

Реализация генетического потенциала морозостойкости у гибридов яблони разной плоидности

Н.Г. Красова , З.Е. Ожерельева, А.М. Галашева

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур» (ВНИИСПК), Орловская область, Орловский район, Россия

Представлены результаты изучения устойчивости к неблагоприятным условиям новых селекционных форм яблони, полученных во ВНИИСПК, по приоритетным направлениям селекции яблони. Цель работы – оценка генотипов яблони, созданных при совмещении в генотипе иммунитета к парше с тройным набором хромосом (ген *RVi6+3x*), по зимостойкости. Изучение зимостойкости проводили полевым и лабораторным методами моделирования повреждающих факторов с использованием морозильной камеры «ЕСРЕС» PSL-2 KPN. Установлено, что к началу декабря генотипы приобретали хорошую закалку и проявили устойчивость жизненно важных тканей к раннезимним морозам до -30°C (I компонент морозостойкости). Выявлены генотипы, которые критические температуры -38°C и -40°C , а также -42°C при искусственном промораживании переносили с повреждением жизненно важных тканей на уровне Антоновки обыкновенной (компонент II). Моделирование трехдневной искусственной оттепели (2°C) с последующим снижением температуры до -30°C показало, что у всех изученных форм повреждения коры, камбия и древесины носили обратимый характер и не превышали 2.0 балла, а у иммунных триплоидных форм 31-2-130 и ЭЛС 31-36-149 не превышали 1.2 балла. Изучение зимостойкости новых селекционных форм позволило выявить наиболее зимостойкие и перспективные генотипы: иммунные к парше триплоидные формы 31-2-15, 31-2-115, 31-2-130 (Афродита $\times$ 13-6-106) и 31-36-149 [Веньяминовское $\times$ 25-35-144 (Уэлси тетраплоидный $\times$ Папировка тетраплоидная)], а также иммунные к парше диплоиды 31-35-58 (Юбилей Москвы $\times$ Краса Свердловска) и 31-15-126 [23-16-96 (сеянец 814 – свободное опыление) $\times$ Гулливер]. Эти генотипы проявили устойчивость жизненно важных тканей к раннезимним морозам, морозам в середине зимы до -40°C на уровне Антоновки обыкновенной, а также морозам после оттепелей и сохранили способность восстанавливать устойчивость при повторной закалке после оттепелей.

Ключевые слова: селекция; яблоня; отборные сеянцы; компоненты морозостойкости; моделирование повреждающих факторов; устойчивость.

Realization of the genetic potential of frost hardiness in apple hybrids of different ploidy

N.G. Krasova , Z.E. Ozherelieva, A.M. Galasheva

All-Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding,
Orel region, Russia

The results of a study of resistance to unfavorable winter conditions of new selection seedlings of apple developed in the Institute as part of priority directions of apple breeding are presented. The goal of the work is to estimate winter hardiness of apple genotypes developed by combining scab resistance in a triploid genotype (*RVi6+3x*). Methods of a winter hardiness study in the field and laboratory conditions were used by modelling damage factors in a "ESPEC" PSL-2 KPN deep-freezer. It was determined that by early December the genotypes gained a good hardening and displayed the resistance of vitally important tissues to early winter frosts up to 30°C (frost resistance component I). The genotypes were revealed that under artificial freezing bore critical temperatures -38°C and -40°C as well as -42°C with damages of vitally important tissues at the level of Antonovka Obyknovennaya (component II). The modelling of a three-day artificial thaw ($+2^{\circ}\text{C}$) with the following temperature lowering to -30°C showed that in all studied apple seedlings the damages of bark, cambium and wood were reversible and did not exceed 2.0 points while in immune, triploid forms 31-2-130 and ELS 31-36-149, the damages did not exceed 1.2 points. The winter hardiness study of selection apple seedlings allowed revealing the most winter hardy and promising genotypes: scab resistant and triploid forms 31-2-15, 31-2-115, 31-2-130 (Afrodita $\times$ 13-6-106) and 31-36-149 [Veniaminovskoye $\times$ 25-35-144 (Wealthy tetraploid $\times$ Papirovka tetraploid)] as well as scab resistant diploids 32-35-58 (Yubiley Moskvyy $\times$ Krasa Sverdlovskaya) and 31-15-126 [23-16-96 (seedling 814 – open pollination) $\times$ Gulliver]. Those genotypes displayed the resistance of vitally important tissues to early winter frosts, frosts in the middle of winter up to -40°C at the level of Antonovka Obyknovennaya as well as to the frosts after thaws and retained the ability to restore resistance during repeated hardening after thaws.

Key words: breeding; apple; selection seedlings; components of frost hardiness; modelling of damage factors; resistance.

КАК ЦИТИРОВАТЬ ЭТУ СТАТЬЮ:

Красова Н.Г., Ожерельева З.Е., Галашева А.М. Реализация генетического потенциала морозостойкости у гибридов яблони разной плоидности. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017;21(2):214-221. DOI 10.18699/VJ17.239

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Krasova N.G., Ozherelieva Z.E., Galasheva A.M. Realization of the genetic potential of frost hardiness in apple hybrids of different ploidy. Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2017;21(2):214-221. DOI 10.18699/VJ17.239

В настоящее время приоритетными направлениями селекции яблони являются создание триплоидных иммунных к парше и колонновидных сортов яблони, а также селекция на улучшение биохимического состава плодов (Седов, 2011). Исключительный интерес представляют сорта, совмещающие в одном генотипе иммунитет к парше и триплоидный набор хромосом. Во ВНИИСПК под руководством академика Е.Н. Седова создано девять сортов яблони, обладающих иммунитетом к парше (с геном *Rvi6*) и имеющих триплоидный набор хромосом, из них у семи второй родитель является донором диплоидных гамет (тетраплоид). В настоящее время работа по реализации программы по селекции яблони на полиплоидном уровне и созданию новых перспективных сортов и форм продолжается (Седов и др., 1995, 2014; Седов, 2011).

Важный этап в селекции яблони – ускоренная оценка селекционного материала на зимостойкость. Исследованиями физиологов показано четкое различие четырех разных типов воздействия мороза на плодовые деревья в зимний период (Brierly, 1947; Тюрина, Гоголева, 1966, 1978; Weiser, 1970; Stushnoff, 1973; Тюрина, 1976, 2000). Эти исследования позволили выделить основные составляющие данного комплекса воздействия и выразить их количественно как уровни морозостойкости тканей и органов в разные периоды зимы: быструю закалку и устойчивость к ранним морозам; устойчивость к критическим морозам; способность удерживать закалку в период оттепелей и к повторному приобретению закалки и морозостойкости после оттепелей. В настоящее время для оценки зимостойкости яблони широко используется лабораторный метод моделирования повреждающих факторов (Тюрина, Гоголева, 1978; Кичина, 1999; Тюрина и др., 2002; Cline et al., 2002; Linden, 2002; Alojzy et al., 2004; Савельев и др., 2010; Ожерельева и др., 2011, 2013; Красова и др., 2014).

Анализ адаптивных показателей новых генотипов яблони методом моделирования повреждающих факторов ускоряет оценку морозостойкости и позволяет выявить потенциал по компонентам устойчивости для определения возможностей их дальнейшего продвижения в сорта.

Цель данной работы – оценка отборных и элитных форм яблони, созданных инновационным путем в результате совмещения в генотипе иммунитета к парше с тройным набором хромосом (ген *Rvi6* + 3х), по устойчивости к зимним неблагоприятным условиям в полевых и лабораторных условиях.

Материалы и методы

Исследования проводили во ВНИИСПК в осенне-зимние периоды 2012, 2013 и 2014 гг. Объектами служили отборные и элитные сеянцы селекции института зимнего срока созревания, контролем – районированный сорт Антоновка обыкновенная (табл. 1).

Были использованы соответствующие методики изучения зимостойкости в полевых и лабораторных условиях методом моделирования повреждающих факторов (Тюрина и др., 2002) с применением морозильной камеры «ESPEC» PSL-2 KPN.

В программу исследований по изучению сортов яблони в контролируемых условиях входило определение потен-

циала устойчивости по следующим основным компонентам комплекса зимостойкости:

- I – устойчивость к ранним морозам в конце ноября – начале декабря (–5 °C, –10 °C, –25 °C; –5 °C, –10 °C, –30 °C);
- II – максимальный уровень морозостойкости при закалке в январе – феврале (–5 °C, –10 °C, –38 °C; –5 °C, –10 °C, –40 °C; –5 °C, –10 °C, –42 °C);
- III – устойчивость в периоды оттепелей (–5 °C, –10 °C, +2 °C, –25 °C; –5 °C, –10 °C, +2 °C, –30 °C);
- IV – способность восстанавливать устойчивость при повторной закалке после оттепелей (–5 °C, –10 °C, +2 °C, –5 °C, –10 °C, –30 °C).

Длительность воздействия температурами – закалка –5 °C (5 сут) и –10 °C (5 сут); затем снижение температуры по 5 °C в час до критической температуры; критические температуры – 8 ч; оттепель +2 °C (2 сут).

Обработку экспериментальных данных проводили методом дисперсионного анализа (Доспехов, 1973) с использованием компьютерной программы MS Excel. Оценка повреждений почек и тканей побегов проводили с помощью бинокулярного микроскопа МБС-2 по шкале: 0 – нет повреждений, 5 баллов – гибель тканей и почек после оттаивания.

Результаты

В связи с периодически повторяющимися суровыми зимами и участвовавшими в последнее время резкими перепадами температуры сохраняет актуальность изучение вопросов устойчивости яблони к стрессорам зимнего периода для установления адаптивного потенциала новых селекционных сортов яблони в определенной зоне (Соловьева, 1967; Кичина, 1999; Khanizadeh et al., 2000; Седов, Красова, 2010; Quamme et al., 2010; Arora, Rowland, 2011; Красова и др., 2014).

Изучение зимостойкости исходных родительских форм, использованных при получении отборных и элитных сеянцев (ЭЛС), показало в полевых условиях хорошую зимостойкость сортов Афродита, Веньяминовское, Юбилей Москвы (с геном *Rvi6*) и среднеустойчивых к парше сортов Скрыжапель, Краса Свердловска, Гулливер даже в зиму 2011/2012 г. при снижении температуры воздуха до –39.9 °C в связи с хорошей закалкой осенью.

Иммунный сеянец 814, полученный из Франции, подмерзал даже в обычные зимы (Седов, Красова, 2010; Красова и др., 2014). Тетраплоидные сорта яблони Джаент спай и Уэлси тетраплоидный по зимостойкости значительно уступают среднерусским сортам. Тетраплоидная форма 13-6-106, выделенная среди сеянцев от свободного опыления диплоидного сорта Суворовец (Седов и др., 2014) на участке первичного изучения (прививки 1987 г. в крону Антоновки обыкновенной), проявила низкую зимостойкость, деревья сильно пострадали от морозов в зиму 2005/2006 г. Поэтому необходимо изучение зимостойкости новых селекционных форм, созданных (под руководством Е.Н. Седова) на основе адаптивных сортов с участием тетраплоидных и иммунных к парше форм яблони. Изучаемые отборные и гибридные формы в полевых условиях проявили достаточную для средней зоны садоводства устойчивость к неблагоприятным

Table 1. Selected and elite apple forms studied

Hybrid seedlings	Origin	Scab resistance
Diploids (2x)		
Antonovka Obyknovennaya (control)	Variety of peoples selection	Resistant, damage up to 2.0 points
18-64-52	Seedling 814 – open pollination	Gene <i>Rvi6</i>
31-16-12	23-16-96 (814 – open pollination) × Gulliver	Gene <i>Rvi6</i>
31-35-58	Yubiley Moskvyy × Krasa Sverdlovskaya	Gene <i>Rvi6</i>
ELS 31-15-126	23-16-96 (814 – open pollination) × Gulliver	Gene <i>Rvi6</i>
Triploids (3x)		
ELS 26-44-94	11-24-28 (seedling Golden Grime) × Wealthy tetraploid	Resistant, damage up to 2.0 points
29-22-64	18-53-22 (Skryzhapel × OR18T13) × Wealthy tetraploid	Gene <i>Rvi6</i>
ELS 30-30-114	23-20-74 (seedling 814 – open pollination) × Giant Spy	Gene <i>Rvi6</i>
30-32-88	Prima × Giant Spy	Gene <i>Rvi6</i>
31-1-67	Afrodita × 13-6-106 (seedling from Suvorovetz open pollination)	Gene <i>Rvi6</i>
31-1-126	Afrodita × 13-6-106 (seedling from Suvorovetz open pollination)	Gene <i>Rvi6</i>
ELS 31-2-15	Afrodita × 13-6-106 (seedling from Suvorovetz open pollination)	Gene <i>Rvi6</i>
ELS 31-2-48	Afrodita × 13-6-106 (seedling from Suvorovetz open pollination)	Gene <i>Rvi6</i>
ELS 31-2-115	Afrodita × 13-6-106 (seedling from Suvorovetz open pollination)	Gene <i>Rvi6</i>
31-2-130	Afrodita × 13-6-106 (seedling from Suvorovetz open pollination)	Gene <i>Rvi6</i>
ELS 31-36-149	Veniaminovskoye × 25-34-144 (Wealthy tetraploid × Papirovka tetraploid)	Gene <i>Rvi6</i>

зимним условиям, но для их дальнейшего продвижения в сорта необходимо знание потенциала устойчивости к различным неблагоприятным условиям по компонентам морозостойкости.

Существенную роль играют условия предшествующих осенних месяцев. В годы исследований (2013 и 2014) условия складывались благоприятно для подготовки к зимним холодам: температура воздуха понижалась постепенно, осадки пополнили запас влаги в почве. Минимальная температура воздуха опускалась в декабре 2013 и 2014 гг. до -14.5 и -20.0 °C соответственно. Но в 2012 г. условия были менее благоприятными: теплый октябрь (средняя температура воздуха составила 7 °C – на 2.2 °C выше средней многолетней), теплый ноябрь (на 1.7 °C выше нормы) сменились резким похолоданием в середине декабря с минимальной температурой -28.6 °C в конце декабря. В такие годы условия для прохождения фаз закаливания складывались неблагоприятно, проведенное искусственное промораживание при различных температурах позволило определить потенциал устойчивости изучаемых гибридных форм по компоненту I морозостойкости.

В результате исследований (2012–2014 гг.) отборные и элитные гибридные сеянцы яблони в контролируемых условиях проявили способность без существенных повреждений почек выносить в начале декабря мороз до -25 °C после закалки (компонент I). Кора, камбий и древесина сохранились здоровыми. Искусственное промораживание гибридных форм показало, что изучаемые формы спо-

собны закаливаться и выдерживать раннезимние морозы при температуре -25 °C без существенных повреждений почек и основных тканей на уровне контроля – Антоновки обыкновенной. Снижение температуры промораживания до -30 °C привело, в первую очередь, к слабому повреждению вегетативных почек у ряда изученных форм до 1.0–1.3 балла, а также к небольшому повреждению коры, камбия, древесины – не более 1.0 балла. Слабые повреждения на уровне контроля отмечены у гибридов 18-64-52, ЭЛС 30-30-114, 31-1-126, ЭЛС 31-2-15, ЭЛС 31-2-130.

Изучаемые гибридные формы в среднем за три года проявили хорошую устойчивость к раннезимним морозам, основные жизненно важные ткани повреждались не более 1.0 балла, и к началу декабря большинство изученных гибридных форм яблони селекции института приобретали полную устойчивость к раннезимним морозам (табл. 2).

Для выяснения потенциала морозостойкости гибридных форм проводили промораживание побегов при моделировании температуры -38 , -40 и -42 °C в январе (компонент II морозостойкости). Среднерусский сорт Антоновка обыкновенная (контроль) в среднем за три года показал высокую устойчивость почек, коры и древесины при температуре -38 и -40 °C; при -42 °C древесина повреждалась до 2.2 балла (табл. 3).

Изучаемые гибридные формы при температуре промораживания -38 °C способны развивать максимальную морозостойкость основных тканей с небольшими повреждениями на уровне контроля.

Table 2. Tissue damage scores of hybrid apple forms (Component I, –30 °C) averaged over 2012–2014

Hybrid seedlings	Damage score			
	Buds	Bark	Cambium	Wood
Diploids				
Antonovka Obyknovennaya – control	0.3	0.1	0	0.1
18-64-52	0.5	0.3	0	0.2
31-16-12	0.9	0.5	–	0.1
31-35-58	1.1	0.8	0.5	0.5
ELS 31-15-126	1.3	0.5	0	0.4
Triploids				
ELS 26-44-94	1.3	0.8	0.7	1.0
29-22-64	0.9	0.7	0.5	0.6
ELS 30-30-114	0.8	0.3	0.3	0.5
30-32-88	1.2	0.2	0	0.5
31-1-67	1.2	0.3	0.6	0.3
31-1-126	0.7	0.1	–	0
ELS 31-2-15	0.6	0.3	0.2	0.5
ELS 31-2-48	1.1	0.7	0.3	0.9
ELS 31-2-115	1.3	0.7	0.5	0.5
31-2-130	0.9	0.5	0.3	0.4
ELS 31-36-149	0.9	0.2	0.2	0.4
Mean	0.9	0.4	0.3	0.4
LSD ₀₅	0.6	0.5	0.4	0.6

Table 3. Tissue damage scores of hybrid apple forms (Component II) averaged over 2012–2014

Hybrid seedlings	Damage score											
	–38 °C				–40 °C				–42 °C			
	a*	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
Diploids												
Antonovka Obyknovennaya	0.1	0.1	0.1	0.7	1.0	0.3	0.1	1.8	1.8	1.4	0.9	2.2
18-64-52	2.2	1.2	1.0	2.0	1.5	0.9	0.6	2.0	2.7	2.7	1.9	2.3
31-16-12	1.9	1.0	0.7	2.0	2.3	1.9	1.4	2.2	–	–	–	–
31-35-58	1.8	0.9	0.4	1.7	2.3	1.5	1.0	2.3	2.6	1.7	1.4	2.6
ELS 31-15-126	2.0	0.7	0.4	1.0	2.7	2.0	1.6	2.0	2.6	1.4	1.2	2.4
Triploids												
ELS 26-44-94	2.0	1.3	0.7	1.6	2.5	1.3	0.8	2.3	3.0	2.3	2.1	2.6
29-22-64	1.7	0.4	0.2	1.9	2.5	1.5	1.1	2.4	2.6	1.9	1.4	3.1
ELS 30-30-114	2.2	1.1	1.0	1.8	2.5	1.4	1.2	2.5	3.1	2.4	2.3	2.7
30-32-88	1.6	1.1	0.7	1.5	2.4	1.7	1.4	2.6	3.2	2.6	2.3	2.9
31-1-67	1.9	1.4	1.1	1.8	2.6	2.1	1.7	2.6	2.6	1.7	1.2	3.5
ELS 31-2-15	1.5	0.5	0.4	1.5	2.1	1.8	1.1	2.0	2.7	2.2	1.8	2.5
ELS 31-2-48	2.0	1.1	0.7	1.9	2.3	1.9	1.3	2.4	2.6	2.2	1.7	3.1
ELS 31-2-115	1.7	1.0	0.9	1.4	2.4	1.9	1.1	2.1	2.4	1.9	1.8	2.7
31-2-130	1.7	0.7	0.5	1.4	2.3	1.7	1.1	2.1	2.4	1.9	1.7	2.5
ELS 31-36-149	2.0	0.7	0.5	1.2	2.4	1.7	1.3	2.0	2.8	2.3	1.9	2.4
Mean	1.8	0.9	0.6	1.6	2.2	1.6	1.1	2.2	2.6	2.1	1.7	2.7
LSD ₀₅	1.0	0.9	0.8	0.6	0.7	0.7	0.9	0.6	0.7	0.9	1.0	0.7

* a, buds; b, bark; c, cambium; d, wood.

Table 4. Tissue damage scores of hybrid apple forms (Component III) averaged over 2012–2014

Hybrid seedlings	Damage score							
	–25 °C				–30 °C			
	Buds	Bark	Cambium	Wood	Buds	Bark	Cambium	Wood
Diploids								
Antonovka Obyknovennaya – control	0.8	0.1	0.1	0.2	0.8	0.4	0.2	0.4
18-64-52	1.9	1.4	0.9	1.0	2.1	1.2	1.0	1.1
ELS 31-15-126	1.7	0.7	0.2	0.9	2.4	1.7	1.0	1.6
31-16-12	2.0	0.9	0.6	0.8	3.1	2.1	1.1	1.7
31-35-58	1.2	0.6	0.1	0.7	1.8	1.2	0.8	1.1
Triploids								
ELS 26-44-94	1.9	0.7	0.3	0.6	2.3	1.3	0.6	1.2
29-22-64	1.9	1.0	0.7	0.9	2.3	1.2	0.6	1.2
30-30-114	1.7	0.7	0.5	1.0	2.4	1.7	0.9	1.3
30-32-88	1.4	1.0	0.8	0.8	2.3	1.2	0.7	0.7
31-1-67	2.2	1.6	1.3	1.1	2.2	1.2	1.6	1.4
ELS 31-1-126	2.0	0.5	0.4	0.8	2.4	1.3	1.2	1.0
ELS 31-2-15	1.4	0.7	0.5	0.9	2.2	1.6	0.9	1.0
ELS 31-2-48	1.8	0.9	0.4	1.0	2.3	2.0	1.2	1.6
ELS 31-2-115	1.7	1.0	0.7	0.6	2.2	1.7	1.4	1.0
31-2-130	1.4	0.5	0.7	0.6	2.0	1.1	0.6	1.1
ELS 31-36-149	1.5	0.4	0.1	1.1	2.1	1.0	0.3	1.2
Mean	1.7	0.8	0.5	0.8	2.2	1.4	0.9	1.2
LSD ₀₅	0.9	0.9	$F_{obs} < F_{exp}$	0.8	0.6	0.7	$F_{obs} < F_{exp}$	0.8

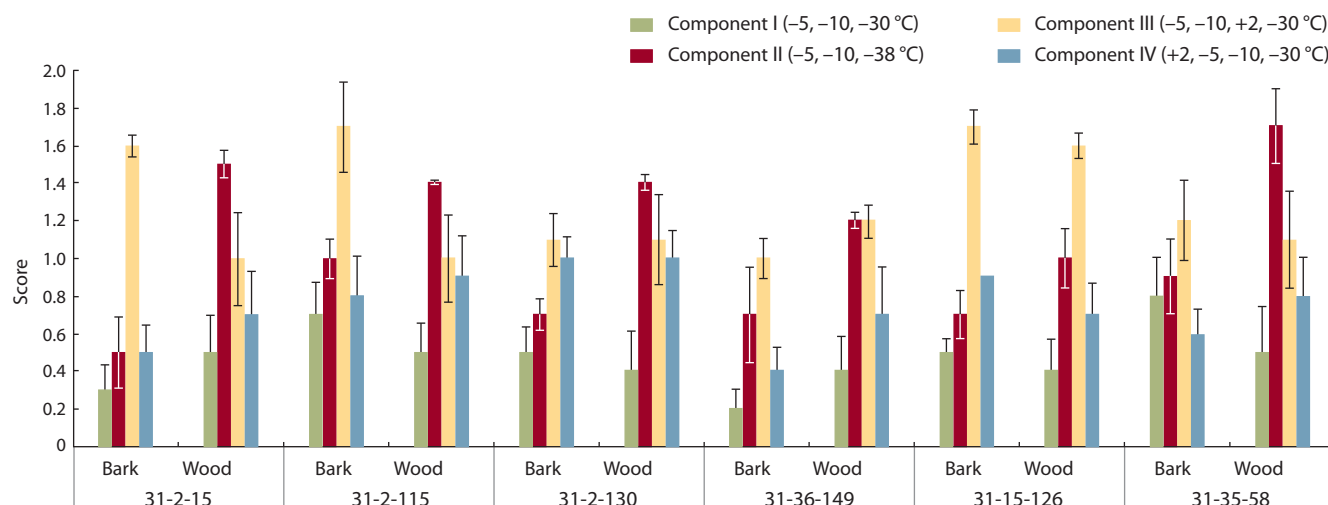
F_{obs} , Fisher's criterion, observed value; F_{exp} , expected value. If $F_{obs} < F_{exp}$, the difference between the mean values is insignificant.

При воздействии температурой –40 °C после закалки отмечено усиление повреждений коры и камбия, кроме гибридных форм 18-64-52 (повреждение на уровне Антоновки обыкновенной по всем тканям), а также 26-44-94, 31-35-58 – по камбию. Повреждение древесины при этой температуре промораживания также усилилось, но у изученных ди- и триплоидов не превышало контроль, а у триплоидных форм 30-32-88, 31-1-67 и ЭЛС 30-30-114 отмечены повреждения на уровне 2.5–2.6 балла. Критическую для средней зоны садоводства температуру промораживания –40 °C большинство изученных форм переносило на уровне Антоновки обыкновенной.

Снижение температуры промораживания до –42 °C значительно усилило повреждение тканей, в том числе древесины, у ряда триплоидных форм до 2.9–3.1 балла. При воздействии температуры –42 °C устойчивость жизненно важных тканей на уровне Антоновки обыкновенной выявлена у иммунных к парше триплоидных форм ЭЛС 31-2-15, 31-2-115, 31-2-130 (Афродита × 13-6-106) и ЭЛС 31-36-149 [Веньяминовское × 25-35-144 (Уэлси тетраплоидный × Папировка тетраплоидная)], а также у иммунных к парше диплоидных 31-35-58 (Юбилей Москвы × Краса Свердловска) и ЭЛС 31-15-126 [23-16-96 (сеянец 814 от свободного опыления) × Гулливер].

Выявлена реакция генотипов на низкие температуры после искусственной оттепели (компонент III). Основным при режиме промораживания –25 и –30 °C после оттепели +2 °C было повреждение вегетативных почек до 2.4 балла, кроме гибридного сеянца 31-16-12, с необратимыми повреждениями почек (3.1 балла в среднем за три года) при температуре –30 °C. Ниже среднего по группе (но выше Антоновки обыкновенной) было повреждение почек у гибрида 32-35-58 при слабом повреждении коры, камбия и древесины. У всех изученных форм повреждения коры и древесины при морозах –30 °C после оттепелей носили обратимый характер и не превышали 1.0–2.0 балла. Выделились по устойчивости тканей и почек к морозам –30 °C после оттепели +2 °C гибридные формы 31-2-130 и ЭЛС 31-36-149; высокая устойчивость древесины (на уровне Антоновки обыкновенной) отмечена у генотипов 30-32-88, 18-64-52, ЭЛС 31-1-126, ЭЛС 31-2-15, ЭЛС 31-2-115 и 31-35-28 (табл. 4).

Для благополучной перезимовки яблони большое значение имеет восстановление морозостойкости после оттепели. Плавное понижение температуры после оттепелей приводит к частичному восстановлению морозостойкого состояния. Большинство изученных форм обладали способностью восстанавливать морозостойкое состояние



Assessment of frost tolerance components I–IV from the damage of tissues in promising hybrid apple seedlings, averaged over 2012–2014.

при понижении температуры до -30°C после оттепели и повторной закали.

На рисунке представлены перспективные устойчивые гибридные формы яблони. У них отмечены обратимые повреждения жизненно важных тканей, не превышающие 1.7 балла.

Обсуждение

Современный промышленный сорт яблони должен быть пригодным для интенсивных насаждений, обладать достаточным адаптивным потенциалом, приносить устойчивые урожаи высококачественных плодов. Одним из важных признаков адаптивности считается зимостойкость плодового дерева – способность противостоять зимним неблагоприятным условиям. Зимостойкость – основной фактор, определяющий возможности возделывания сорта в данной зоне. Реализация генетически обусловленной зимостойкости у плодовых деревьев связана с подготовкой их к зиме и реакцией на неблагоприятные факторы осеннего и зимнего периодов.

В среднем за 2012–2014 гг. изучения гибридные формы к середине декабря приобретали хорошую закалку и проявили устойчивость жизненно важных тканей к раннезимним морозам -25 и -30°C на уровне Антоновки обыкновенной (компонент I морозостойкости). По данным ряда исследований (Трунова, Резвякова, 1993; Кичина, 1999; Савельев и др., 2009), сорта отечественной селекции также выдерживали понижение температуры до -30°C в ноябре после стандартной закали -5 и -10°C . Зарубежные сорта характеризуются более низкой устойчивостью к отрицательным температурам осенне-зимнего периода (Савельев, 1998; Савельев и др., 2009).

Изучение потенциала морозостойкости в середине зимы (компонент II) показало высокую устойчивость вегетативных почек, коры и древесины контроля – Антоновки обыкновенной – при температуре -38 , -40°C ; при -42°C древесина повреждалась до 2.2 балла. У изученных гибридных форм в середине зимы основным было повреждение вегетативных почек и древесины: вегетативные почки при воздействии низкими температурами -38 и -40°C в

середине зимы повреждались сильнее Антоновки обыкновенной. Высокая устойчивость вегетативных почек отмечена у формы 18-64-52 (при -40°C). Изученные гибридные формы при температуре промораживания -38°C способны развивать максимальную морозостойкость основных тканей с небольшими повреждениями на уровне контроля или не более 1.4 балла по коре и не более 2.0 балла по древесине (обратимые повреждения). Наибольшая устойчивость всех жизненно важных тканей (на уровне Антоновки обыкновенной) отмечена при температуре -38°C у элитных форм 31-15-126 (2х) и 31-36-149 (3х).

Воздействие температурой -40°C после закали привело к усилению повреждений по всем тканям и особенно древесины даже у местного адаптированного сорта Антоновка обыкновенная. О возможности сильных повреждений древесины низкими температурами в середине зимы сообщали Н.И. Савельев с коллегами (2009) и Е.Н. Седов (2011). Повреждение древесины при этой температуре промораживания у изученных диплоидов не превышало контроль. На уровне контроля устойчивость всех тканей отмечена у формы 18-64-52, а также ЭЛС 26-44-94, 31-35-58 – по камбию и древесине и ЭЛС 31-2-15, ЭЛС 31-2-48, ЭЛС 31-15-126, ЭЛС 31-36-149, 31-2-115, 31-2-130 – по древесине (обратимые повреждения не выше 2.0–2.1 балла). Критические для средней зоны садоводства температуры -38 и -40°C при искусственном промораживании большинство изученных форм переносили с повреждением жизненно важных тканей на уровне Антоновки обыкновенной. Некоторые авторы считают потенциалом устойчивости к низким температурам наиболее зимостойких сортов интервал от -42 до -44°C (Савельев, 1998; Кичина, 1999).

Снижение температуры промораживания до -42°C в середине зимы значительно усилило повреждение вегетативных почек и тканей как у Антоновки обыкновенной, так и у изучаемых форм. У иммунных к парше триплоидных форм ЭЛС 31-2-15, ЭЛС 31-2-115, 31-2-130 (Афродита $\times$ 13-6-106) и 31-36-149 [Веньяминовское $\times$ 25-35-144 (Уэлси тетраплоидный $\times$ Папировка тетраплоидная)], а также у иммунных к парше диплоидных форм 31-35-58

(Юбилей Москвы × Краса Свердловска) и ЭЛС 31-15-126 [23-16-96 (сеянец 814 свободного опыления) × Гулливер] выявлена устойчивость камбия, коры и древесины (жизненно важных тканей) на уровне контроля при воздействии этой температуры после закалики.

Моделирование трехдневной искусственной оттепели (2 °C) с последующим снижением температуры до –25 и –30 °C показало, что у всех изученных форм повреждения коры и древесины носили обратимый характер и не превышали 2.0 балла. Высокий уровень устойчивости коры, древесины и камбия к резкому перепаду температуры после оттепелей зимой (повреждение на уровне Антоновки обыкновенной) выявлен у иммунных триплоидных форм 31-2-130 и ЭЛС 31-36-149 (компонент III).

Большинство изученных форм обладали способностью восстанавливать морозостойкое состояние тканей при понижении температуры до –30 °C после оттепели и повторной закалики (компонент IV). О высокой способности восстанавливать устойчивость тканей к понижению температуры до –35 °C при повторной закалике после оттепели (3 °C) сообщали Н.И. Савельев (1998), а также у иммунных отечественных сортов – В.А. Трунова и С.В. Резвякова (1993), Н.И. Савельев с коллегами (2009).

Анализ результатов искусственного промораживания отборных и элитных форм показал, что при искусственном промораживании побегов основным было повреждение вегетативных почек и древесины как в раннезимний период, так и при резком снижении температуры в середине зимы. При низких отрицательных температурах в зимний период повреждение древесины является основным лимитирующим фактором устойчивости. Для коры и камбия характерен более высокий уровень устойчивости, что согласуется со многими исследованиями (Соловьева, 1967; Тюрина, 2000; Савельев и др., 2010). Камбий при заданных температурах был более устойчив (отмечены обратимые повреждения до 2.0 балла) у всех гибридных форм при снижении температуры до –38 °C и –40 °C (компонент II), а также до –30 °C после оттепелей (компонент III). Даже при температуре –42 °C в середине зимы повреждение камбия менее 2.0 балла отмечено у всех диплоидных форм и у ряда триплоидов. Порог устойчивости для изученных гибридных форм – понижение температуры в середине зимы после закалики до –40 °C.

Выводы

1. В результате трехлетнего изучения морозостойкости гибридных форм яблони методом моделирования повреждающих факторов выявлены различия по устойчивости к неблагоприятным условиям (по компонентам I–IV) и выделены генотипы с высоким потенциалом морозостойкости: – иммунные к парше триплоидные формы ЭЛС 31-2-15, ЭЛС 31-2-115, 31-2-130 (Афродита × 13-6-106) и ЭЛС 31-36-149 [Веньяминовское × 25-35-144 (Уэлси тетраплоидный × Папировка тетраплоидная)]; – иммунные к парше диплоиды 31-35-58 (Юбилей Москвы × Краса Свердловска) и ЭЛС 31-15-126 [23-16-96 (сеянец 814 от свободного опыления) × Гулливер].

Эти генотипы проявили устойчивость жизненно важных тканей к раннезимним морозам; морозам в середине зимы (–38 ÷ –40 °C) и после оттепелей и сохранили спо-

собность восстанавливать устойчивость при повторной закалике после оттепелей с обратимыми повреждениями не более 2.0 балла.

2. По устойчивости на уровне Антоновки обыкновенной вегетативных почек и тканей к раннезимним морозам (компонент I) и морозам в середине зимы при понижении температуры до –40 °C (компонент II) выделилась иммунная диплоидная форма 18-64-52 (сеянец 814 от свободного опыления).

3. У триплоида 29-22-64 [18-53-22 (Скрыжапель × OR18T13) × Уэлси тетраплоидный] выявлена высокая устойчивость коры к морозу –38 °C в середине зимы (компонент II).

4. Устойчив к раннезимним морозам и морозам до –25 °C после оттепелей (компонент III) диплоид 31-16-12 [(23-16-96 (814 – от свободного опыления) × Гулливер)].

5. Высокую устойчивость древесины к морозам в период оттепелей (компонент III) показали гибридные формы 31-35-58 (Юбилей Москвы × Краса Свердловска) и 30-32-88 (Прима × Джаент спай). Самая высокая способность сохранять зимостойкое состояние тканей (коры, древесины, камбия) во время мороза после оттепели выявлена у триплоидов 31-2-130 и ЭЛС 31-36-149 (компонент III).

6. Все изученные генотипы проявили способность восстанавливать морозостойкое состояние после оттепели и повторной закалики (компонент IV).

7. При всех режимах промораживания наиболее уязвимы были почки побегов. Повреждения камбия у изученных генотипов при всех режимах промораживания были на уровне Антоновки обыкновенной, кроме триплоидных форм ЭЛС 26-44-94 [11-24-28 (сеянец Голден Грайма от свободного опыления) × Уэлси тетраплоидный], ЭЛС 30-30-114 [23-20-74 (сеянец 814 от свободного опыления) × Джаент спай] и 30-32-88 (Прима × Джаент спай) при температуре –42 °C.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Alojzy C., Grzegorz H., Malgorzata H., Dorota K. Susceptibility of one-year-old shoots of scab-resistant apple cultivars to low temperatures in laboratory tests during four winters (1999/2000–2002/2003). *Folia Hortic.* 2004;61-72.
- Arora R., Rowland L.J. Physiological research on winter-hardiness: deacclimation resistance, reacclimation ability, photoprotection strategies and a cold acclimation protocol design. *Hort. Sci.* 2011;46(8): 1070-1078.
- Brierly W.G. The winter hardiness complex in deciduous woody plants. *Proc. Am. Soc. Hort.* 1947(50):10-16.
- Cline J.A., Neilsen D., Neilsen G., Brownlee R., Norton D., Quamme H. Cold hardiness of new apple cultivars of commercial importance in Canada. *J. Am. Pomol. Soc.* 2002;66(4):174-182.
- Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta* [Technique of field experiments]. Moscow, Kolos Publ., 1973;202-271. (in Russian)
- Khanizadeh S., Brodeur C., Granger R., Buszard D. Factors associated with winter injury to apple trees. *Acta Horticulturae*. 2000;514:179-192.
- Kichina V.V. *Selektsiya plodovykh i yagodykh kultur na vysokiy uroven' zimostoykosti* [Fruit and berry breeding for high level of winter hardiness]. Moscow, 1999. (in Russian)
- Krasova N.G., Ozherelieva Z.E., Golyshkina L.V., Makarkina M.A., Galasheva A.M. *Zimostoykost' sortov yabloni* [Winter hardiness of apple cultivars]. Orel, 2014. (in Russian)

- Linden L. Measuring cold hardiness in woody plants. University of Helsinki, Department of Applied Biology, Publ. No. 10. Helsinki, 2002.
- Ozherelieva Z.E., Krasova N.G., Galasheva A.M. The resistance potential of apple cultivars in winter. *Vestnik OrelGAU = OrelSAU Newsletter*. 2011;3:35-39. (in Russian)
- Ozherelieva Z.E., Krasova N.G., Galasheva A.M. Apple frost resistance in the middle of winter. *Contemporary Horticulture*. 2013;1:1-4. Available at: <http://journal.vniispk.ru/pdf/2013/1/1.pdf>. (in Russian)
- Quamme H., Cannon A., Neilsen D., Caprio J., Taylor W. The potential impact of climate change on the occurrence of winter freeze events in six fruit crops grown in the Okanagan Valley. *J. Plant Sci.* 2010;90:8593-8596.
- Savel'ev N.I. *Geneticheskie osnovy selektsii yabloni* [Genetic principles of apple breeding]. Michurinsk, 1998. (in Russian)
- Savel'ev N.I., Savelieva N.N., Yushkov A.N. *Perspektivnye immunnye k parshe sorta yabloni* [Promising scab immune apple cultivars]. Michurinsk – Naukograd RF, 2009. (in Russian)
- Savel'ev N.I., Yushkov A.N., Savelieva N.N., Zemisov A.S., Chivilev V.V., Kirillov R.E., Akimov M.Yu., Gladysheva M.B., Kruzhev An.V. *Geneticheskiy potentsial ustoychivosti plodovykh kul'tur k abioticheskim stressoram* [The genetic potential of fruit crop resistance to abiotic stressors]. Michurinsk – Naukograd RF, 2010. (in Russian)
- Sedov E.N. *Selektsiya i novye sorta yabloni* [Apple breeding and new varieties]. Orel, 2011. (in Russian)
- Sedov E.N., Krasova N.G. Winter hardiness of apple cultivars. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2010;2:20-23. (in Russian)
- Sedov E.N., Sedysheva G.A., Makarkina M.A., Serova Z.M., Korneyeva S.A. *Prioritetnye napravleniya v selektsii yabloni* [Frontiers in apple breeding]. *Selektsiya i sortorazvedenie sadovykh kul'tur*. Innovatsionnye priemy v selektsii i sovershenstvovanie sortimenta plodovykh i yagodnykh kul'tur [Breeding and Variety Propagation of Orchard Crops: Innovational methods in breeding and fruit and berry assortment improvement]. Orel, 2014;1:3-28. (in Russian)
- Sedov E.N., Serova Z.M., Krasova N.G., Sedysheva G.A. *New triploid apple variety 'Pamyat' Semakinu'*. *Sadovodstvo i vinogradarstvo = Horticulture and Viticulture*. 1995;2:13-14. (in Russian)
- Solov'eva M.A. *Zimostoykost' plodovykh kul'tur pri razlichnykh usloviyakh vyrashchivaniya* [Winter hardiness of fruit crops in different conditions of growing]. Moscow: Kolos Publ., 1967. (in Russian)
- Stushnoff C. Breeding for cold hardiness. *Horticulture*. 1973;51(10):10-31.
- Trunova V.A., Rezviakova S.V. *Komponenty zimostoykosti ustoychivyykh k parshe sortov i gibridov yabloni* [Winter hardiness components of scab resistant apple cultivars and hybrids]. *Selektsiya i sortorazvedenie sadovykh kul'tur* [Breeding and Variety Propagation of Orchard Crops]. Orel, 1993;64-72. (in Russian)
- Tyurina M.M. *Kompleksnaya otsenka rasteniy na zimostoykost'*. *Metody otsenki ustoychivosti rasteniy k neblagopriyatnym usloviyam sredy* [Integrated assessment of winter hardiness in plants. Methods of the assessment of plant resistance to adverse environmental conditions]. Moscow, 1976;171-183. (in Russian)
- Tyurina M.M. *Mekhanizm adaptatsii k povrezhdayushchim faktoram kholodnogo vremeni goda u plodovykh i yagodnykh kul'tur* [A mechanism of fruit and berry crop adaptation to damaging factors of the cold season]. *Biologicheskiy potentsial sadovykh rasteniy i puti ego realizatsii: Mater. mezhdunar. konf. (19–22 iyulya 1999 g., Moskva)* [Proc. Intern. Conf. "The biological potential of orchard plants and ways of its fulfilment" (July 19–22, 1999, Moscow)]. Moscow, 2000;15-24. (in Russian)
- Tyurina M.M., Gogoleva G.A. *Vliyanie iskusstvennykh ottepeley na morozostoykost' plodovykh rasteniy v svyazi s sostoyaniem pokoya* [Artificial thaw influence on frost resistance in fruit plants in connection with their dormancy]. *Doklady sovetskikh uchenykh k XVII mezhdunarodnomu kongressu po sadovodstvu* [Reports of Soviet scientists. XVII Intern. Congress on Horticulture]. Moscow, 1966;297-306. (in Russian)
- Tyurina M.M., Gogoleva G.A. *Uskorennyaya otsenka zimostoykosti plodovykh i yagodnykh rasteniy* [Fast winter hardiness assessment in fruit and berry plants: Guidelines]. Moscow, 1978. (in Russian)
- Tyurina M.M., Gogoleva G.A., Yefimova N.V., Goloulina L.K., Morozova N.G., Echedy J.J., Volkov F.A., Arsentieva A.P., Matyash N.A. *Opreделение ustoychivosti plodovykh i yagodnykh kul'tur k stressoram kholodnogo vremeni goda v polevykh i kontroliruemyykh usloviyakh* [The determination of fruit and berry crop resistance to stressors of the cold season in the field and under controlled conditions]. Moscow, 2002. (in Russian)
- Weiser C.J. Cold resistance and injury in woody plants. *Science*. 1970;169(3952):1269-1277.