2,1 и 2,9 раза при сравнении медвежьего лука из ботанического сада с Борисовским и Витебским лесничествами соответственно; в 1,5 и 1,6 раза при сравнении первоцвета весеннего из популяции ботанического сада с Борисовским и Витебским лесничествами соответственно.

Таблица 1

Антиоксидантная активность (%) природных и интродуционных популяций раннецветущих растений ($M \pm m$)

Растительный объект	Место сбора		
	Ботанический сад (г. Витебск)	Лесничество Борисовского р-на	Лесничество Витебского р-на
Медвежий лук (листья)	27,54±5,23	56,87±3,77 ¹	78,67±8,03 ¹
Первоцвет весенний (листья)	57,93±7,51 ¹⁻³	89,43±9,76 ¹⁻³	94,67±1,19 ¹⁻³

Примечание: ¹P<0,05 по сравнению с медвежьим луком (ботанический сад); ²P<0,05 по сравнению с медвежьим луком (Борисовское лесничество); ³P<0,05 по сравнению с медвежьим луком (Витебское лесничество).

Активность глутатионредуктазы (мкМоль/мин·г ткани) природных и интродуционных популяций раннецветущих растений ($M \pm m$)

Растительный объект	Место сбора		
	Ботанический сад (г. Витебск)	Лесничество Борисовского р-на	Лесничество Витебского р-на
Медвежий лук (листья)	4,52±0,161	4,57±0,049	4,60±0,040
Первоцвет весенний (листья)	2,64±0,057 ¹⁻³	2,46±0,069 ¹⁻³	2,54±0,064 ¹⁻³

Примечание: ¹P<0,05 по сравнению с медвежьим луком (ботанический сад); ²P<0,05 по сравнению с медвежьим луком (Борисовское лесничество); ³P<0,05 по сравнению с медвежьим луком (Витебское лесничество).

Таблица 3

Активность каталазы (мкмоль/мин·г ткани) природных и интродуционных популяций раннецветущих растений ($M \pm m$)

Растительный объект	Место сбора		
	Ботанический сад (г. Витебск)	Лесничество Борисовского р-на	Лесничество Витебского р-на
Медвежий лук (листья)	4,12±0,11	3,97±0,32	3,88±0,41
Первоцвет весенний (листья)	1,98±0,09 ¹⁻³	1,83±0,08 ¹⁻³	2,08±0,08 ¹⁻³

Примечание: ¹P<0,05 по сравнению с медвежьим луком (ботанический сад); ²P<0,05 по сравнению с медвежьим луком (Борисовское лесничество); ³P<0,05 по сравнению с медвежьим луком (Витебское лесничество).

Глутатионредуктаза имеет высокую специфичность к глутатиону и обладает глутатионвосстанавливающей, трансгидрогеназной, диафоразной активностью, поэтому входит в состав ферментативной антиоксидантной системы растений (табл. 2).

Как видно из табл. 2, наибольшая активность глутатионредуктазы зафиксирована в листьях лука медвежьего, произрастающего в лесничестве Витебского района. Активность глутатионредуктазы не изменяется статистически значимо у растений медвежьего лука и первоцвета весеннего в зависимости от местопроизрастания и типа популяции. Отмечено, что активность данного фермента выше у медвежьего лука по сравнению с первоцветом из различных мест сбора и составляет 1,71 раза – г. Витебск, 1,86 раза – Борисовский район, 1,81 раза – Витебский район.

Каталаза (табл. 3) является одним из основных ферментов, который разрушает активные формы кислорода и выступает в качестве первичного антиоксиданта системы защиты растений [9]. Фермент катализирует разложение перекиси водорода до воды, осуществляя, таким образом, детоксикацию активного кислородного радикала.

Из табл. 3 следует, что наибольшая активность каталазы отмечена в луке медвежьим, ко-

торый выращивался в условиях ботанического сада, наименьшая – у первоцвета весеннего, произрастающего в лесничестве Витебского района. Установлено, что активность данного фермента выше у медвежьего лука по сравнению с первоцветом из различных мест сбора и составляет 2,08 раза – г. Витебск, 2,17 раза – Борисовский район, 1,87 раза – Витебский район.

Растительные пероксидазы выполняют защитную функцию (табл. 4). В ответ на различные вирусные, грибковые и бактериальные инфекции растения начинают генерировать ферменты, способные уничтожить проникший фитопатоген. В состав активной компоненты системы входят пероксидаза (аскорбатпероксидаза), НАДФ·Н₂-оксидаза и супероксиддисмутаза [10]. Пероксидаза способна осуществлять контроль за уровнем перекиси, восстанавливая ее до воды и окислять низкомолекулярные антиоксиданты. Субстратами пероксидазы могут быть и фитогормоны, поэтому фермент имеет большое значение в регуляции состава функционально активных веществ в тканях растений. Пероксидазы обеспечивают нормальный ход окислительных процессов при неблагоприятных воздействиях на растения, например, патогенных агентов, тяжелых металлов и других факторов.

Таблица 4

Активность аскорбатпероксидазы (мкМоль/мин·г ткани) природных и интродуционных популяций раннецветущих растений ($M \pm m$)

Растительный объект	Место сбора		
	Ботанический сад (г. Витебск)	Лесничество Борисовского р-на	Лесничество Витебского р-на
Медвежий лук (листья)	0,98±0,012	0,99±0,013	0,99±0,013
Первоцвет весенний (листья)	1,69±0,013 ¹⁻³	1,67±0,010 ¹⁻³	1,98±0,195 ¹⁻³

Примечание: ¹P<0,05 по сравнению с медвежьим луком (ботанический сад); ²P<0,05 по сравнению с медвежьим луком (Борисовское лесничество); ³P<0,05 по сравнению с медвежьим луком (Витебское лесничество).

Таблица 5

Антиоксидантная активность (%) природных и интродуционных окультуренных популяций раннецветущих растений ($M \pm m$)

Растительный объект	Место сбора		
	Ботанический сад (г. Витебск)	Лесничество Борисовского р-на	Лесничество Витебского р-на
Медвежий лук (листья)	27,54±5,23	56,87±3,77	78,67±8,03
Лук шнитт (листья)	11,67±1,58 ¹⁻³	11,44±3,99 ¹⁻³	20,07±2,38 ¹⁻³

Примечание: ¹P<0,05 по сравнению с медвежьим луком (ботанический сад); ²P<0,05 по сравнению с медвежьим луком (Борисовское лесничество); ³P<0,05 по сравнению с медвежьим луком (Витебское лесничество).

Таблица 6

Активность глутатионредуктазы (мкМоль/мин·г ткани) природных и интродуционных окультуренных популяций раннецветущих растений ($M \pm m$)

Растительный объект	Место сбора		
	Ботанический сад (г. Витебск)	Лесничество Борисовского р-на	Лесничество Витебского р-на
Медвежий лук (листья)	4,52±0,161	4,57±0,049	4,60±0,040
Лук шнитт (листья)	2,091±0,068 ¹⁻³	1,52±0,113 ¹⁻³	1,57±0,087 ¹⁻³

Примечание: ¹P<0,05 по сравнению с медвежьим луком (ботанический сад); ²P<0,05 по сравнению с медвежьим луком (Борисовское лесничество); ³P<0,05 по сравнению с медвежьим луком (Витебское лесничество).

Как видно из табл. 4, наибольшая активность аскорбатпероксидазы зафиксирована в листьях первоцвета весеннего, произрастающего в лесничестве Витебского района. Отмечено, что активность данного фермента выше в листьях первоцвета весеннего по сравнению с листьями медвежьего лука из различных мест сбора и составляет 1,72 раза – г. Витебск, 1,69 раза – Борисовский район, 2,00 раза – Витебский район.

На втором этапе работы была исследована ферментативная антиоксидантная активность природных и интродуционных окультуренных популяций раннецветущих растений. Установлено, что антиоксидантная активность растительного сырья выше у растений из природных и интродуционных популяций по сравнению с расте-

ниями из интродуционных окультуренных популяций (табл. 5).

Как видно из табл. 6, наибольшая антиоксидантная активность зафиксирована в листьях у медвежьего лука, произрастающего в лесничестве Витебского района. Выявлено, что антиоксидантная активность выше у медвежьего лука по сравнению с луком шнитта из различных мест сбора и составляет 4,42 раза – г. Витебск, 5,44 раза – Борисовский район, 4,31 раза – Витебский район. Отличий в зависимости от местопроизрастания и условий развития у растений одного вида не зафиксировано.

Установлено, что активность глутатионпероксидазы изменяется в зависимости от вида растения (табл. 6).

Как видно из табл. 6, наибольшая активность глутатионредуктазы зафиксирована в листьях медвежьего лука, произрастающего в лесничестве Витебского района. Анализ активности фермента выявил статистически значимые различия между медвежьим луком и луком шнитта в зависимости от местопроизрастания в 2,64 раза по сравнению с растениями, произрастающими в ботаническом саду г. Витебска, в 3,01 раза – лесничество Борисовского района, в 2,93 раза – лесничество Витебского района.

Активность каталазы закономерно изменяется в исследуемых популяциях (табл. 7).

Из табл. 7 следует, что наибольшая активность каталазы в листьях лука медвежьего, который выращивался в условиях ботанического сада, наименьшая – в популяции лесничества Витебского района. Активность каталазы статистически значимо отличается при сравнении с медвежьим луком и луком шнитта: в 2,66 раза при сравнении популяций, произрастающих в ботаническом саду г. Витебска, в 2,78 раза – популяции из Борисовского района, в 2,32 – популяции из Витебского района.

Активность пероксидазы представлена в табл. 8 в зависимости от местопроизрастания и типа популяции растений.

Из табл. 8 следует, что статистически значимые отличия получены у медвежьего лука (*Allium ursinum*) при сравнении со значениями активности фермента в листьях лука шнитта. Наибольшая активность аскорбатпероксидазы зафиксирована в листьях медвежьего лука, произрастающего в лесничествах Витебского и Борисовского районов. Отмечено, что активность данного фермента выше у медвежьего лука по сравнению с луком шнитта из различных мест сбора и составляет 2,58 раза – г. Витебск, 2,83 раза – Борисовский район, 2,75 раза – Витебский район.

На первых двух этапах исследования были установлены закономерности изменения показателей ферментативной антиоксидантной активности у раннецветущих растений в зависимости от типа популяции и местопроизрастания растений, а в дальнейшем исследовались показатели в зависимости от вида вегетативного и генеративного органов растений.

Антиоксидантная активность растительного сырья отличается в зависимости от типа популяции и местопроизрастания растений, в дальнейшем были исследованы показатели в зависимости от вида вегетативного и генеративного органов растений (табл. 9). Установлено, что наибольшей антиоксидантной активностью облада-

ют вегетативный орган лист и генеративный орган цветков растения первоцвета весеннего. При сравнении данной активности с показателями других растений обнаружено увеличение в 1,57 раза по сравнению с листьями медвежьего лука и в 7,82 раза – с листьями лука шнитта.

Как видно из табл. 9, высокая антиоксидантная активность характерна для корней и листьев растения медвежий лук, установлено увеличение в 2,08 раза по сравнению со стеблями данного растения из популяции Борисовского района. Наименьшая антиоксидантная активность зафиксирована в стеблях у всех исследуемых видов.

Активность глутатионредуктазы различна в зависимости от типа органа и вида популяции растений (табл. 10). Наибольшей активностью глутатионредуктазы обладает генеративный орган первоцвета весеннего – цветок. При сравнении активности фермента в цветке и вегетативных органов первоцвета весеннего выявлено превышение в 5,45 раза при сравнении с активностью в листьях и в 6,37 раза – в стеблях. Из вегетативных органов медвежьего лука и лука шнитта большая активность фермента фиксируется в корнях. Стебли и листья обладают примерно одинаковой активностью фермента.

Из табл. 10 следует, что наибольшая активность глутатионредуктазы фиксируется у медвежьего лука и лука шнитта в корнях, у первоцвета в цветках. При сопоставлении полученной активности глутатионредуктазы в различных вегетативных органах раннецветущих растений статистически значимые результаты получены при сравнении активности глутатионредуктазы в листьях медвежьего лука с листьями лука шнитта в 2,16 раза и первоцвета весеннего в 1,71 раза; в корнях медвежьего лука по сравнению с корнями лука шнитта в 2,73 раза; в стеблях медвежьего лука с стеблями первоцвета весеннего в 1,78 раза. Описанные изменения активности глутатионредуктазы характерны для растений из всех трех мест сбора.

Активность каталазы изменяется в зависимости от растения и органа исследования (табл. 11). Отмеченные изменения в активности фермента единообразно прослеживаются во всех растениях независимо от местообитания и условий роста.

Из табл. 11 следует, наибольшая активность каталазы фиксируется у медвежьего лука в корнях, у лука шнитта в листьях, у первоцвета в цветках.

Таблица 7

Активность каталазы (мкмоль/мин·г ткани) природных и интродуционных окультуренных популяций раннецветущих растений ($M \pm m$)

Растительный объект	Место сбора		
	Ботанический сад (г. Витебск)	Лесничество Борисовского р-на	Лесничество Витебского р-на
Медвежий лук (листья)	4,12±0,11	3,97±0,32	3,88±0,41
Лук шнитт (листья)	1,55±0,07 ¹⁻³	1,43±0,06 ¹⁻³	1,67±0,05 ¹⁻³

Примечание: ¹P<0,05 по сравнению с медвежьим луком (ботанический сад); ²P<0,05 по сравнению с медвежьим луком (Борисовское лесничество); ³P<0,05 по сравнению с медвежьим луком (Витебское лесничество).

Таблица 8

Активность аскорбатпероксидазы (мкМоль/мин·г ткани) природных и интродуционных популяций раннецветущих растений ($M \pm m$)

Растительный объект	Место сбора		
	Ботанический сад (г. Витебск)	Лесничество Борисовского р-на	Лесничество Витебского р-на
Медвежий лук (листья)	0,98±0,012	0,99±0,013	0,99±0,013
Лук шнитт (листья)	0,38±0,553 ¹⁻³	0,35±0,006 ¹⁻³	0,36±0,007 ¹⁻³

Примечание: ¹P<0,05 по сравнению с медвежьим луком (ботанический сад); ²P<0,05 по сравнению с медвежьим луком (Борисовское лесничество); ³P<0,05 по сравнению с медвежьим луком (Витебское лесничество).

Таблица 9

Антиоксидантная активность (%) в вегетативных и генеративных органах раннецветущих растений ($M \pm m$)

Растительный объект	Орган растения	Место сбора		
		Ботанический сад (г. Витебск)	Лесничество Борисовского р-на	Лесничество Витебского р-на
Медвежий лук	Листья	27,54±5,23 ⁶	56,87±3,77 ⁶	78,67±8,03 ⁶
	Стебли	28,74±7,89 ⁶	30,22±9,48 ⁶	31,47±8,66 ⁶
	Корни	66,89±9,89 ^{1,2,6}	62,76±8,94 ^{1,2,6}	65,61±8,35 ^{1,2,6}
Лук шнитт	Листья	11,67±1,58 ^{1,6}	11,44±3,99 ^{1,6}	20,07±2,38 ^{1,6}
	Корни	12,41±2,18 ^{2,3,6}	13,78±2,39 ^{2,3,6}	12,65±3,01 ^{2,3,6}
Первоцвет весенний	Цветки	60,48±8,10	83,40±10,02	88,74±10,79
	Листья	57,93±7,51 ¹	89,43±9,76 ¹	94,67±1,19 ¹
	Стебли	22,26±4,39 ^{2,4,6}	31,59±4,06 ^{2,4,6}	32,39±5,05 ^{2,4,6}

Примечание: ¹P < 0,05 по сравнению с листьями медвежьего лука; ²P < 0,05 по сравнению со стеблями медвежьего лука; ³P < 0,05 по сравнению с корнями медвежьего лука; ⁴P < 0,05 по сравнению с листьями лука шнитта; ⁵P < 0,05 по сравнению с корнями лука шнитта; ⁶P < 0,05 по сравнению с цветками первоцвета весеннего.

Таблица 10

Активность глутатионредуктазы (мкМоль/мин·г ткани) в вегетативных и генеративных органах раннецветущих растений ($M \pm m$)

Растительный объект	Орган растения	Место сбора		
		Ботанический сад (г. Витебск)	Лесничество Борисовского р-на	Лесничество Витебского р-на
Медвежий лук	Листья	4,52±0,161 ⁶	4,57±0,049 ⁶	4,60±0,040 ⁶
	Стебли	4,02±0,083 ⁶	3,56±0,080 ⁶	3,67±0,066 ⁶
	Корни	6,89±4,489 ^{1,2,6}	6,66±4,349 ^{1,2,6}	6,69±4,350 ^{1,2,6}

Окончание табл. 10

Лук шнитт	Листья	2,09±0,068 ^{1,6}	1,52±0,113 ^{1,6}	1,57±0,087 ^{1,6}
	Корни	2,52±0,018 ^{2,3,6}	2,37±0,033 ^{2,3,6}	2,55±0,012 ^{2,3,6}
Первоцвет весенний	Цветки	14,40±0,100	13,40±0,09	13,7±0,09
	Листья	2,64±0,057 ^{1,6}	2,46±0,069 ^{1,6}	2,54±0,064 ^{1,6}
	Стебли	2,26±0,039 ^{2,4,6}	1,99±0,067 ^{2,4,6}	2,09±0,058 ^{2,4,6}

Примечание: ¹P<0,05 по сравнению с листьями медвежьего лука; ²P<0,05 по сравнению со стеблями медвежьего лука; ³P<0,05 по сравнению с корнями медвежьего лука; ⁴P<0,05 по сравнению с листьями лука шнитта; ⁵P<0,05 по сравнению с корнями лука шнитта; ⁶P<0,05 по сравнению с цветками первоцвета весеннего.

Таблица 11

Активность каталазы (мкмоль/мин·г ткани) в вегетативных и генеративных органах раннецветущих растений (M±m)

Растительный объект	Орган растения	Место сбора		
		Ботанический сад (г. Витебск)	Лесничество Борисовского р-на	Лесничество Витебского р-на
Медвежий лук	Листья	4,12±0,11 ⁶	3,97±0,32 ⁶	3,88±0,41 ⁶
	Стебли	3,76±0,07 ⁶	3,64±0,06 ⁶	3,35±0,06 ⁶
	Корни	6,54±0,21 ^{1,2,6}	6,78±0,34 ^{1,2,6}	6,59±0,35 ^{1,2,6}
Лук шнитт	Листья	1,55±0,07 ^{1,6}	1,43±0,06 ^{1,6}	1,67±0,05 ^{1,6}
	Корни	1,87±0,08 ^{3,5,6}	1,57±0,05 ^{3,5,6}	1,91±0,09 ^{3,5,6}
Первоцвет весенний	Цветки	12,5±0,78	12,7±0,92	13,1±1,06
	Листья	1,98±0,09 ^{1,6}	1,83±0,08 ^{1,6}	2,08±0,08 ^{1,6}
	Стебли	1,65±0,07 ^{2,5,6}	1,53±0,06 ^{2,5,6}	1,58±0,08 ^{2,5,6}

Примечание: ¹P<0,05 по сравнению с листьями медвежьего лука; ²P<0,05 по сравнению со стеблями медвежьего лука; ³P<0,05 по сравнению с корнями медвежьего лука; ⁴P<0,05 по сравнению с листьями лука шнитта; ⁵P<0,05 по сравнению с корнями лука шнитта; ⁶P<0,05 по сравнению с цветками первоцвета весеннего.

Таблица 12

Активность аскорбатпероксидазы (мкмоль/мин·г ткани) в вегетативных и генеративных органах раннецветущих растений (M±m)

Растительный объект	Орган растения	Место сбора		
		Ботанический сад (г. Витебск)	Лесничество Борисовского р-на	Лесничество Витебского р-на
Медвежий лук	Листья	0,98±0,0124 ⁶	0,99±0,013 ⁶	0,99±0,013 ⁶
	Стебли	0,80±0,0170 ⁶	0,81±0,017 ⁶	0,81±0,017 ⁶
	Корни	0,86±0,0199 ^{1,2,6}	0,95±0,008 ^{1,2,6}	0,98±0,035 ^{1,2,6}
Лук шнитт	Листья	0,85±0,553 ^{1,6}	0,35±0,006 ^{1,6}	0,36±0,007 ^{1,6}
	Корни	1,27±0,012 ^{3,5,6}	1,29±0,011 ^{3,5,6}	1,26±0,031 ^{3,5,6}
Первоцвет весенний	Цветки	0,62±0,015	0,59±0,005	0,58±0,007
	Листья	1,69±0,013 ^{1,6}	1,67±0,0102 ^{1,6}	1,98±0,195 ^{1,6}
	Стебли	1,19±0,054 ^{2,5,6}	1,18±0,053 ^{2,5,6}	1,13±0,031 ^{2,5,6}

Примечание: ¹P<0,05 по сравнению с листьями медвежьего лука; ²P<0,05 по сравнению со стеблями медвежьего лука; ³P<0,05 по сравнению с корнями медвежьего лука; ⁴P<0,05 по сравнению с листьями лука шнитта; ⁵P<0,05 по сравнению с корнями лука шнитта; ⁶P<0,05 по сравнению с цветками первоцвета весеннего.

Наибольшей активностью каталазы обладает генеративный орган первоцвета весеннего – цветок, которая превышает активность фермента этого растения в листьях в 6,31 раза и в стеблях в 7,58 раза. Статистически значимых отличий

в активности каталазы в зависимости от места сбора не выявлено. Установлено увеличение активности фермента в корнях медвежьего лука в 3,50 раза при сравнении с корнями лука шнитта, в 2,28 раза при сравнении со стеблями первоце-

та весеннего, в 2,67 и 2,08 раза при сравнении с листьями лука шнитта и первоцвета весеннего соответственно.

Активность аскорбатпероксидазы изменяется в зависимости от популяции растений (табл. 12). Выявлено, что наибольшая активность данного фермента характерна для первоцвета весеннего для вегетативных органов – листьев и стеблей. Генеративный орган – цветок, характеризующийся сниженной активностью аскорбатпероксидазы в 2,73 раза по сравнению с листьями и в 1,92 раза – со стеблями растения.

Из табл. 12 следует, что высокая активность фермента характерна для корней лука шнитта – в 2,05 раза по сравнению с листьями растения. У медвежьего лука активность аскорбатпероксидазы статистически значимо не отличалась между органами растения и местом сбора исследуемых популяций.

Заключение. В результате проделанной работы были определены биохимические показатели растений (активность глутатионредуктазы, каталазы, аскорбатпероксидазы, антиоксидантной активности растительного сырья), проведен системно-экологический анализ раннецветущих растений в зависимости от органа растения и места его произрастания.

Таким образом, определение ферментативной и неферментативной антиоксидантной активности природных и интродуционных популяций раннецветущих растений показало, что существенных различий между раннецветущими растениями разных районов нет. У всех образцов наблюдались приблизительно одинаковые значения, но в листьях медвежьего лука отмечено превышение значений исследуемых показателей в 1,7–3,2 раза.

Исследования ферментативной и неферментативной антиоксидантной активности природных и интродуционных окультуренных популяций раннецветущих растений установили, что статистически значимые отличия получены у медвежьего лука в 2,16–2,67 раза по сравнению с луком шнитта.

Системный анализ результатов содержания в вегетативных и генеративных органах раннецветущих растений выявил, что в цветке первоцвета весеннего содержится в 6,8–9,3 раза больше определяемых показателей по сравнению с други-

ми частями. Наибольшее содержание определяемых веществ в медвежьем луке в корнях в 1,71–2,3 раза выше по сравнению с листьями и стеблями. У лука шнитта в корнях содержание определяемых показателей в 1,2 раза выше по сравнению с листьями. Вследствие этого наибольшее противодействие к действию окислительного стресса имеют цветки первоцвета весеннего, корни медвежьего лука и лука шнитта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов, В.Р. Биохимия / В.Р. Попов. – М.: Наука, 1960. – 246 с.
2. Илькун, Г.М. Загрязнители атмосферы и растения / Г.М. Илькун. – Киев: Наукова думка, 2008. – 246 с.
3. Веретенников, А.В. Физиология растений / А.В. Веретенников. – М.: Академический проект, 2006. – 480 с.
4. Королюк, М.А. Метод определения активности каталазы / М.А. Королюк // Лабораторное дело. – 1988. – № 1. – С. 16–19.
5. Гребинский, С.О. Биохимия растений / С.О. Гребинский. – Львов: Вища школа, 2005. – 210 с.
6. Радюк, М.С. Изменение активности глутатионредуктазы в зеленых листьях ячменя под влиянием катионов Cd^{2+} и Pb^{2+} / М.С. Радюк [и др.] // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. биял. навук. – 2007. – № 2. – С. 71–74.
7. Рогожин, В.В. Пероксидаза как компонент антиоксидантной системы живых организмов / В.В. Рогожин. – СПб.: ГИОРД, 2004. – 240 с.
8. Полесская, О.Г. Растительная клетка и активные формы кислорода / О.Г. Полесская. – М.: КДУ, 2007. – 140 с.
9. Dipierro, S. The Ascorbate System and Lipid Peroxidation in Stored Potato (*Solanum tuberosum* L.) Tubers / S. Dipierro, S.D. Leonardis // J. Exp. Bot. – 1997. – Vol. 48. – P. 779–783.
10. Шухаренко, А.Л. Динамика активности пероксидазы в побегах лиственницы сибирской в техногенных условиях / А.Л. Шухаренко. – 2005. – 67 с.

REFERENCES

1. Popov V.R. *Biokhimiya* [Biochemistry], M., Nauka, 1960, 246 p.
2. Ilkun G.M. *Zagryazniteli atmosfery i rasteniya* [Pollutants of Atmosphere and Plants], Kyiv, Naukova dumka, 2008, 246 p.
3. Veretennikov A.V. *Fiziologiya rastenii* [Physiology of Plants], M., Akademicheskiy Proyekt, 2006, 480 p.
4. Koroliuk M.A. *Laboratornoye delo* [Laboratory Business], 1988, 1, pp. 16–19.
5. Grebenskiy S.O. *Biokhimiya rastenii* [Biochemistry of Plants], Lvov, Vishcha shkola, 2005, 210 p.
6. Raduk M.S. *Ves. Nats. akad. navuk Belarusi. Ser. biyal. navuk.* [Newsletter of Belarusian National Academy of Sciences. Biological Sciences], 2007, 2, pp. 71–74.
7. Rogozhin V.V. *Peroksidaza kak component antioksidantnoi sistemi zhivikh organizmov* [Peroxidase as a Component of the Antioxidant System of Living Organisms], SPb., GIORД, 2004, 240 p.
8. Polesskaya O.G. *Rastitel'naya kletka i aktivniye formi kisloroda* [Plant Cell and Active Forms of Oxygen], M., KDU, 2007, 140 p.
9. Dipierro, S. The Ascorbate System and Lipid Peroxidation in Stored Potato (*Solanum tuberosum* L.) Tubers / S. Dipierro, S.D. Leonardis // J. Exp. Bot. – 1997. – Vol. 48. – P. 779–783.
10. Shukharenko A.L. *Dinamika aktivnosti peroksidazi v pobegakh listvennitsi sibirskoi v tekhnogennokh usloviyakh* [Dynamics of Peroxidase Activity in Shoots of Siberian Larch in Technogene Conditions], 2005, 67 p.

Поступила в редакцию 09.06.2015

Адрес для корреспонденции: e-mail: olgabal.tih@gmail.com – Балаева-Тихомирова О.М.