

## ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ПРОЛИНА, ПИГМЕНТОВ И ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ ВОДЫ В ЛИСТЬЯХ ЯБЛОНИ (*Malus domestica* Borkh.) ПРИ ТЕМПЕРАТУРНОМ И ВОДНОМ СТРЕССЕ И ПРИЕМЫ СНИЖЕНИЯ ЕГО ПОСЛЕДСТВИЙ\*

Н.И. НЕНЬКО, Н.Н. СЕРГЕЕВА, Г.К. КИСЕЛЕВА, Ю.И. СЕРГЕЕВ,  
Е.К. ЯБЛОНСКАЯ, Ю.Ф. ЯКУБА

Напряженность гидротермических факторов и высокая интенсивность поступления солнечной радиации в летний период в условиях юга России определяют актуальность поиска объективных оценочных показателей функционального состояния плодовых растений и их сезонной изменчивости. Целью настоящей работы стало подтверждение гипотезы о возможности использования аминокислоты пролина в качестве критерия экспресс-оценки интенсивности воздействия абиотического стресса (почвенная и воздушная засухи) на физиологическое состояние многолетние плодовые растения в системе агроценоза. Объектом исследований служили растения яблони (*Malus domestica* Borkh.) сортов Прикубанское и Айдаред зимнего срока созревания. Образцы были получены в полевых опытах, заложенных в промышленных плодоносящих насаждениях опытно-производственного хозяйства «Центральное» (г. Краснодар). Эксперимент проводили в 2009-2012 годах. Деревья опрыскивали 0,5 % водными растворами комплексных питательных солей серии Акварин (ОАО «Буйский химический завод», Россия). В водные растворы удобрений вводили природный регулятор роста растений полифункционального действия Новосил («Биохимзащита», Россия). В контрольном (без удобрений) и опытном вариантах опыта было по 6 учетных деревьев. Содержание свободной аминокислоты пролина в листьях в мае и июле-августе определяли методом капиллярного электрофореза в модификации для анализа растительных образцов. Содержание хлорофиллов (a + b) оценивали спектральным методом, оводненность листьев и содержание свободной и связанной форм воды — весовым методом по М.Д. Кушниренко. В годы исследований с мая по август отмечалось снижение содержания связанной и увеличение количества свободной воды в листьях яблони. Применение листовых подкормок удобрениями совместно с регулятором роста Новосил повышало содержание связанной воды в листьях по сравнению с контролем, что свидетельствует о повышении устойчивости яблони к действию стресс-факторов летнего периода. В июле и августе при максимальной напряженности гидротермических факторов фиксировали увеличение содержания свободного пролина в листьях побегов относительно значений при нормальных условиях (III декада мая). Содержание пролина ежегодно возрастало в 1,4-2,9 раза в июле по сравнению с маем на фоне недостатка влаги, экстремально высоких температур воздуха. Применение водных растворов удобрений в сочетании с регулятором роста Новосил способствовало снижению содержания пролина в июле и августе в сравнении с контролем и повышению устойчивости растений к стрессорам летнего периода, что согласуется с динамикой содержания связанной формы воды. Проведенные исследования свидетельствуют о возможности использования такого показателя, как содержание свободного пролина в листьях побегов яблони, диагностируемого экспрессно, в качестве важного критерия оценки устойчивости к засухе и антропогенным факторам у многолетних плодовых растений в системе агроценоза.

Ключевые слова: *Malus domestica* Borkh., яблоня, стресс-факторы среды, динамика содержания пролина, пигменты, удобрения, регулятор роста, адаптация.

Обеспечение устойчивости биолого-технологических систем тесно связано с изучением и анализом показателей интенсивности водного и температурного стрессов в цикле сезонного развития растений (1-3). В условиях юга России важность таких исследований обусловлена экстремально высокими температурами воздуха на фоне суховея и отсутствия атмосферных осадков в летний период (4, 5). У многолетних плодовых культур это ведет к нарушению процессов закладки цветковых почек, дифференциации частей цветка и, как следствие, снижается продуктивность (6). Следовательно, важно оперативно выявлять физиологические и метаболические изменения у растений при напряженности экстремального фактора и использовать агротехнические мероприятия, необходимые для

\* Работа выполнена при поддержке гранта № 13-04-96-581p\_юг\_a.

стабилизации биологических процессов (7, 8). Для этого требуются объективные количественные показатели оценки состояния культур и их сезонной изменчивости в условиях плодовых агроценозов.

Вопросы диагностирования функционального статуса сельскохозяйственных растений в связи с воздействием абиотических факторов регулярно освещаются в научных публикациях отечественных (9-11) и зарубежных авторов (12-14). В условиях Израиля и Южно-Африканской Республики изучено действие на цитрусовые культуры температурного стресса, дефицита минерального питания, водного и солевого стрессов, которое оценивали по изменению содержания аминокислот и других биохимических индикаторов (12, 13). Опубликованы данные о влиянии засухи на аккумуляцию пролина в листьях 3-летних деревьев яблони (14), ферментативной активности листьев молодых яблонь как показателе засухоустойчивости (15), диагностировании изменения активности фермента класса оксидоредуктаз в кожице яблок под воздействием высокотемпературного летнего стресса и избытка солнечной радиации (16). Показано увеличение количества пролина и растворимых сахаров на фоне снижения содержания растворимого белка в листьях алычи при почвенной засухе (17). В вегетационных опытах на фоне почвенной засухи выявлено снижение количества хлорофилла и воды в листьях семян сливы при увеличении содержания пролина (18). Изучена динамика содержания пролина и хлорофилла в листьях маслины европейской при орошении водами промышленных стоков в Иордании (19) и воздействие ризосферной засухи на накопление пролина и первичных метаболитов листьями яблони в культуре *in vitro* (20).

Мы впервые в почвенно-климатических условиях юга России в полевом опыте изучили сезонные изменения содержания пролина как осмопротектора, повышающего устойчивость клеток к обезвоживанию, в листьях побегов яблони. В предварительных исследованиях было определено влияние комплекса водных растворов удобрений и регуляторов роста на продуктивность растений яблони в условиях региона (21). По изменению соотношения фракций воды и содержанию фотосинтетических пигментов в листьях диагностировали изменение физиологического состояния растений под действием физического стресса.

Целью нашей работы было подтверждение гипотезы о возможности использования аминокислоты пролина для экспресс-оценки устойчивости многолетних плодовых растений к почвенной и воздушной засухе, а также выявление регуляторного воздействия листовых обработок удобрениями в сочетании с биологически активным веществом Новосил.

*Методика.* Объектом исследований служили растения яблони (*Malus domestica* Borkh.) сортов Прикубанское и Айдаред зимнего срока созревания (промышленные плодоносящие насаждения опытно-производственного хозяйства «Центральное», г. Краснодар, 2009-2012 годы). В течение эксперимента велись метеонаблюдения для подробного описания условия сезонного развития растений в летний период дифференциации генеративных почек (III-IV этапы органогенеза) и после редукции избыточной продуктивности за счет опадения цветков, завязей и плодов (X-XII этапы органогенеза). Деревья опрыскивали 0,5 % водными растворами комплексных питательных солей серии Акварин (ОАО «Буйский химический завод», Россия). В первой половине вегетации применяли удобрения  $N_{18}P_{18}K_{18}Mg_1S_{1,5}$ , во второй половине —  $N_{12}P_{12}K_{35}Mg_2S_{0,7}$ . В композицию входили микроэлементы Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, B в хелатной форме. В водные растворы удобрений вводили природный регулятор роста растений

полифункционального действия Новосил («Биохимзащита», Россия) в концентрации 0,2 %. Действующее вещество — тритерпеновые кислоты, получаемые из хвои пихты сибирской. В контрольном (без удобрений и регулятора роста) и опытных вариантах было по 6 учетных деревьев. Анализы проводили в 3 аналитических повторностях.

Содержание свободной аминокислоты пролина в листьях определяли методом капиллярного электрофореза в модификации для анализа растительных образцов (22, 23). Метод основан на разделении заряженных компонентов сложных смесей, что позволяет анализировать ионные и нейтральные компоненты в растительном материале с высокой экспрессивностью и точностью. Сверхвысокочастотную (СВЧ) экстракцию пролина из растительного материала, очищенного от внешних загрязнений, выполняли на СВЧ экстракторе-минерализаторе Минотавр («Люмэкс», Россия). Среднюю пробу (не менее 15 здоровых листьев, высеки массой 1,0 г) помещали в контейнер СВЧ-минерализатора, добавляли 25 мл 10 % водного раствора этилового спирта и проводили экстракцию в течение 10 мин в режиме разложения без давления, затем контейнер извлекали и охлаждали. Полученный экстракт количественно переносили в мерную колбу на 25 мл, используя 10 % водный раствор спирта. Экстракт анализировали в системе капиллярного электрофореза Капель-103Р («Люмэкс», Россия) при напряжении 17 кВ, величине подаваемого тока  $30 \pm 5$  мкА, времени анализа 12 мин при вводе пробы под давлением 30 мБар в течение 5 с. При помощи программного обеспечения к прибору, используя электрофореграмму, рассчитывали массовую концентрацию компонентов по установленным градуировочным характеристикам.

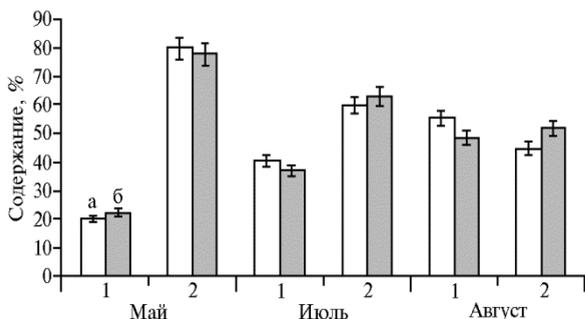
Содержание хлорофиллов (a + b) и каротиноидов в листьях определяли в динамике спектральным методом на спектрофотометре Unicо 2800 («United Products & Instruments», США) (24). Оводненность листьев и содержание свободной и связанной форм воды анализировали весовым методом (25). Все показатели исследовали в мае и июле-августе.

Статистический анализ проводили по Ф.А. Волкову (26). Расчеты выполняли с помощью программного пакета Microsoft Office 2010. В каждый год оценивали существенность разности между анализируемыми показателями на 5 % уровне значимости, рассчитывали среднее арифметическое ( $M$ ), дисперсию (вариансу,  $\sigma^2$ ), стандартное отклонение ( $\pm SD$ ), коэффициент вариации ( $Cv$ ), ошибку выборки ( $\mu$ ).

*Результаты.* В 2010 году в летние месяцы наблюдалась наибольшая напряженность гидротермических факторов. В разные годы максимальные температуры воздуха в июле и августе достигали 37,3–38,5 °С, а температура на поверхности почвы поднималась до 63,2–64,5 °С. Минимальные значения относительной влажности воздуха составляли от 26 до 42 %.

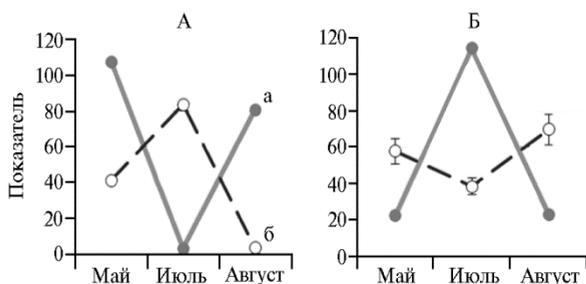
Листья побегов яблони служат не только источником питательных субстратов и пластических эквивалентов, но и центром активной регуляции процессов жизнедеятельности многолетнего древесного растения, чей состав метаболитов меняется в зависимости от условий среды. Анализируя динамику содержания фотосинтетических пигментов, мы установили, что действие высоких летних температур воздуха на фоне уменьшения количества атмосферных осадков в июле и августе в сравнении с маем вызывало снижение содержания хлорофилла (a + b) на 10–16 %, каротиноидов — на 4–18 %. Применение водных растворов специальных удобрений снижало потерю хлорофилла (a + b) в среднем на 3,0–7,0 %, каротиноидов — на 1,5–5,0 %. Уменьшение потерь хлорофилла на фоне применения удобрений

ний было существенным в 2010 и 2011 годах: НСР<sub>0,05</sub> составила 0,02 мг/г сухого вещества при отклонении от стандарта 0,01 мг/г сухого вещества и точности опыта (S<sub>x%</sub>) соответственно 0,54 и 2,45 %. Снижение содержания каротиноидов оказалось существенным (по годам наблюдений НСР<sub>0,05</sub> 0,03; 0,02; 0,03 мг/г сухого вещества) при отклонении от стандарта соответственно 0,01; 0,02; 0,01 мг/г сухого вещества и точности опыта 1,42; 4,73; 4,62 %.



**Рис. 1.** Динамика содержания свободной (1) и связанной (2) форм воды в листьях побегов яблони в среднем по сортам Прикубанское и Айдаред: а — контроль (без обработки), б — листовая подкормка водными растворами удобрений с добавлением регулятора роста «Новосил» (опытно-производственное хозяйство «Центральное», г. Краснодар, 2009-2012 годы).

свободной воды в 2,0-2,8 раза и снижение количества ее связанной формы. Под влиянием водных растворов удобрений и регулятора роста Новосил водоудерживающая способность листьев яблони в летний период несколько повышалась в сравнении с контролем (без обработки) (рис. 1).



**Рис. 2.** Количество атмосферных осадков (А) и содержание пролина (Б) в листьях побегов яблони в среднем по сортам Прикубанское и Айдаред: а — 2011, б — 2012 год (опытно-производственное хозяйство «Центральное», г. Краснодар).

порционально количеству атмосферных осадков (рис. 2). Содержание пролина в листьях в мае при средней температуре воздуха 13,8-24,8 °С и количестве атмосферных осадков 36,9-67,2 мм не превышало 22,6-57,6 мг/кг.

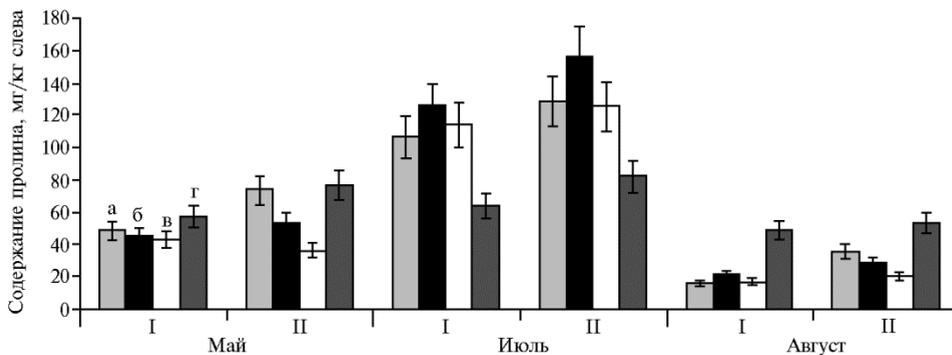
Изменение содержания свободного пролина в растениях (в том числе яблони) на фоне напряженности гидротермических факторов среды согласуются с данными исследований других авторов (27-29).

Действие водных растворов специальных удобрений, применяемых в летний период, несколько снижало содержание пролина, что, возможно, связано с ослаблением стресса (рис. 3).

Наблюдаемые изменения в количестве пигментов на фоне максимальной напряженности гидротермических факторов были сопряжены с динамикой фракционного состава воды в листьях. Подобные функциональные сдвиги, характерные для состояния стресса, у растений яблони отмечали и другие исследователи (8, 18).

В период с мая по август на фоне уменьшения содержания общей влаги в листьях на 7-9 % происходило увеличение количества

При изменении режима влажности и температуры воздуха наблюдали увеличение содержания свободного пролина, что согласуется с опубликованными ранее данными (9, 11, 14). В июле 2011 года в сравнении с маем содержание пролина в листьях у изучаемых сортов яблони повысилось в среднем в 5 раз, а в августе 2012 года — на 20,8 % и было обратно про-



**Рис. 3.** Содержания пролина в листьях побегов яблони в контроле (без обработки) (I) и при листовой подкормке водными растворами удобрений с добавлением регулятора роста Новосил (II) в среднем по сортам Прикубанское и Айдаред: а — 2009, б — 2010, в — 2011, г — 2012 год (опытно-производственное хозяйство «Центральное», г. Краснодар).

Таким образом, снижение содержания пигментов в листьях яблони и изменение водного режима в летний период свидетельствовало о значительном воздействии внешних условий на функциональную стабильность многолетних плодовых растений в цикле сезонного развития. При наличии стресса (недостаток влаги, экстремально высокие температуры воздуха) в листьях побегов фиксировали увеличение содержания свободного пролина как показателя устойчивости к засухе. Применение водных растворов специальных удобрений в сочетании с регулятором роста Новосил частично способствовало снижению интенсивности стресса, что подтверждается уменьшением накопления пролина в листьях. На фоне умеренных температур воздуха и регулярного выпадения атмосферных осадков листовые обработки не оказывали значительного влияния на содержание пролина в листьях. Кроме того, III декаду августа можно рассматривать как период репарации растений после стресса, судя по снижению этого показателя. Проведенные исследования свидетельствуют о возможности рассматривать динамику количества свободного пролина как один из важных критериев оценки устойчивости к засухе и антропогенному воздействию у многолетних плодовых растений в системе агроценоза.

*ФГБНУ Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия,*  
350901 Россия, г. Краснодар, ул. 40 лет Победы, 39,  
e-mail: nenko.nataliya@yandex.ru ✉, kubansad@kubannet.ru

*Поступила в редакцию*  
27 июля 2015 года

*Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology], 2018, V. 53, № 3, pp. 598-604*

## DYNAMIC OF PROLINE, PIGMENT CONTENTS, WATER FRACTIONS IN APPLE (*Malus domestica* Borkh.) FOLIAGE UNDER TEMPERATURE DROUGHT STRESS AND PROTECTION MEASURES

*N.I. Nenko, N.N. Sergeeva, G.K. Kiseleva, Yu.I. Sergeev, E.K. Yablonskaya, Yu.F. Yakuba*

*North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, Federal Agency of Scientific Organizations, 39, ul. im. 40-letiya Pobedy, Krasnodar, 350901 Russia, e-mail nenko.nataliya@yandex.ru (✉ corresponding author), kubansad@kubannet.ru*

ORCID:

Nenko N.I. [orcid.org/0000-0003-4295-3363](http://orcid.org/0000-0003-4295-3363)

Kiseleva G.K. [orcid.org/0000-0001-7583-1261](http://orcid.org/0000-0001-7583-1261)

Yablonskaya E.K. [orcid.org/0000-0003-1043-5879](http://orcid.org/0000-0003-1043-5879)

Sergeeva N.N. [orcid.org/0000-0002-9624-9892](http://orcid.org/0000-0002-9624-9892)

Sergeev Yu.I. [orcid.org/0000-0002-2555-2384](http://orcid.org/0000-0002-2555-2384)

Yakuba Yu.F. [orcid.org/0000-0003-2711-2419](http://orcid.org/0000-0003-2711-2419)

The authors declare no conflict of interests

Acknowledgements:

Supported financially by grant № 13-04-96-581p\_yor\_a

Received July 27, 2015

doi: 10.15389/agrobiol.2018.3.598eng

## Abstract

The hydrothermal factors and the high summer solar radiation in the South of Russia actualize the experimental studies and search for objective expressly determined quantitative indicators to evaluate functional state of fruit plants and their seasonal variability in agrocenoses. The main purpose of this work was to confirm the hypothesis of the possibility to use the amino acid proline content as a criterion for rapid assessing effects of abiotic stress intensity (soil and air drought, intensity of solar radiation) on perennial fruit plants in agrocenosis. On the example of apples (*Malus domestica* Borkh.) varieties Prikubanskoe and Aidared we identified the regulatory functions of special fertilizers in combination with growth regulator Novosil to improve adaptive properties of the apple trees. For the rapid determination of the free amino acid proline content in apple leaves we used capillary electrophoresis in the Kapel 103P device (Lumeks, Russia). To analyze tolerance of the apple trees against the summer period stressors, we used the weight method, determined the content of free and bound water in leaves, and also assessed content of chlorophyll (a + b) and carotenoids in leaves using a UNICO 2800 spectrophotometer (United Products & Instruments, USA). In the course of 4 year-studying (2009–2012) from May to August, it was shown that the leaf level of bound water increased while free forms of water declined. The leaf treatment with fertilizers together with growth regulator Novosil led to an increase in the content of the bound water in the leaves as compared to the control, which indicates an increase in the resistance of the apple tree to stress factors of the summer time. In July and August, at maximum adverse hydrothermal factors, the free proline content in the shoot leaves of apple plants became higher compared to the values under normal environmental conditions (decade III of May). Proline contents annually increased 1.4–2.9 times in July compared to May which is due to a lack of moisture, extremely high air temperatures and excessive insolation. Our data showed that the use of aqueous solutions of special fertilizers in combination with the growth regulator Novosil contributed to a decrease in the proline amount in apple leaves in July and August as compared to the control and led to an increase in plant resistance to stressors of the summer period, that is also consistent with the dynamics of the bound water we found. The conducted researches attest the possibility of using expressly estimated free proline content in apple shoots leaves as an important criterion for assessing resistance to drought and anthropogenic factors in perennial fruit plants in commercial orchards.

Keywords: *Malus domestica* Borkh., apple, environmental stress factors, the dynamics of proline content, pigments, fertilizer, growth regulator, adaptation.

## REFERENCES

1. Kosulina L.G., Lutsenko E.K., Aksenova V.A. *Fiziologiya ustoichivosti rastenii k neblagopriyatnym faktoram sredy* [Physiology of plant resistance to adverse environmental factors]. Rostov, 2011 (in Russ.).
2. Sharp R.E., Le Noble M.E. ABA, ethylene and the control of shoot and root growth under water stress. *J. Exp. Bot.*, 2002, 53: 33–37 (doi: 10.1093/jexbot/53.366.33).
3. Zhukova I.I. *Adaptatsiya rastenii k usloviyam okruzhayushchei sredy* [Adaptation of plants to environmental conditions]. Mogilev, 2008 (in Russ.).
4. Nen'ko N.I., Kiseleva G.K., Karavaeva A.V., Ulyanovskaya H.V. Stability to the drought to the types of the apple tree of different ploidy. *Journal of International Scientific Publications: Ecology & Safety*, 2013, 7(4): 4–12.
5. Nen'ko N.I., Kiseleva G.K., Ulyanovskaya E.V. *Materialy IX mezinarodni vedesko-prakticka conference «Predni vedeske novinky — 2013» (27srpna-05 zari 2013 roku). Dil 7. Lekarstvi. Biologické vedy. Zverolekarstvi*. Publishing House Educatoin and Sciense s.r.o., Praga. 2013: 40–45 (in Russ.).
6. Kolomiets I.A. *Preodolenie periodichnosti plodonosheniya yabloni* [Overcoming the periodicity of fruiting apple trees]. Kiev, 1961 (in Russ.).
7. Buntsevich L.L. *Morfofiziologicheskie osobennosti formirovaniya urozhainosti yabloni domashnei* [Morphophysiological features of yielding in cultivated apple trees]. Krasnodar, 2012 (in Russ.).
8. Goncharova E.A. Strategy of diagnostics and prognosis of tolerance of agricultural plants to weather-climatic abnormalities. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*, 2011, 1: 24–31 (in Russ.).
9. Kuznetsov V.V., Shevyakova N.I. *Fiziologiya rastenii*, 1999, 46: 321–336 (in Russ.).
10. Sergeeva N.N., Nen'ko N.I., Yakuba Yu.F. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii*, 2012, 13(7): 9. Accessed <https://elibrary.ru/item.asp?id=17339052>. No date (in Russ.).
11. Soshnikova T.N., Radyukina N.L., Korol'kova D.V., Nosov A.V. *Fiziologiya rastenii*, 2013, 1: 47–60 (in Russ.).
12. Bar-Akiva A., Kaplan M., Lavon R. The use of a biochemical indicator for diagnosing micro-nutrient deficiencies of grapefruit trees under field conditions. *Agrochimica XI*, 1967, 3: 283–288.
13. Rabe E. Stress physiology: the functional significance of the accumulation of nitrogen-containing compounds. *J. Hortic. Sci.*, 1990, 65(3): 231–243 (doi: 10.1080/00221589.1990.11516052).

14. Jie Y., Yang H., Zhang H., Zhang W. Promotion of proline accumulation in apple leaves by bioregulators. *Acta Hortic.*, 2008, 774: 237-242 (doi: 10.17660/ActaHortic.2008.774.30).
15. Ma Y.-H., Ma F.-W., Wang Y.-H., Zhang J.-K. The responses of the enzymes related with ascorbate-glutathione cycle during drought stress in apple leaves. *Acta Physiol. Plant.*, 2011, 33(1): 173-180 (doi: 10.1007/s11738-010-0535-5).
16. Zhang J.-G., Chen S.-C., Li Y.-L., Di B., Zhang J.-Q., Liu Y.-F. Effect of high temperature and excessive light stresses on PPO activity in apple peel. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(10): 4645-4651.
17. Zhang H., Wang Y.-L., Liao K., Guo X., Wang J., Zhao L. Effect of soil drought stress on osmotic adjustment substances of *Prunus divaricata* leaves. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2009, 32(1): 47-51.
18. Liu Z.C., Bao D.E. Effect of water stress on growth and physiological indexes in Jinguang plum seedlings. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2007, 30(5): 28-31.
19. Al-Absi K.M. Effect of irrigation with treated industrial effluent on growth, biochemical constituents and oil quality of olives. *Bulg. J. Agric. Sci.*, 2008, 14(6): 564-575.
20. Zhao J., Li S., Dai Z., Fan P. Effects of half and whole-rhizosphere droughts on osmosis regulating substances in (in vitro) seedlings of gala apple (*Malus pumila* Mill.). *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2005, 25(12): 2484-2489.
21. Sergeeva N.N., Nen'ko N.I., Sergeev Yu.I., Kiseleva G.K. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Vysokotochnye tekhnologii proizvodstva, khraneniya i pererabotki plodov i yagod»* [Proc. Conf. «High-precision technologies for the production, storage and processing of fruits and berries»]. Krasnodar, 2010: 223-228 (in Russ.).
22. Yakuba Yu.F. *Materialy II Mezhdunarodnoi konferentsii «Sovremennoe pribornoe obespechenie i metody analiza pochv, kormov, rastenii i sel'skokhozyaistvennogo syr'ya* [Proc. Conf. «Modern instrumentation and methods for analyzing soils, fodder, plants and agricultural raw materials»]. Moscow, 2004: 71-74 (in Russ.).
23. *Praktikum po biokhīmii* /Pod redaktsiei S.E. Severina, G.A. Solov'evoi [Workshop on biochemistry. S.E. Severin, G.A. Solov'eva (eds.)]. Moscow, 1989 (in Russ.).
24. Nen'ko N.I., Doroshenko T.N., Gasanova T.A. V sbornike: *Sovremennye metodologicheskie aspekty organizatsii selektsionnogo protsessa v sadovodstve i vinogradarstve* [In: Modern methodological aspects of selection in horticulture and viticulture]. Krasnodar, 2012: 189-198 (in Russ.).
25. Kushnirenko M.D., Pecherskaya S.N. *Fiziologiya vodoobmena i zasukhoustoichivosti rastenii* [Physiology of water regime and drought tolerance of plants]. Kishinev, 1991 (in Russ.).
26. Volkov F.A. *Metodika issledovaniy v sadovodstve* [Methods of research in horticulture]. Moscow, 2005 (in Russ.).
27. Prudnikov P.S., Sedov E.N. *Vestnik agrarnoi nauki*, 2015, 6(57): 79-83 (in Russ.).
28. Mittler R. Oxidative stress, antioxidants, and stress tolerance. *Trends Plant Sci.*, 2002, 7: 405-409 (doi: 10.1016/S1360-1385(02)02312-9).
29. Alia S., Saradhi P., Mohanty P. Involvement of proline in protecting thylakoid membranes against free radical-induced photodamage. *J. Photoch. Photobio. B*, 1997, 38: 253-257 (doi: 10.1016/S1011-1344(96)07470-2).