

Е. Н. Олешук, А. Н. Гриц, Е. Г. Попов, Т. Г. Янчевская

*Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси,
Минск, Республика Беларусь*

ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ ИНТРОДУЦИРУЕМЫХ СОРТОВ ВИНОГРАДА (*VITIS*) ПО АКТИВНОСТИ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ФЕРМЕНТОВ

Экспериментально проверена возможность использования окислительно-восстановительных (Red/Ox) ферментов как биохимических маркеров для экспресс-оценки стрессоустойчивости сортов винограда к неблагоприятным абиотическим факторам и выявления перспективных сортов для введения их в промышленную культуру. Показано, что активность Red/Ox-ферментов обусловлена сортовой специфичностью винограда и в значительной мере зависит от интенсивности и продолжительности воздействия стрессобразующих факторов. Установлено, что биохимические показатели Red/Ox-системы растений (активность изоферментов пероксидазы и супероксиддисмутазы) представляют собой информативные характеристики для экспресс-оценки стрессоустойчивости и биологической пластичности растений винограда.

Наибольшая устойчивость к факторам абиотического стресса (водный дефицит, пониженные температуры и недостаточная освещенность), выявленная у сортов винограда североамериканской селекции (*Маркетт* и *Маршал Фош*) четко коррелировала с изменениями активности Red/Ox-ферментов. При этом обнаружено, что устойчивые к стрессовым воздействиям сорта винограда по сравнению с восприимчивыми отличаются более высокой активностью изоферментов пероксидазы и супероксиддисмутазы и более совершенным механизмом реализации их действия. Соответственно, сорта винограда европейской селекции (*Пино Нуар, Красень*), полученные исключительно на основе генетического материала *V. vinifera*, проявили более низкую адаптивность к стрессобразующим факторам, чем более выносливые и пластичные сорта американской группы, что подтверждено результатами биохимических, биометрических и морфофизиологических исследований.

Ключевые слова: сорта винограда, стрессоустойчивость, адаптация, биологическая пластичность, Red/Ox-ферменты, пероксидаза, супероксиддисмутаза.

E. N. Oleshuk, A. N. Griz, E. H. Popoff, T. G. Yanchevskaya

*V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus*

EXPRESS-ASSESSMENT OF INTRODUCED *VITIS* SPECIES' STRESS RESISTANCE USING RED/OX-MARKERS

There were obtained the experimental data with the possibility of using Red/Ox-enzymes as biochemical markers for rapid assessment of stress-resistant to abiotic factors of grape varieties, and identify promising varieties of grapes for introducing them into industrial culture. Found that the biochemical parameters characterizing Red/Ox-plant system (activity of iso-enzymes of peroxidase and superoxide dismutase) are informative experimental data for rapid assessment of stress resistance and biological plasticity plants grapes. Active Red/Ox-enzymes due to varietal specificity of grapes and largely depends on the intensity and duration of exposure factors stress factors.

The greatest resistance when abiotic stress (water deficit, lower temperatures and insufficient illumination) showed grapes North American breeding, in particular, *Marquette* and *Marshal Foch*, correlating with the change in activity of Red/Ox-enzymes. Found that resistant grape varieties compared with the susceptible, are initially more high Red/Ox-enzymes (isoenzymes of peroxidase and superoxide-dismutase) and a better mechanism for their implementation. According to biochemical, morphological and biometrical studies in European breeding grapes (*Krasen*) obtained from grapes *V. vinifera*, *Marked* lower adaptability to stress factors compared to more labile and plastic strains of the American group.

Keywords: grapes varieties, stress, adaptation, biological plasticity, frost resistance, oxidative stress, Red/Ox-enzymes superoksidismutaza, peroxidase.

Введение. Традиционно считается, что виноград (*Vitis*) – чрезвычайно требовательная к условиям освещенности и теплообеспеченности культура. Вместе с тем известно, что виноград отличается высокой биологической пластичностью, вследствие чего возможно его успешное выращивание в самых разных природно-климатических условиях [1, 2].

Виноградарство Республики Беларусь в настоящее время находится в стадии становления. Селекция винограда в республике до недавнего времени не проводилась, поэтому практически все сорта являются интродуцированными [2, 3]. Внедрение перспективных для агроклиматических условий Беларуси сортов из мировой ампелографической коллекции позволяет в короткие сроки увеличить продуктивность виноградных насаждений. Вместе с тем выбрать лучшие фенотипы (сорта, гибридные формы) для интродукции – задача непростая и ответственная, требующая тщательного анализа биологических особенностей растений, в частности сортовой реакции (сортоспецифичность) на агроэкологические условия культивации. В климатических условиях зоны рискованного виноградарства, к которой принадлежит вся территория республики, следует обращать особое внимание на способность сортов адаптироваться к местным условиям [3–7].

С учетом районирования в Беларуси проводятся многолетние испытания новых сортов и гибридных форм винограда в полевых условиях. Чтобы сократить материальные затраты и время на эти исследования, актуальным является развитие и внедрение экспресс-диагностики стрессоустойчивости образцов и форм *Vitis*, основанной на измерении активности ферментов их окислительно-восстановительной системы (Red/Ox-системы) [8–10]. Известно, что при стрессовых воздействиях разной природы в растениях развивается неспецифическая ответная реакция, сопровождающаяся генерацией активных форм кислорода (АФК), которые вызывают повреждения различных компонентов живых клеток (белков, ДНК, липидов), приводящие к нарушению их функций. В нейтрализации АФК участвуют ферменты Red/Ox-системы, в частности изоэнзимы пероксидазы (ПО, КФ 1.11.1.7) и супероксиддисмутазы (СОД, КФ 1.15.1.1) [10–12]. Сравнительный анализ результатов биохимических, физиологических и морфометрических исследований выявляет корреляции, дающие возможность заранее оценить устойчивость растений винограда к абиотическим стрессовым воздействиям в полевых условиях.

Цель настоящего исследования – разработка метода оценки биологической пластичности и приспособляемости образцов винограда с использованием современных биохимических подходов, которые позволяют в короткие сроки обосновать и спрогнозировать выбор среди его новых стрессоустойчивых и высокоадаптивных сортов, наиболее перспективных для введения в промышленную культуру.

Материалы и методы исследований. Исходным посадочным материалом служили оздоровленные *in vitro* растения *Vitis*, предоставленные НИВиВ «Магарач» (Ялта). Работа проводилась на сортах винограда различной генетической природы и происхождения (*Бианка*, *Красень*, *Маркетт*, *Маршал Фош*, *Пино Нуар* и др.) из различных эколого-географических регионов и селекционных центров мирового виноградарства (Западная Европа, Серная Америка, Юг России).

Эксперименты проводили в биотехнологическом комплексе (БТК-1), который обеспечивает круглогодичный цикл выращивания растений. Нами создавались условия, моделирующие абиотический стресс различной природы. Так, исследованы стрессовые воздействия пониженной и повышенной температуры, пониженной освещенности, недостаточного и избыточного увлажнения. Температурный стресс (холодовой шок) создавали путем помещения вегетирующих растений в холодильную камеру (при +3 °С), без их предварительной закалки, на 1 сут; недостаток освещенности создавали притенением; водный стресс различной природы моделировали: а) прекращением полива в течение 3–5 сут (стресс фиксировали по снижению тургора в листьях); б) избыточным увлажнением путем затопления корневой системы растений водой в течение 3 сут.

Активность изоферментов ПО и СОД в листьях винограда измеряли после проведения электрофореза в полиакриламидном геле (ПААГ) SE-250 согласно [12], на основании того, что интенсивность окрашивания нитросиним тетразолиевым прямо пропорционально коррелирует с активностью ферментов [13]. Электрофореграммы сканировали, обрабатывали с помощью компьютерных программ Total/Lab 3.2. Интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ) в листьях растений винограда определяли по содержанию малонового диальдегида (МДА), используя стандартную методику [14].

Результаты и их обсуждение. Для проведения исследований были выбраны типичные сорта из разных эколого-географических селекционных центров виноградарства (табл. 1).

Таблица 1. Краткая биологическая характеристика сортов винограда, являющихся объектами исследований

Наименование сорта и схема гибридизации	Сортогруппа винограда	Сила роста	Зимостойкость	Оценка устойчивости к болезням (милдью), балл	Страна, селекционный центр
Пино Нуар (<i>Pinot Noir</i>) (<i>Траминер</i> × <i>Пино Менье</i>)	Виноград европейский <i>V. vinifera</i>	Слабая	–21 °С	4 (низкая)	Франция
Маршал Фош (<i>Marechal Foch</i>), (<i>Рипариа</i> × <i>Рупестрис 101-14</i>) × <i>Гольдрислинг</i>)	Межвидовой франко-американский гибрид (ФАН)	Средняя	–30 °С	2 (высокая)	США
Бианка (<i>Bianka</i>) (<i>Виллар Блан</i> × <i>Шасла Бувье</i>)	Сложный межвидовой гибрид на основе <i>V. vinifera</i>	Средняя	–26...–27 °С	2 (высокая)	Венгрия
Красень (<i>Krasen</i>), (<i>Антей Магарачский</i> × <i>Сверхранний Бессемянный Магарача</i>)	Сложный межвидовой гибрид на основе <i>V. vinifera</i>	Высокая	–24...–25 °С	2–3 (средняя)	Крым, НИВиВ «Магарач»
Маркетт (<i>Marquette</i>), (<i>MN 1094</i> × <i>Ravat 262</i>)	Сложный межвидовой гибрид (АН)	Очень высокая	–32...–36 °С	1–2 (очень высокая)	США

Пино Нуар относится к эколого-географической группе классических западноевропейских сортов винограда, отличается слабой морозоустойчивостью и низкой устойчивостью к болезням, очень высокими вкусовыми качествами; *Маршал Фош* – представитель группы франко-американских гибридов (French-American Hybrids, ФАН); *Бианка* и *Красень* – сложные межвидовые гибриды современной селекции из разных селекционных центров Европы, в которых преобладают гены европейского винограда *V. vinifera*; *Маркетт* – один из новейших сортов северо-американской селекции (American Hybrids, АН) сложной генетической природы, сочетающий в себе высокую урожайность и стабильность плодоношения с высокой устойчивостью к морозу и основным болезням виноградной лозы. Сорт *Пино Нуар* еще на стадии адаптации *in vivo* показал низкую биологическую пластичность и адаптивность (выпад саженцев более 50 %), потому сорт был отбракован как неперспективный еще на первом этапе опытов.

Экспресс-метод оценки ответа растений винограда на абиотические стрессовые воздействия основан на реакциях растительной клетки, выражающихся в дифференциальной активации

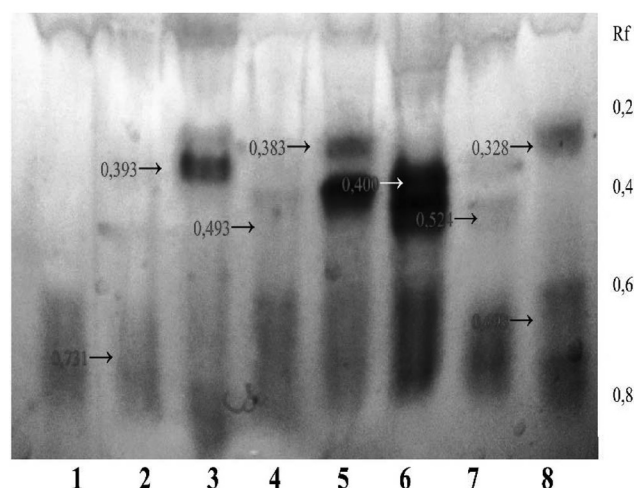


Рис. 1. Изоэнзимный спектр ПО в листьях винограда различных сортов в зависимости от вида стресса.

Треки: 1, 2, 5 – контрольные (*Бианка*, *Маршал Фош*, *Маркетт* соответственно); 3, 7 – водный стресс (*Маршал Фош* и *Бианка*); 4, 8 – затенение (*Бианка* и *Маршал Фош*); 6 – низкотемпературный стресс (*Маркетт*)

Fig. 1. Isoenzymes spectrum of peroxides on the leaves of grapes of different varieties depending on the type of stress. Tracks: 1, 2, 5 – control (*Bianca*, *Marshal Foch*, *Marquette*, respectively); 3, 7 – water stress (*Marshal Foch* and *Bianca*); 4, 8 – shading (*Bianca* and *Marshal Foch*); 6 – low-temperature stress (*Marquette*)

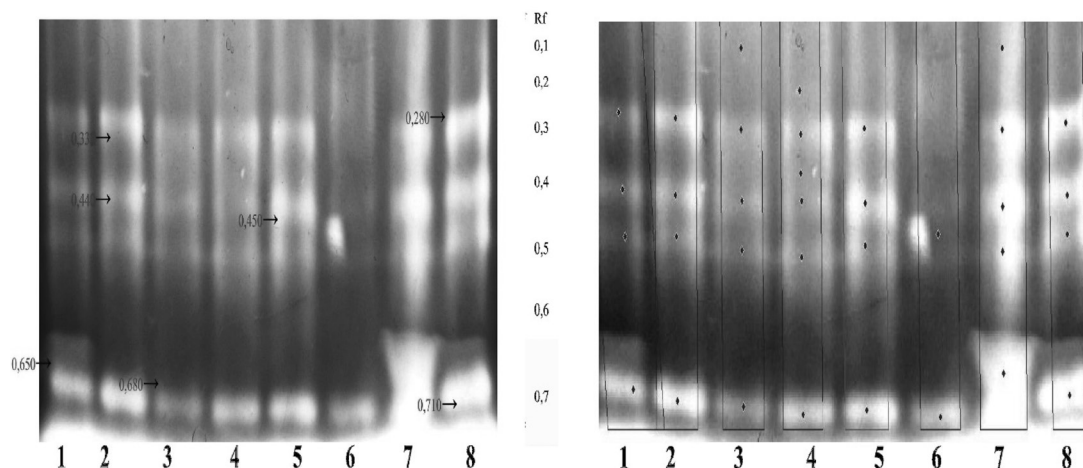


Рис. 2. Активность экспрессии изоэнзимов СОД в листьях винограда различных сортов в зависимости от вида стресса. Треки: 1, 5 – контроль (*Бianка* и *Маркетт*); 2, 6 – низкотемпературный стресс (*Бianка* и *Красень*); 3, 7 – водный стресс (*Маршал Фош* и *Маркетт*); 4, 8 – затенение (*Бianка* и *Маркетт*). Точками на полосах (справа) выделены зоны с выраженными изменениями

Fig. 2. Expression of SOD isoenzymes of in leaves of grapes cultivars depending on the type of stress. Tracks: 1, 5 – controls (*Bianca* and *Marquette*); 2, 6 – low-temperature stress (*Bianca* and *Krasen*); 3, 7 – water stress (*Marshal Foch* and *Marquette*); 4, 8 – shading (*Bianca* and *Marquette*). Points on the bands (right side) on allocated to areas with pronounced changes

изоферментов Red/Ох-системы (ПО и СОД), отличающихся своей интенсивностью и спектром молекулярных форм. Стрессовые воздействия различной интенсивности и экспозиции оказывают негативное влияние на физиологические и биохимические параметры развития растения винограда и приводят к нарушению гомеостаза. Полученные результаты приведены на рис. 1, 2 и в табл. 2, 3.

Таблица 2. Активность ПО в клетках листьев винограда (компьютерная обработка электрофореграммы рис. 1)

Изоформа	Rf							
	Трек 1	Трек 2	Трек 3	Трек 4	Трек 5	Трек 6	Трек 7	Трек 8
1	0,090	0,021	0,093	0,086	0,079	0,086	0,024	0,034
2	0,214	0,169	0,193	0,400	0,297	0,331	0,100	0,079
3	0,359	0,21	0,393	0,472	0,383	0,400	0,386	0,328
4	0,445	0,431	0,652	0,493	0,59	0,541	0,486	0,593
5	0,559	0,469	0,697	0,593	0,734	0,662	0,524	0,693
6	0,645	0,731	0,717	0,714	0,800	0,783	0,769	0,834
7	0,721	0,859	0,952	0,924	0,848	0,848	0,828	
8	0,090	0,021			0,890	0,869		
9						0,907		

Примечание. Треки: 1, 2, 5 – контрольные (*Бianка*, *Маршал Фош*, *Маркетт* соответственно); 3, 7 – водный стресс (*Маршал Фош* и *Бianка*); 4, 8 – затенение (*Бianка* и *Маршал Фош*); 6 – низкотемпературный стресс (*Маркетт*).

Представленные данные указывают на нарушение гомеостаза и, соответственно, Red/Ох-статуса растений при культивировании в моделирующих стресс условиях опытов, что прослеживается по изменению активности ПО и СОД, а также по накоплению МДА.

Установлено, что в неблагоприятных условиях спектр энзимов Red/Ох-системы усиливается, однако изменение их активности характеризуется особенностями, зависящими от сорта растения, природы стресса и его интенсивности. Так, например, в состоянии водного и температурного стресса устойчивый сорт американской селекции *Маркетт* проявил наибольшее значение окрашивания ПО (тестируется по интенсивности окраски, см. рис. 1, треки 5, 6). Отметим, что относи-

тельно высокое окрашивание ПО присуще данному сорту изначально (трек 3) и, видимо, закреплено конститутивно.

Ухудшение физиологического состояния растительных клеток в условиях абиотического стресса связано с накоплением МДА и увеличением супероксид-анион радикалов, что приводит к изменению активности ферментов антиоксидантной защиты (ПО и СОД), которые призваны предотвратить нарушение гомеостаза и Red/Ох-статуса растения.

В целом, данные электрофореза в ПААГ (рис. 1) показывают, что устойчивые к стрессу растения (сорта *Маркетт*, *Маршал Фош*) имеют более эффективную систему защиты, лучше обеспечивающую функционирование растительного организма в ухудшающихся условиях.

По результатам компьютерной обработки электрофореграммы (рис. 1, табл. 2) видно, что стресс индуцирует не только интенсивность общего окрашивания, но и образование новых изоформ ПО (*de novo*) с относительной электрофоретической подвижностью белка-фермента $Rf = 0,890$ и $Rf = 0,907$ (треки 5 и 6), что указывает на развитие защитной реакции растений винограда.

Результаты экспериментов показали, что индуцируемые стрессом на биохимическом уровне защитные реакции у североамериканских сортов винограда (в первую очередь у *Маркетт*) выражены сильнее, чем у европейских (*Бианка* и *Красень*). При этом абиотический стресс приводил к увеличению интенсивности окрашивания подвижных изоформ ПО (с меньшими величинами Rf). Различия в спектре изоферментов ПО, вероятно, отражают сортовую специфичность растений винограда в реакции на стрессовые воздействия и их интенсивность.

Важность измерений активности ферментов Red/Ох-системы обусловлена их первостепенной ролью в антиоксидантной защите клеток от постоянно образующихся высокотоксичных кислородных радикалов [10, 11, 13]. В частности, в наших опытах об этом свидетельствуют результаты измерения под действием стрессобразующих абиотических факторов активности другого важнейшего фермента антиоксидантной защиты – СОД. Данные опытов представлены на рис. 2.

Согласно полученным результатам (рис. 2, табл. 3), активация экспрессии СОД происходит при различных видах абиотического стресса (вне зависимости от вида стрессобразующих факторов).

Т а б л и ц а 3. СОД в листьях (компьютерная обработка электрофореграммы рис. 2)

Изоформа	Rf							
	Трек 1	Трек 2	Трек 3	Трек 4	Трек 5	Трек 6	Трек 7	Трек 8
1	0,158	0,141	0,053	0,130	0,046	0,651	0,120	0,113
2	0,204	0,444	0,155	0,394	0,250	0,979	0,215	0,165
3	0,236	0,581	0,317	0,472	0,461		0,317	0,451
4	0,433	0,655	0,465	0,542	0,595		0,465	0,581
5	0,570	0,951	0,592	0,592	0,673		0,602	0,651
6	0,655		0,680	0,694	0,968		0,683	0,940
7	0,930		0,961	0,975			0,901	

П р и м е ч а н и е. Треки: 1, 5 – контроль (*Бианка* и *Маркетт*); 2, 6 – низкотемпературный стресс (*Бианка* и *Красень*); 3, 7 – водный стресс (*Маршал Фош* и *Маркетт*); 4, 8 – затенение (*Бианка* и *Маркетт*).

Вместе с тем у каждого из исследованных сортов интенсивность окрашивания нитросиним тетразолиевым СОД изменяется в разной степени, что указывает на сортоспецифичность стрессоустойчивости. Из полученных данных следует, что характер увеличения интенсивности окрашивания СОД в листьях винограда, в частности у сорта *Маркетт*, имеет определенные отличия от изменения интенсивности окраски ПО. Так, при температурном стрессе (табл. 3, трек 5) количество СОД-изоформ сокращается, в то время как их накопление активируется (в опыте при $Rf = 0,651$ и $Rf = 0,979$ соответственно, в контроле при $Rf = 0,046$ и $Rf = 0,394$). Под действием стрессов водного дефицита (табл. 3, трек 7) и затенения (табл. 3, трек 8) у сорта *Маркетт*, напротив, значительно увеличивается разнообразие экспрессируемых изоформ СОД.

При шоковом оксидативном стрессе, вызванном действием близкой к 0° положительной температуры без предварительного закаливания, у растений винограда отмечены одновременно два процесса – увеличение интенсивности окраски нитросиним тетразолиевым одних видов изоферментов СОД (более подвижных) и снижение окраски других изоформ СОД (выражено у сортов *Маркетт* и *Маршал Фош*) на электрофореграммах (рис. 2).

На первых этапах стрессового воздействия имели место увеличение интенсивности молекул СОД и, возможно, синтез фермента с его предсуществующих матричных РНК (мРНК). Можно предположить, что СОД участвует в детоксикации продуктов ПОЛ и последствиях абиотического стресса еще на раннем его этапе. Если этого недостаточно для обеспечения адаптации растений, включается синтез новых мРНК и молекул СОД. Следовательно, в каждом конкретном случае активность СОД регулируется в зависимости от метаболических потребностей клеток, что в свою очередь определяется интенсивностью стрессового воздействия, его длительностью, чувствительностью растений и т. д.

При адаптации саженцев винограда исследуемых сортов в условиях БТК-1 проводились биометрические наблюдения, которые включали учет основных параметров их роста и развития. Активизация ростовых процессов у саженцев винограда прослеживалась визуально и обычно сопровождалась пробуждением точки роста, началом образования новых листьев и пасынков, удлинением междоузлий. Возобновление роста и развития растений, испытывающих состояние сильного абиотического стресса, имела выраженную сортоспецифичность и напрямую зависела от вида повреждающего стресс-фактора, его интенсивности и продолжительности.

Наибольшую чувствительность саженцы *Vitis* проявили к низкотемпературному шоку (табл. 2, 3). Европейские сорта (*Красень*) при этом претерпели нарушения гомеостаза, в частности у этих растений отмечалось повреждение фотосинтезирующего аппарата, вследствие чего в дальнейшем наблюдалась значительная задержка их роста и развития (более чем на 10–12 сут). Сорта американской группы (АН), например *Маркетт*, хоть и имели признаки незначительного угнетения (снижение тургора в листьях), возобновили развитие уже на 5–7-е сутки. В дальнейшем они продолжили активный рост, в том числе за счет образования пасынковых побегов.

В отличие от теплового, холодовой шок в меньшей степени приводил к нарушению гомеостаза и развития растений винограда. При этом сорта европейской селекции все же имели заметные нарушения физиологического состояния (визуально проявлялось через снижение тургора в листьях) и, согласно биометрическим данным (табл. 4), у их саженцев замедлились процессы роста и развития не менее чем на 5–8 сут.

Т а б л и ц а 4. Динамика развития саженцев винограда *in vivo* в зависимости от сорта

Сорт	Активность ризогенеза	Возобновление развития, сут	К-во междоузлий, шт.	Развитие листьев, шт.	Высота растений на 30-е сутки, см	Устойчивость к патогенам, балл
<i>Пино Нуар</i>	Низкая	15 ± 3	2–3	3–4	16,0 ± 2,0	4
<i>Бианка</i>	Высокая	9 ± 2	4–5	5–6	24,0 ± 2,0	8
<i>Красень</i>	Высокая	7 ± 2	4–5	5–6	23,0 ± 3,0	6
<i>Маршал Фош</i>	Относительно высокая	4 ± 2	4–5	5–6	32,0 ± 3,0	8
<i>Маркетт</i>	Высокая	10 ± 2	5–6	7–8	24,0 ± 2,0	9

В ходе экспериментов сорта *Маркетт* и *Маршал Фош* проявили себя как наиболее резистентные к абиотическому стрессу, что наблюдалось и визуально: листья у саженцев данных сортов сохранялись чистыми и здоровыми на протяжении всех опытов. Отмеченная стрессоустойчивость данных сортов, а в определенной мере и у сорта *Бианка*, коррелировала с повышением содержания у них менее подвижных форм СОД (верхняя и средняя часть треков). В то же время у менее устойчивых сортов (например, у сорта *Красень*) превалировали подвижные формы СОД. Выявленные различия в экспрессии разных по Rf-параметру форм СОД, видимо, отражают сортовую специфичность растений винограда и характеризуют особенности их реакций на стрессовые воздействия.

По данным биометрии (табл. 4) можно проследить, как проходит процесс адаптации саженцев винограда *in vivo* в зависимости от сорта.

Как видно из данных биометрии (табл. 4), у отдельных сортов вида *V. vinifera* (*Пино Нуар*) наблюдалось значительное отставание как на этапе ризогенеза, так и в процессе формирования вегетирующего аппарата в онтогенезе. Значительные различия в возобновлении роста и развития у саженцев винограда были обусловлены их сортом. Наиболее быстрая адаптация отмечена у межвидового гибрида американской селекции *Маркетт*. Относительно динамично адаптация происходила также у сложных межвидовых гибридов *Бианка* и *Маршал Фош*. У сортов европейского происхождения (*Пино Нуар*, *Бианка*, *Красень*), которые получены на основе *V. vinifera*, процессы адаптации в сравнении с американскими сортами замедлены, что согласуется с данными оценки стрессоустойчивости сортов по биохимическим показателям. У них отмечена менее выраженная способность к стресс-адаптации, а при активизации накопления продуктов ПОЛ не выявлено существенных изменений в динамике увеличения содержания и активности ферментов Red/Ох-системы.

Вместе с тем необходимо обратить внимание, что по внешним морфометрическим показателям нельзя однозначно оценить степень адаптивности и потенциальной стрессоустойчивости сортов к конкретным абиотическим факторам. Например, стресс, вызванный пересадкой оздоровленных *in vitro* растений винограда в новые условия *in vivo*, первоначально приостанавливал развитие саженцев некоторых сортов (*Бианка*, *Красень*), однако в последующем высокая динамика их роста и развития возобновлялась.

Заключение. В результате проведенных исследований установлено, что биохимические показатели, характеризующие состояние Red/Ох-системы растений (активность изоферментов ПО и СОД), представляют собой информативные экспериментальные данные для экспресс-оценки стрессоустойчивости и биологической пластичности растений винограда. Активность Red/Ох-ферментов обусловлена сортовой специфичностью винограда и в значительной мере зависит от интенсивности и продолжительности воздействия стрессобразующих факторов.

По данным биохимических, биометрических и морфофизиологических исследований, у сортов винограда европейской селекции (*Пино Нуар*, *Красень*), полученных на основе винограда *V. vinifera*, более низкая адаптивность к стрессобразующим факторам по сравнению с более лабильными и пластичными сортами американской группы.

Сорта винограда североамериканской селекции, в частности *Маркетт* и *Маршал Фош*, проявили наибольшую устойчивость при абиотическом стрессе (водный дефицит, пониженные температуры и недостаточная освещенность), которая коррелировала с изменением активности Red/Ох-ферментов.

Установлено, что устойчивые к стрессовым воздействиям сорта винограда по сравнению с восприимчивыми характеризуются изначально более высокой активностью Red/Ох-энзимов и, судя по динамике изменения ростовых процессов, более совершенным механизмом их реализации.

По итогам выполнения задания НИР саженцы перспективных интродуцируемых сортов винограда *Маркетт* и *Маршал Фош* переданы в специализированные научные и производственные центры по возделыванию винограда (РУП «Брестская ОСХОС НАН Беларуси», ОАО «Пинский винодельческий завод») для испытания в полевых условиях.

Благодарности

Работа выполнена благодаря финансовой поддержке ГКНТ по гранту № Б14СРБ-006 «Беларусь–Сербия» от 14.05.2014 БРФФИ «Исследование стрессоустойчивости интродуцируемых в Беларуси сортов винограда к неблагоприятным абиотическим факторам среды по состоянию Red/Ох-системы растений».

Acknowledgements

This work was supported by the State Committee for Science and Technology of the Republic of Belarus (the grant no. B14SRB-006 by 14.05.2014, “Belarus–Serbia”, of Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Трошин, Л. П. Ампе́лография и селекция винограда / Л. П. Трошин. – Краснодар: Вольные мастера, 1999. – 138 с.
2. Лойко, Р. В. Северный виноград / Р. В. Лойко. – М.: Изд. Дом МСП, 2003. – 256 с.
3. Опыт решения проблем интродукции и технологии промышленного выращивания винограда в условиях Беларуси / Т. Г. Янчевская [и др.]. – Минск: Право и экономика, 2012. – 16 с.
4. Авидзба, А. М. Разработка и реализация национальной программы совершенствования сортимента винограда в Украине / А. М. Авидзба, В. А. Волынкин // Виноградарство и виноделие. – 2007. – № 2. – С. 2–5.
5. Ненько, Н. И. Физиолого-биохимические методы изучения исходного и селекционного материала / Н. И. Ненько, И. А. Ильина, В. С. Петров, М. А. Сундырева // Современные методологические аспекты организации селекционного процесса в садоводстве и виноградарстве. – Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2012. – С. 530–540.
6. Олейников, Н. П. // Виноградарство и виноделие: сб. науч. тр. НИВиВ «Магарач» / Н. П. Олейников. – Ялта: НИВиВ «Магарач», 2009. – Т. 39. – С. 17–21.
7. Панкин, М. И. Влияние биотических и абиотических факторов на продуктивность виноградных растений с различным генетическим потенциалом / М. И. Панкин // Междунар. дистанц. науч.-практ. конф., посвящ. 125-летию профессора А. С. Мерзжаниана; 31 марта 2010 г. – Анапа: ГНУ «Анапская ЗОСВиВ СКЗНИИСиВ» Россельхозакадемии, 2010. – С. 158–164.
8. Кольман, Я. Наглядная биохимия / Я. Кольман, К. Г. Рем; пер. с нем. Л. В. Козлова [и др.]; под ред. П. Д. Решетова, Т. И. Соркиной. – М.: Мир, 2000. – 469 с.
9. Поликсенова, В. Д. Индуцированная резистентность растений к патогенам и абиотическим стрессовым факторам / В. Д. Поликсенова // Вестн. БГУ. – 2009. – № 1. – С. 48–60.
10. Бараненко, В. В. Супероксиддисмутаза в клетках растений / В. В. Бараненко // Цитология. – 2006. – Т. 48, № 6. – С. 465–474.
11. Савич, И. М. Peroксидазы – стрессовые белки растений / И. М. Савич // Успехи соврем. биол. – 1999. – Т. 107, № 3. – С. 406–417.
12. Хайруллин, Р. М. Защитные реакции пшеницы при инфицировании грибными патогенами. Активация анионных изоформ пероксидазы в проростках пшеницы при инфицировании спорами *Tilletia caries* / Р. М. Хайруллин, З. Р. Юсупова, Н. Б. Трошина // Физиол. раст. – 2000. – Т. 47, № 1. – С. 114–119.
13. Гриц, А. Н. Активность и динамика изоферментов пероксидазы и супероксиддисмутазы в листьях картофеля при обработке растений биопрепаратами / А. Н. Гриц [и др.] // Ботаника (исследования). – Минск: Право и экономика, 2010. – Вып. 39. – С. 281–294.
14. Владимиров, Ю. А. Перекисное окисление липидов в биологических мембранах / Ю. А. Владимиров, А. И. Арчаков; отв. ред. Г. М. Франк. – М.: Наука, 1972. – 252 с.

References

1. Troshyn, L. P. (1999) *Ampelografiya i selektsiya vinograda* [Ampelography and grape vine selection], “Vol’nye Mastera”, Krasnodar, RU.
2. Loiko, R. V. (2003) *Severnyi vinograd* [Northern grape vine], MSP Publishing, Moscow, RU.
3. Yanchevskaya, T. G., Oleshuk, E. N., Popoff, E. H., Grits, A. N. and Makarova, T. B. (2012) *Opyt resheniya problem introduksii i tekhnologii promyshlennogo vyrashchivaniya vinograda v usloviyakh Belarusi* [Problems of grape vine introduction and cultivation in Belarus and its solutions], “Pravo & Economics”, Minsk, BY.
4. Avidzba, A. M. and Volynkin, V. A. (2007) “Development and realization of national program on improving grape vine assortment in Ukraine”, *Vinogradarstvo i vinodelie* [Viticulture and Winemaking], no. 2, pp. 2-5.
5. Nen’ko, N. I., Il’ina, I. A., Petrov, V. S. and Sundyreva, M. A. (2012) “Physiological and biochemical research methods of initial selection material”, *Sovremennye metodologicheskie aspekty organizatsii selektsionnogo protsesssa v sadovodstve i vinogradarstve* [Modern methodological aspects of selection process in horticulture and winegrowing], “SKZNIIS&V”, Krasnodar, RU, pp. 530-540.
6. Oleinikov, N. P. (2009) “Selection cold-resistant varieties of grapes and modern methods of diagnosis plant resistance to low temperatures”, *Vinogradarstvo i vinodelie* [Viticulture and Winemaking], vol. 39, pp. 17-21.
7. Pankin, M. I. (2010) “Effects of biotic and abiotic factors upon productivity of grape vine plants depending on different genetic potentials”, *Mezhdunarodnaya distantsionnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashchennaya 125-letiyu professora A. S. Merzhanina; 31 marta 2010 goda* [International scientific conference in commemoration of A. S. Merzhanin, 31 March 2010], Anapa Zone Experimental Station of Viticulture and Winemaking of RAA, Anapa, RU, pp. 158-164.
8. Koolman, J. and Röhm, K. H. (2000) *Taschenatlas der Biochemie*, Translated by Kozlov, L. V., Levina, E. S., Reshetov, P. D., in Reshetov, P. D., Sorkina, T. I. (ed.), Mir, Moscow, RU.
9. Poliksenova, V. D. (2009) “Induced resistance of plants toward pathogens and abiotic stress factors (for example tomato)”, *Vestnik BGU* [BSU Bulletin], ser. 2, no. 1, pp. 48-60.
10. Barabanenko, V. V. (2006) “Superoxide dismutase in plant cells”, *Tsitologiya* [Cytology], vol. 48, no. 6, pp. 465-474.
11. Savich, I. M. (1999) “Peroxidases – stress proteins of plants”, *Uspekhi sovremennoi biologii* [Biology Bulletin Reviews] vol. 107, no. 3, pp. 406-417.

12. Khairullin, R. M., Yusupova, Z. R. and Troshyna, N. B. (2000) «Protective reactions of wheat at fungi pathogen infections. Activation of anionic peroxidase isoforms in wheat acrospires after *Tilletia caries* spores infection», *Fiziologiya rastenii* [Russian Journal of Plant Physiology], vol. 47, no. 1, pp. 114-119.

13. Grits, A. N., Yanchevskaya, T. G. Romanovskaya, T. V. and Kolomiets, E. I. (2010) «Activity and dynamics of peroxidases and superoxide dismutases isoenzymes in potato leaves after biopreparations treatment», *Botanika (issledovaniya)* [Botany (research)], no. 39, pp. 281-294.

14. Vladimirov, Yu. A. and Archakov, A. I. (1972) *Perekisnoe okislenie lipidov v biologicheskikh membranakh* [Lipids peroxidation in biomembranes], in G. M. Frank (ed.), Nauka, Moscow, RU.

Информация об авторах

Олешук Евгений Николаевич – науч. сотрудник НИИ экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: oleshen@mail.ru

Гриц Александр Николаевич – науч. сотрудник НИИ экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: griz_-64@mail.ru

Попов Евгений Германович – канд. биол. наук, старший науч. сотрудник НИИ экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: egropoff@yahoo.com

Янчевская Тамара Георгиевна – канд. биол. наук, зав. лабораторией ОМНР НИИ экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: t_yanch@mail.ru

Для цитирования

Олешук, Е. Н. Экспресс-оценка стрессоустойчивости интродуцируемых сортов винограда (*Vitis*) по активности окислительно-восстановительных ферментов / Е. Н. Олешук, А. Н. Гриц, Е. Г. Попов, Т. Г. Янчевская // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. биол. наук. – 2016. – № 4. – С. 33–41.

Information about the authors

Oleshuk Eugene N. – Scientific Researcher. Institute Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (Akademicheskaya st., 27, 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: oleshen@mail.ru

Grits Alexander N. – Scientific Researcher. Institute Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (Akademicheskaya st., 27, 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: griz_-64@mail.ru

Popoff Eugene Herman – Ph. D. (Biol. Sci.) Senior Scientific Researcher. Institute Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (Akademicheskaya st., 27, 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: egropoff@yahoo.com

Yanchevskaya Tamara G. – Ph. D. (Biol. Sci.), Head of Laboratory OMNP. Institute Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (Akademicheskaya st., 27, 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: t_yanch@mail.ru

For citation

Oleshuk E. N., Griz A. N., Popoff E. H., Yanchevskaya T. G. Express-assessment of introduced *Vitis* species' stress resistance using Red/Ox enzymes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, biological series*, 2016, no. 4, pp. 33–41.