

УСТОЙЧИВОСТЬ ГЕНОТИПОВ ПЕРЦА СЛАДКОГО К АБИОТИЧЕСКИМ ФАКТОРАМ СРЕДЫ В УСЛОВИЯХ МАЛООБЪЕМНОЙ ГИДРОПОНИКИ*

О.Н. ПЫШНАЯ, М.И. МАМЕДОВ, Е.С. БЕЛАВКИН, Е.Г. КОЗАРЬ,
Е.А. ДЖОС, А.А. МАТЮКИНА

Современный селекционный процесс предусматривает создание сортов и гибридов с учетом их реакции на воздействие внешних факторов и технологию выращивания, что обеспечивает максимальный выход товарной продукции и высокую рентабельность овощеводства. Предбридинговая селекция должна базироваться на анализе воздействия того или иного абиотического фактора на урожайность и товарность конкретного образца в определенных условиях выращивания. В защищенном грунте перец сладкий (*Capsicum annuum* L.) культивируют традиционным способом на тепличных грунтах и на малообъемных почвенных или искусственных субстратах с капельным поливом. Основные преимущества малообъемной технологии — экономия затрат труда и субстрата, улучшение фитосанитарных условий, повышение культуры производства. В настоящей работе мы изучили реакцию различных генотипов перца сладкого на изменение основных абиотических факторов с целью создания исходного материала для получения конкурентоспособных сортов и гибридов в условиях малообъемной технологии. Исследования проводили в 2008–2014 годах во Всероссийском НИИ селекции и семеноводства овощных культур (Московская обл.). В качестве материала использовали сорта, селекционные и коллекционные образцы перца сладкого. Стандартом служил гибрид F₁ Раиса. Опытные растения выращивали на субстрате, который включал верховой сфагновый торф с добавлением известковых материалов и минеральных удобрений. Концентрация питательного раствора при поливе семян соответствовала рекомендованным нормам. В производственных отсеках теплицы условия выращивания были частично контролируемы. Регистрацию основных параметров внешней среды проводили непрерывно в течение всего периода вегетации с помощью автоматизированного комплекса климат-контроля KISTOCK KH-100 (Франция). Температуру почвы измеряли лабораторными ртутными термометрами. Описание и оценку образцов по урожайности плодов проводили по системе UPOV (Union Internationale pour la protection des obtentions végétales, Франция). Установлено, что самые неблагоприятные условия по сочетанию внешних факторов складывались в начале (февраль–май) и конце (сентябрь–ноябрь) вегетации, независимо от года исследований, что приводило к снижению товарности урожая. Нетоварная часть при этом состояла из нестандартных (с израстаниями, деформациями, искривлениями, пухляки и т.д.) и больных плодов, в основном пораженных вершинной гнилью. Образцы перца по реакции на неблагоприятные факторы среды были разделены на восприимчивые, слабовосприимчивые и устойчивые, наиболее типичными представителями, которых оказались соответственно образцы Агаповский, Элиза и Желтый букет. Снижение товарности у восприимчивого сорта Агаповский в условиях малообъемной гидропоники относительно устойчивого сорта Желтый букет в среднем составляло 40 %. Наиболее важными факторами, определяющими получение стандартной продукции перца сладкого, оказались среднесуточная температура, разница (перепады) дневных и ночных температур, относительная влажность воздуха и их сочетание. Изменение интенсивности освещения оказывало менее значимое влияние на товарность и выступало как дополнительный негативный фактор в сочетании с другими параметрами среды у сортов с низкой адаптивной способностью. Зависимость между величиной нестандартной части урожая, поражением плодов вершинной гнилью и различными параметрами микроклимата была сортоспецифична. Так, у восприимчивых и слабовосприимчивых сортов появление нестандартных плодов в первую очередь было обусловлено пониженной влажностью воздуха (при r от $-0,65$ до $-0,72$), тогда как в группе устойчивых образцов — высокими значениями перепада дневных и ночных температур воздуха ($r > 0,70$). В отношении вершинной гнили плодов характер и количество значимых корреляционных связей имели более выраженную сортовую специфику. Но у всех образцов вершинную гниль провоцировали резкие перепады температуры, причем сопряженность этого фактора с появлением гнили оказалась положительной и более тесной у восприимчивых образцов ($r = 0,65-0,75$). Таким образом, при создании сортов и гибридов перца сладкого в условиях малообъемной технологии в первую очередь необходимо отбирать исходный материал с широкой нормой реакции на температурный фактор и высокой устойчивостью к пониженной влажности воздуха.

* Работа выполнялась при поддержке гранта Министерства образования и науки РФ (ГК № 16.M04.11.0004 от 19 апреля 2011 года).

Ключевые слова: перец сладкий *Capsicum annuum* L., адаптивность, температура, влажность, факторы среды, товарность, урожайность, товарность, вершинная гниль, норма реакции, селекция.

В защищенном грунте перец сладкий (*Capsicum annuum* L.) культивируют как традиционным способом на тепличных грунтах, так и на малообъемных почвенных или искусственных субстратах с капельным поливом. Применение малообъемной технологии выращивания овощей повышает коэффициент использования вносимых удобрений, увеличивает урожай и препятствует загрязнению окружающей среды. Основные преимущества технологии — экономия затрат труда и субстрата, улучшение фитосанитарных условий, повышение культуры производства (1, 2). Однако выращивание сортов перца, предназначенных для других технологий, в условиях малообъемной гидропоники часто приводит к увеличению нетоварной части урожая, особенно в неблагоприятных условиях ранневесеннего и осенне-зимнего периодов (3).

Культура перца чувствительна даже к незначительным изменениям факторов внешней среды (4, 5). Так, при резком снижении ночных температур плодобразование происходит недостаточно быстро, пестик и пыльники растут вместе с плодом, образуя израстания или плоды неправильной формы. С увеличением перепада температур более чем на 10 °С снижение урожайности может достигать 1 кг/м² (6, 7). Чрезмерно высокая температура (35 °С и выше) приводит к общему угнетению растений, вызывает удлинение столбика пестика, опадение цветков и завязей, особенно на фоне недостаточной влажности воздуха и почвы (8-10). Оптимум температуры почвы для перца сладкого находится в пределах 20-25 °С. Ее снижение до 18 °С стимулирует обильное цветение, но плоды оказываются деформированными, уплощенными, нетоварными. Более низкие температуры (15 °С) приводят к замедлению вегетативного роста и переходу к репродуктивной стадии развития, усиливают сбрасывание цветков и молодых плодов, повышают риск появления корневых гнилей (11, 12).

Низкая освещенность значительно удлиняет все этапы органогенеза перца, задерживает переход в репродуктивный период, вызывает опадание бутонов и завязей. Сбрасывание цветков и плодов связано со снижением интенсивности фотосинтеза и образования фотоассимилятов, а также с нарушением их распределения внутри растения (5, 11, 13).

Пасленовые культуры также требовательны к влажности почвы и воздуха. В период формирования репродуктивных органов влажность грунта следует поддерживать в диапазоне 60-70 % ППВ до начала плодоношения и 80 % в период плодоношения. Недостаточная влажность воздуха тормозит рост листовой массы, вызывает опадение цветков и молодых завязей. Благоприятной для растений перца считается относительная влажность воздуха не менее 70-80 %. При очень высокой влажности воздуха или переувлажнении грунта активность ростовых процессов снижается (14-16).

Капельный полив при малообъемной технологии выращивания растений предполагает использование высоких концентраций солей, в результате чего субстрат постепенно засоляется, повышается осмотическое давление, возникает эффект «физиологической засухи», что вызывает появление вершинной гнили (ВГ) на плодах, особенно на фоне повышенных температур и при высокой плодонагрузке на растение (16-19). Это физиологическое заболевание связано с изменением обменных процессов в результате нарушения водного режима и транспирационных потоков, когда растение в фазе созревания плодов испытывает дефицит влаги, особенно в сочетании с периодами усиленной транспирации, или потеря воды через

листья происходит более активно, чем ее поглощение корнями. Дефицит кальция также усиливает проявление симптомов ВГ, хотя недостаток этого элемента в почве не всегда становится прямой причиной возникновения ВГ (20-22).

Создаваемые сорта и гибриды должны сочетать в себе желаемую комбинацию хозяйственно ценных признаков с высокой устойчивостью к биотическим и абиотическим стрессам. Устойчивость растений — это генетически контролируемый признак, который характеризуется нормой реакции генотипа на воздействие неблагоприятных факторов. В оптимальных условиях он скрыт и реализуется, когда растение оказывается под влиянием экстремального фактора.

В результате многолетних исследований мы впервые выявили сочетание наиболее значимых факторов, влияющее на получение товарной продукции перца сладкого в условиях малообъемной технологии. Кроме того, нами был получен линейный материал с широкой нормой реакции, который может быть использован для создания перспективных высокоадаптированных форм этой культуры.

Целью нашей работы было изучение реакции различных генотипов перца сладкого на изменение основных абиотических факторов и создание исходного материала для получения конкурентоспособных сортов и гибридов в условиях малообъемной технологии.

Методика. Работа была проведена в 2008-2014 годах во Всероссийском НИИ селекции и семеноводства овощных культур (ВНИИССОК), на базе современного тепличного комплекса фирмы «Richel Group» (Франция). В качестве материала для исследований использовали сорта, селекционные и коллекционные образцы перца сладкого из генофонда ВНИИССОК, стандартом служил гибрид F₁ Раиса (оригинатор — селекционная фирма «Enza Zaden», Нидерланды). Опытные растения перца сладкого выращивали на субстрате Професионал (Россия), который включал верховой сфагновый торф с добавлением известковых материалов и минеральных удобрений. Образцы высаживали по 20-30 растений без повторений, через каждые 10 образцов размещали стандарт.

Концентрация питательного раствора при поливе кассет с сеянцами, горшков с рассадой и матов соответствовала рекомендованным нормам для пасленовых культур (23-25). Подачу питательного раствора в маты с субстратом осуществляли через капельницы. За сутки до установки растений субстрат увлажняли питательным раствором с электропроводностью (ЕС) 2,3-2,5 мСм. В течение сезона ЕС раствора при высокой освещенности составлял 3,5-4,0 мСм, в пасмурные дни его повышали до 4,0-4,5 мСм. Растения выращивали с подвязкой на шпалеру, формируя в два стебля.

В рассадном отделении теплицы (январь-февраль) поддерживался оптимальный температурный и световой режим в зависимости от фазы развития растений (12, 24, 25). В производственных отсеках условия выращивания были частично контролируемы вследствие отсутствия автономного отопления теплицы, кондиционеров и дополнительного освещения. Регистрацию основных параметров внешней среды в производственных отсеках проводили непрерывно в течение всего периода вегетации с помощью автоматизированного комплекса климат-контроля KISTOCK КН-100 (Франция); температуру почвы измеряли лабораторными ртутными термометрами.

Оценку образцов по урожайности плодов проводили по системе UPOV (Union Internationale pour la protection des obtentions végétales, Франция) на основе полного анализа структуры урожая: товарная (стан-

дартная) и нетоварная (нестандартные и большие плоды) часть. Кроме того, осуществляли учет фенологических фаз развития всех репродуктивных органов растений в динамике с одновременной регистрацией основных параметров среды.

Математическую и статистическую обработку полученных результатов проводили по соответствующим методикам (26) с помощью пакета прикладных программ Microsoft Excel 2003.

Результаты. Многолетние наблюдения позволили выявить особенности изменения основных параметров среды при выращивании перца сладкого по малообъемной технологии в условиях отсутствия строгого контроля за микроклиматом в производственных теплицах.

Среднеголетние значения дневных и ночных температур в течение вегетации в целом не выходили за пределы благоприятного диапазона для культуры перца сладкого. Дневная температура воздуха составляла 21-28 °С, ночная — 16-18 °С, за исключением двух месяцев (февраль и сентябрь), когда ночная температура была в среднем на 1-3 °С ниже оптимума (рис. 1, А).

Однако усредненные величины среднесуточной температуры воздуха в пределах каждого месяца вегетации (см. рис. 1, Б) чаще не соответствовали оптимальным значениям (+21 ...+23 °С). Это можно объяснить существенными флуктуациями температуры и, соответственно, широким варьированием перепадов между дневными и ночными температурами — от 1 до 17 °С (см. рис. 1, А, В).

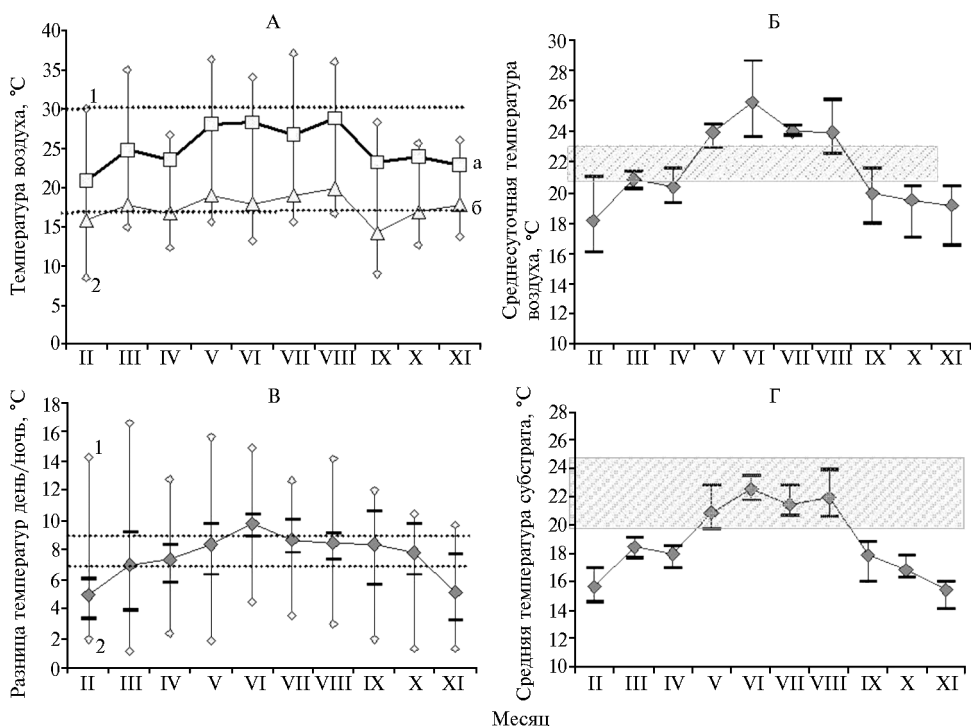


Рис. 1. Температурные параметры воздуха и субстрата в теплице в разные месяцы при выращивании перца сладкого (*Capsicum annuum* L.) по малообъемной технологии: А — дневная (а) и ночная (б) температура воздуха, Б — среднесуточная температура воздуха, В — перепад температур (день/ночь), Г — средняя температура субстрата; II-XI — соответственно февраль-ноябрь (Московская обл., 2008-2012 годы). На всех диаграммах представлены среднеголетние значения и диапазон отклонений средних по годам; на диаграммах А и В — верхняя (1) и нижняя (2) границы ежедневных флуктуаций. Пунктирными линиями и заштрихованными областями обозначены оптимальные зоны параметров для культуры перца сладкого (24, 25).

По многолетним данным более благоприятная среднесуточная температура воздуха складывалась в марте и апреле, тогда как в феврале и осенние месяцы она чаще всего была ниже, а в летний период — выше оптимума в среднем на 1-5 °С. Средняя температура субстрата в летние месяцы была благоприятна для развития растений перца сладкого и составляла +20...+24 °С, тогда как весной и осенью она опускалась существенно ниже оптимальных значений (см. рис. 1, Г). Понижение температуры в прикорневой зоне (< 16 °С), особенно весной, сдерживало вегетативное развитие и усиливало сбрасывание цветков и завязей. Однако слишком высокие температуры субстрата (> 25 °С), которые были зарегистрированы, например, в августе 2007 и июне 2008 года, также приводили к плохому завязыванию плодов и появлению ВГ.

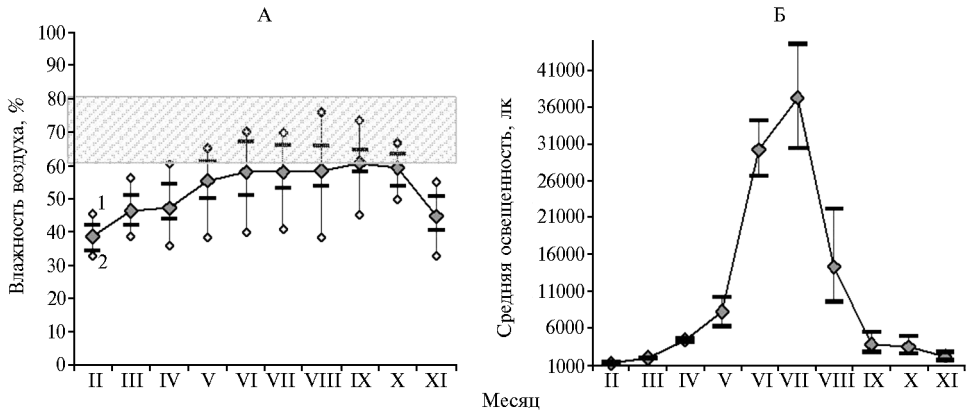


Рис. 2. Влажность воздуха (А) и интенсивность освещения (Б) в теплице в разные месяцы при выращивании перца сладкого (*Capsicum annuum* L.) по малообъемной технологии: II–XI — соответственно февраль–ноябрь (Московская обл., 2008–2012 годы). На диаграммах представлены среднееголетние значения и диапазон отклонений средних по годам; на диаграмме А — верхняя (1) и нижняя (2) границы ежедневных флуктуаций. Заштрихованная область — оптимальная зона параметров для культуры перца сладкого (24, 25).

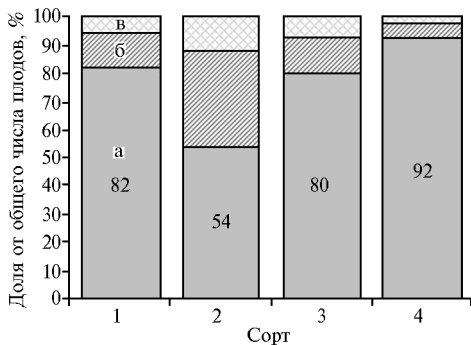


Рис. 3. Структура урожая у сортов перца сладкого (*Capsicum annuum* L.) из разных групп устойчивости к условиям малообъемной технологии: 1 — F₁ Раиса (стандарт), 2 — Агаповский (восприимчивый), 3 — Элиза (слабовосприимчивый), 4 — Желтый букет (устойчивый); а — товарная часть урожая, б — нестандартная часть, в — плоды с вершинной гнилью (Московская обл., 2008–2012 годы).

Еще одной отличительной чертой малообъемной технологии выращивания была пониженная влажность воздуха в теплицах (рис. 2, А). Ее среднееголетние показатели оказывались существенно ниже оптимальных значений на протяжении почти всего вегетационного периода (< 60 %) и только в отдельные годы находились в требуемых пределах (62–70 %), причем преимущественно в летние месяцы с максимальным размахом флуктуации в августе (от 38 до 76 %).

Световой режим в разные месяцы изменялся в соответствии с зональными особенностями Московской области (см. рис. 2, Б). Наиболее высокая интенсивность светового потока отмечалась в июне и июле

при значительном варьировании средних значений этого параметра в от-

дельные годы (от 24 тыс. до 45 тыс. лк).

Таким образом, самые неблагоприятные условия по сочетанию внешних факторов складывались в начале (февраль-май) и конце (сентябрь-ноябрь) вегетации, независимо от года исследований, что приводило к снижению товарности урожая. Нетоварная часть при этом состояла из нестандартных (с израстаниями, деформациями, искривлениями, пуфики и пр.) и больших плодов, в основном пораженных ВГ.

При создании исходного материала для селекции важно знать зависимости между величиной нестандартной части урожая, поражением плодов вершинной гнилью и параметрами микроклимата для разных образцов. Изучение структуры урожая позволило выделить несколько групп генотипов в зависимости от реакции на неблагоприятные факторы среды (7): восприимчивые, слабовосприимчивые и устойчивые, наиболее типичными представителями которых были соответственно образцы Агаповский, Элиза и Желтый букет (рис. 3). Снижение товарности у восприимчивого сорта Агаповский относительно устойчивого сорта Желтый букет в среднем составляло 40 %. На примере этих образцов было наглядно показано, что они предъявляют разные требования к условиям внешней среды, в особенности к температурному режиму и влажности воздуха (рис. 4).

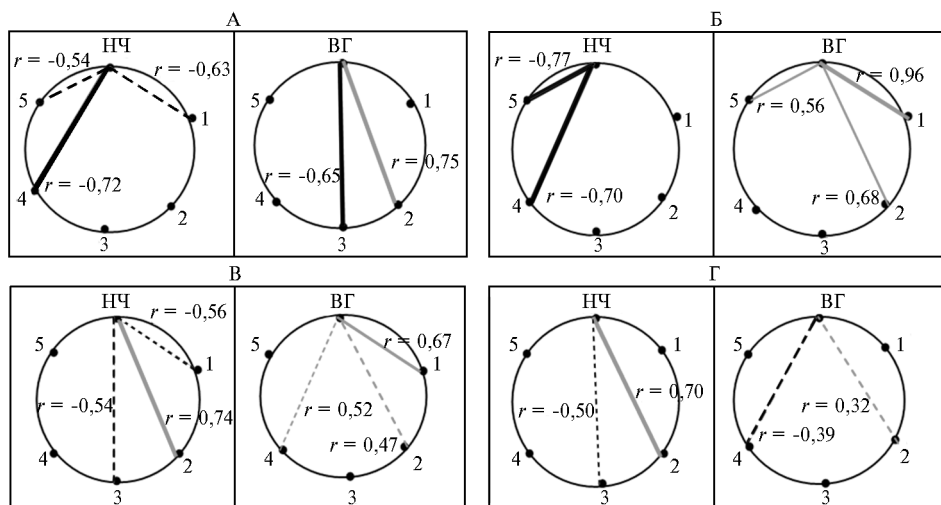


Рис. 4. Корреляционные связи между долей плодов, относящихся к нестандартной части урожая (НЧ), а также пораженных вершинной гнилью (ВГ), и факторами внешней среды у сортов перца сладкого (*Capsicum annuum* L.) Агаповский (восприимчивый, А), Элиза (слабовосприимчивый, Б), Желтый букет (устойчивый, В), F₁ Раиса (стандарт, Г) при выращивании по малообъемной технологии: 1 — среднесуточная температура воздуха, °С, 2 — разница температур воздуха день/ночь, °С, 3 — температура субстрата, °С, 4 — относительная влажность воздуха, %, 5 — освещенность, лк (средние значения за месяц вегетации) (Московская обл., 2008–2012 годы). Серым цветом обозначена положительная, черным — отрицательная корреляционная связь; толщина линии — степень сопряженности признаков.

Нестандартная часть урожая у сорта Агаповский, которая была представлена в основном плодами с израстаниями, в большей степени определялась низкой влажностью воздуха, особенно на фоне пониженных среднесуточных ночных температур и слабой освещенности. Нестандартная часть урожая у сорта Элиза за счет возникновения пуфиков также в основном формировалось на фоне пониженной влажности воздуха и освещенности (см. рис. 4). Появление нестандартной части урожая у сорта Желтый букет и гибрида F₁ Раиса в основном определял температурный режим выращивания, особенно перепад между дневными и ночными температурами. При этом у сорта Желтый букет оказалось более выражено

влияние средней температуры воздуха (см. рис. 4).

Иные закономерности отмечались при поражении плодов вершинной гнилью. У всех образцов появление ВГ провоцировали резкие перепады температуры, причем влияние этого фактора оказалось более выраженным у восприимчивой группы образцов. Влажность воздуха в меньшей степени влияла на поражение ВГ, причем характер этой взаимосвязи был сортоспецифичным. Кроме этого, у сорта Агаповский к увеличению поражения плодов ВГ приводила низкая температура субстрата, у сорта Желтый букет — повышение средней температуры воздуха, у сорта Элиза — повышенная температура воздуха на фоне высокой освещенности (см. рис. 4).

Небольшое число тесных корреляционных взаимосвязей между появлением нетоварной части урожая и параметрами внешней среды оказалось обусловлено сложным характером реакции сортов перца сладкого на изменение изученных факторов.

Было установлено, что реакцию образцов на изменение внешних факторов можно оценить, сопоставляя товарность на определенную дату сбора плодов и средние величины изучаемых параметров среды за межфазный период «цветение—биологическая спелость плодов». Продолжительность этого периода в среднем составляла 60 сут, но для каждого образца должна уточняться индивидуально. Построение кривых зависимости выхода нестандартных или больных ВГ плодов от изучаемых факторов позволило выявить причины снижения товарности, а также определить норму реакции генотипа на каждый из них. Это наглядно представлено на примере изменения структуры урожая (доля товарных, нестандартных и пораженных ВГ плодов) в зависимости от влажности и средней температуры воздуха. Выявленные взаимосвязи носили нелинейный характер и имели вид полиномиальных кривых третьего и четвертого порядков (рис. 5).

Полученные результаты свидетельствуют о существенных различиях в норме реакции сортов перца сладкого из разных групп восприимчивости на основные параметры внешней среды. Мы смогли определить оптимальный диапазон, обеспечивающий высокую товарность плодов в условиях малообъемной гидропоники.

Для гибрида F₁ Раиса (стандарт) при выращивании в защищенном грунте Нечерноземной зоны оптимальными условиями были температура воздуха 22,5–27,5 °С и влажность 54–58 %. Снижение или повышение температуры приводило к увеличению нестандартной части урожая, а в сочетании с высокой влажностью воздуха — к появлению плодов, пораженных вершинной гнилью. Другим определяющим фактором была разница дневных и ночных температур, оптимальные значения которых находились в пределах от 5,7 до 9,5 °С. Наиболее негативное действие в этом случае оказывал значительный перепад температур (более 10 °С).

В целом по восприимчивости к действию внешних факторов выбранный стандарт занимал промежуточное положение между устойчивой и слабовосприимчивой группой образцов. Так, у сорта Желтый букет (устойчивая группа) отмечали более широкую норму реакции на изменение большинства изученных параметров. Оптимум по влажности находился в пределах 52–70 %, для средней температуры воздуха он составлял 21–29 °С при разнице дневных и ночных температур от 5 до 10,5 °С. Этим объясняется высокая урожайность и товарность сорта Желтый букет на протяжении всего периода вегетации.

У представителей слабо- и сильновосприимчивой групп (сорта Агаповский и Элиза) оптимальные условия, обеспечивающие наиболее высокую товарность, находились в более узких пределах: влажность возду-

ха — не менее 62 % для сорта Агаповский и 65 % для сорта Элиза, оптимум среднесуточных температур — соответственно 24,5-27,5 и 23-27 °С в диапазоне ее перепадов от 9 до 10,5 °С. Низкая адаптивность этих сортов к условиям малообъемной технологии, по-видимому, связана с их селекцией для выращивания в пленочных теплицах, для которых характерны более высокая влажность и резкие колебания температурных режимов.

В результате многолетних исследований нами был создан гетерозисный гибрид перца сладкого F₁ Мила с широкой нормой реакции, способный завязывать плоды при воздействии различных эдафических факторов. Гибрид характеризуется высокой урожайностью (в среднем 25 кг/м²), товарностью (более 95 %) и качеством плодов.

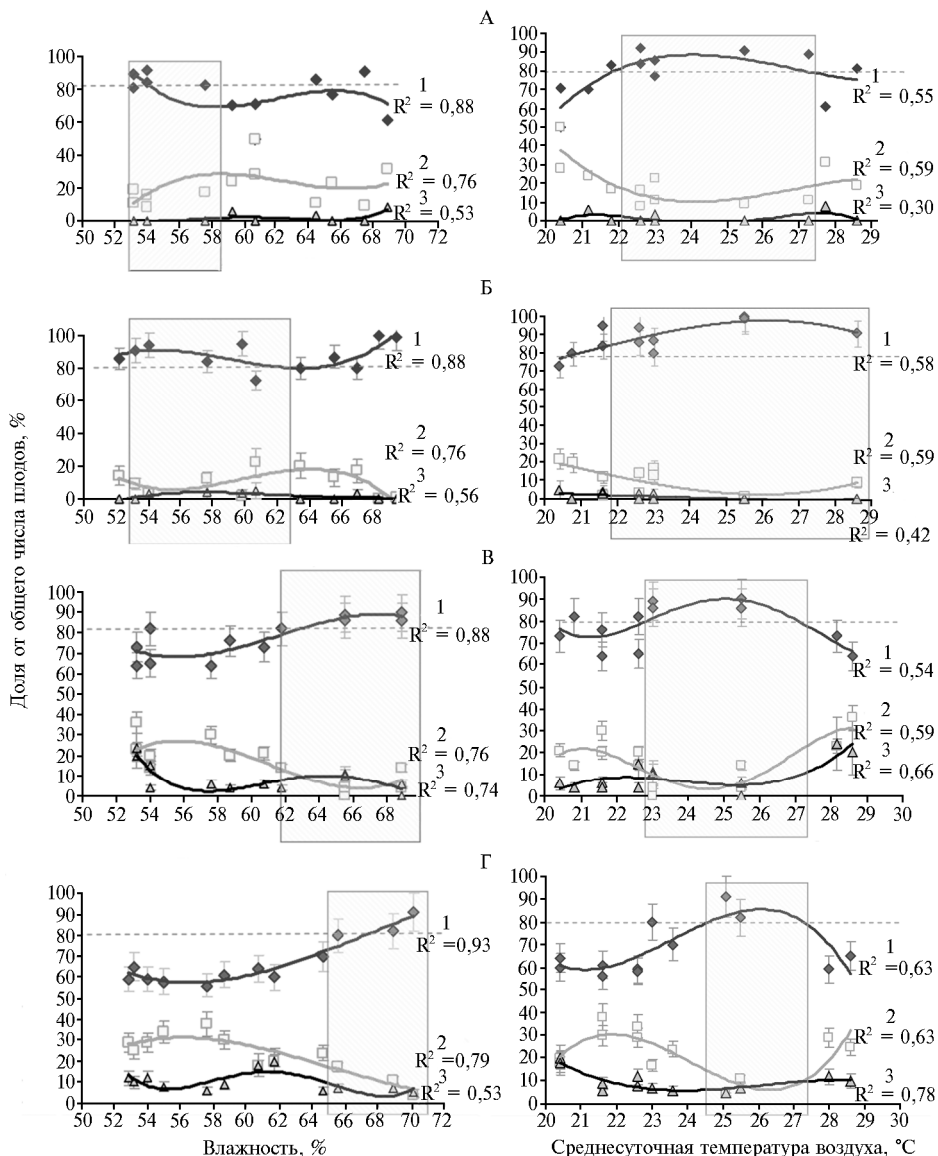


Рис. 5. Структура урожая у сортов перца сладкого (*Capsicum annuum* L.) F₁ Раиса (стандарт, А), Желтый Букет (устойчивый, Б), Элиза (слабовосприимчивый, В), Агаповский (восприимчивый, Г) в зависимости от влажности и среднесуточной температуры воздуха (слева) и среднесуточной температуры воздуха (справа) в теплице при выращивании по малообъемной технологии: 1 — товарность плодов, 2 — нестандартная часть урожая, 3 — пораженность вершинной гнилью (Московская обл., 2008-2014 годы). Штриховкой отмечен диапазон оптимальных значений внешних параметров для сортов.

Итак, среднесуточная температура, разница дневных и ночных температур, относительная влажность воздуха и их сочетание — важные факторы, влияющие на получение стандартной продукции перца сладкого в условиях малообъемной технологии. Интенсивность освещения оказывает менее значимое влияние на снижение товарности и может выступать как дополнительный негативный фактор в сочетании с другими параметрами среды у сортов с низкой адаптивной способностью. Поэтому при создании сортов и гибридов перца сладкого для условий малообъемной технологии в первую очередь необходимо отбирать исходный материал с широкой нормой реакции на температурный фактор и с высокой устойчивостью к пониженной влажности воздуха. Важным критерием оценки адаптивности отдельных генотипов и селекционных образцов на предбридинговом этапе селекции служит показатель товарности. На основании многолетней оценки и отборов (2008-2014 годы) мы получили линейный материал перца сладкого с широкой нормой реакции, который был вовлечен в гибридизацию для создания перспективных гетерозисных гибридов и новых высоко адаптированных форм с сочетанием необходимых признаков для выращивания в условиях малообъемной гидропоники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tognoni F., Serra G. Trends in process technologies and products. *Acta Horticulturae*, 2003, 614: 65-75 (doi: 10.17660/ActaHortic.2003.614.7).
2. Король В.Г. Выращивание овощных и цветочных культур методом гидропоники в экосистеме защищенного грунта. Гавриш, 2009, 1: 44-45.
3. Кривошеева Н.П., Енгальчева И.А., Митрофанова О.А. Выращивание перца сладкого и баклажана в условиях малообъемной технологии с оценкой устойчивости к биотическим факторам. *Картофель и овощи*, 2007, 2: 26.
4. Ou L.J., Zou X.X. The photosynthetic stress responses of five pepper species are consistent with their genetic variability. *Photosynthetica*, 2012, 50(1): 49-55 (doi: 10.1007/s11099-012-0008-8).
5. Cho Y.Y., Lee Y.-B., Oh M.-M., Son J.E. Application of quadratic models for establishment of adequate temperature ranges in germination of various hot pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivars. *Research Report Protected Horticulture. Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 2012, 53(3): 222-227 (doi: 10.1007/s13580-012-0039-x).
6. Bakker J.C. The effects of temperature on flowering, fruit set and fruit development of glasshouse sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *J. Horticultural Science*, 1989, 64: 313-320.
7. Pressman E., Shaked R., Firon N. Exposing pepper plants to high day temperatures prevents the adverse low night temperature symptoms. *Physiologia Plantarum*, 2006, 126: 618-626 (doi: 10.1111/j.1399-3054.2006.00623.x).
8. De Swart E.A.M. Potential for breeding sweet pepper adapted to cooler growing conditions — a physiological and genetic analysis of growth traits in *Capsicum*. Wageningen, 2007.
9. De Swart E.A.M., Marcelis L.F.M., Voorrips, R.E. Variation in relative growth rate and growth traits in wild and cultivated *Capsicum* accessions grown under different temperatures. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 2006, 81: 1029-1037.
10. Kafizadeh N., Carapetian J., Kalantari K.M. Effects of heat stress on pollen viability and pollen tube growth in pepper. *Research Journal of Biological Sciences*, 2008, 3(10): 1159-1162.
11. Tiwari A. Parthenocarpic fruit development in *Capsicum annuum*. Thesis. Wageningen University, Wageningen, the Netherlands, 2011.
12. Белогубова Е.Н., Васильев А.М., Гиль Л.С., Пашковский А.И. Современное овощеводство закрытого и открытого грунта. М., 2007.
13. Улько О.О. Совершенствование элементов технологии выращивания перца сладкого в зимних теплицах в условиях 3-й световой зоны. Автореф. канд. дис. М., 2005.
14. Aloni B., Daie J., Karni L. Water relations, photosynthesis and assimilate partitioning in leaves of pepper (*Capsicum annuum*) transplants: effect of water-stress after transplanting. *J. Horticultural Science*, 1991, 66: 75-80.
15. Yao C., Moreshet S., Aloni D., Karni L. Effects of water stress and climatic factors on the diurnal fluctuations in diameter of bell pepper fruit. *Journal Horticultural Science and Biotechnology*, 2000, 75: 6-11.
16. Старых Г.А., Каюмов М.К. Водный режим перца сладкого при выращивании в

- защищенном грунте. Гавриш, 2005, 5: 18.
17. Игнатова С.И., Скорубская О.И. Определен коэффициент стрессоустойчивости томата. Картофель и овощи, 2009, 10: 26-27.
 18. Гришечкина Л.Д. Проблемы защиты овощных культур от болезней в теплицах. Защита и карантин растений, 2011, 2: 16-18.
 19. Navarro J.M., Garrido C., Martínez V., Carvajal M. Water relations and xylem transport of nutrients in pepper plants grown under two different salts stress regimes. Plant Growth Regulation, 2003, 41(3): 237-245 (doi: 10.1023/B:GROW.0000007515.72795.c5).
 20. Холодецки М.С. Состояние теплиц в России. Мир теплиц, 2009, 3: 23.
 21. Ронен Й.А. Вершинная гниль плодов томата и перца — причины поражения и профилактика. Гавриш, 2006, 6: 29-33.
 22. Tadesse T., Nichols M.A., Hewett E.W., Fisher K.J. Relative humidity around the fruit influences the mineral composition and incidence of blossom-end rot in sweet pepper fruit. Journal Horticultural Science and Biotechnology, 2001, 76(1): 9-16.
 23. Ронен Й.А. Важные аспекты контроля питания при культивировании растений без почвы. Гавриш, 2006, 3: 14-17.
 24. Albright L.D. Controlling greenhouse environments. Acta Horticulturae, 2002, 578: 47-54 (doi: 10.17660/ActaHortic.2002.578.4).
 25. Тепличный практикум. Перцы и баклажаны (дайджест журнала «Мир теплиц») /Сост. А.Д. Цыдендамбаев. М., 2012.
 26. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М., 1985.

ФГБНУ Всероссийский НИИ селекции и семеноводства овощных культур,
143080 Россия, Московская обл., Одинцовский р-н,
пос. ВНИИССОК, ул. Селекционная, 14,
e-mail: vniissok@mail.ru, pishnaya_o@mail.ru

*Поступила в редакцию
14 июля 2015 года*

Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology], 2016, V. 51, № 1, pp. 100-110

RESISTANCE OF SWEET PEPPER GENOTYPES TO ABIOTIC STRESSES IN GRPWING CONDITIONS OF LOW-CAPACITY HYDROPONICS

O.N. Pyshnaya, M.I. Mamedov, E.G. Belavkin, E.G. Kozar', E.A. Dzhos, A.A. Matyukina

All-Russian Research Institute for Vegetable Breeding and Seed Production, Federal Agency of Scientific Organizations, 14, ul. Selektionnaya, pos. VNISSOK, Odintsovo Region, Moscow Province, 143080 Russia, e-mail vniissok@mail.ru, pishnaya_o@mail.ru

Acknowledgements:

Supported by grant of Ministry of Education and Science of the Russian Federation (State Contract № 16.M04.11.0004 of April 19, 2011)

Received July 14, 2015

doi: 10.15389/agrobiology.2016.1.100eng

Abstract

The modern trend of vegetable crop breeding is a development of new cultivars and hybrids resistant to abiotic and biotic stresses and suitable for fully mechanized agriculture. It can provide the maximal commercial output and high profitability of vegetable growing. Pre-breeding is based on knowledge of impact of various abiotic factors on the yield and productivity of certain genotype in specific growing conditions. Traditionally the pepper plants are cultivated in greenhouses on low-volume soil or artificial medium with drop irrigation. Main advantage of low-volume technologies is a labor saving and improved phytosanitary conditions. In the present paper, the response of different sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes to various abiotic factors has been studied aiming at development of initial breeding material for new varieties and hybrids under the hydroponic system conditions. The investigation has been conducted in 2008-2014 in the All-Russian Research Institute for vegetable breeding and seed production (Moscow Province). The breeding and collection samples of sweet pepper as well as F₁ hybrid Raisa (standard) were used in the present study. Plants were grown in a greenhouse on sphagnum peat mixed with calcified substance as a potting substrate and mineral fertilizers. The concentration of nutrient solution for irrigation of seedlings conforms to the recommended standard. The growth conditions were partially controlled. The parameters of outside environment were recorded during growing period using an automated climate control system KISTOCK KH-100 (France). The soil temperature was also controlled. Yield sample characteristics and assessment were done by UPOV system (Union Internationale pour la protection des obtentions végétales, France). The most adverse factors were recorded in the beginning (February-May) and the end (September-October) of growing season regardless of year of investigation, that resulted in decreasing marketability of the yield. The unmarketable part of yield was represented by fruits with excessive growth, deformation, and affected by blossom-end rot. Long-term screening of pepper genotypes on responsiveness to

unfavorable factors of environment allowed to divide the cultivars into the following groups: susceptible (cv. Agapovskii), low-susceptible (cv. Elisa), and tolerant (cv. Zheltiyi buket). At hydroponics, productivity of the susceptible cultivar Agapovskiy was decreased up to 40 % as compared with the tolerant cultivar Zheltiyi buket. It was shown that adaptability of sweet pepper varieties to the conditions of low-capacity hydroponics is defined by the norm of reaction to changes of environmental factors such as daily temperature, difference of night and day temperatures, humidity, and its combinations. Changes of the light intensity is not so crucial for cultivars productivity; it may have negative impact on varieties with low adaptability when combined with other environment parameters. The correlation between the rate of non-standard part of yield, the damage of fruits caused by blossom-end rot, and the microclimate parameters differed among the varieties. Development of non-standard fruits in the susceptible and the low-susceptible cultivars is due to low humidity (at r value ranged from -0.65 to -0.72), while in the tolerant cultivars it depends on a big difference between the day and night temperatures (at $r > +0.70$). Damage of fruits caused by blossom-end rot is more genotype dependent. In all genotype, it is promoted by huge temperature changes, being stronger related to this factor in the susceptible genotypes at $r = 0.65-0.75$. For development of new pepper varieties and hybrids suitable for low-capacity hydroponics, the initial breeding material with high norm of reaction to temperature and high resistance to low humidity must be selected.

Keywords: sweet pepper (*Capsicum annuum* L.), adaptivity, temperature, humidity, environmental factors, yield, productivity, blossom end rot, norm of reaction, breeding.

Книги издательства «Беларуская навука»:

Генетические основы селекции растений. В 4 т. Т. 3. Биотехнология в селекции растений. Клеточная инженерия / Науч. ред. А.В. Кильчевский, Л.В. Хотылева. Минск: изд-во «Беларус. навука», 2012, 489 с. (ISBN 978-985-08-1392-3)

Настоящий коллективный труд, подготовленный учеными Белорусского общества генетиков и селекционеров, выходит с 2008 года и посвящен обобщению опыта применения генетических методов в совершенствовании частной селекции растений. В третьем томе отражены результаты исследований по генетике морфогенеза *in vitro* у таких культур, как пшеница, томат, лен, ячмень и тритикале. Генетические исследования явления гаплоидии представлены работами по пшенице, томату, тритикале, картофелю, сахарной свекле. Освещены вопросы соматической гибридизации и селекции *in vitro* у картофеля. Отдельная глава представлена анализом данных по размножению *in vitro* плодовых и ягодных культур. Рассматривается использование методов гаметной селекции у самоопылителей — томата и люпина. Значительное место отведено результатам работы по клональному микроразмножению растений. В отдельной главе отражены результаты использования биотехнологических методов у лесных культур. Монография рассчитана на научных работников в области генетики и селекции растений, преподавателей и студентов, специалистов сельского хозяйства.

Аверина Н.Г., Яронская Е.Б. Биосинтез тетрапирролов в растениях. Минск: изд-во «Беларус. навука», 2012, 413 с. (ISBN 978-985-08-1396-1)

Книга охватывает широкий круг вопросов, связанных с биосинтезом и деградацией хлорофилла и гема, описанием участвующих в этих процессах ферментов, их кристаллической структуры, механизмов катализируемых ими реакций, субклеточной локализации, структурной организации и регуляции активности. Особое внимание уделено ключевым реакциям — образованию 5-аминолевулиновой кислоты (АЛК) и включению атома магния в молекулу протопорфирина IX, а также участию продуктов биосинтеза хлорофилла в коммуникации между пластидой и ядром. На основании собственных экспериментальных данных представлена концепция о независимом функционировании систем синтеза хлорофилла и гема в хлоропласте. Большое внимание уделено практическим аспектам — использованию систем биосинтеза тетрапирролов в качестве мишеней для фотодинамических гербицидов, АЛК как стимулятора роста и развития растений и агента, формирующего устойчивость растений к абиотическим факторам внешней среды, а также созданию мутантов и трансгенных растений с модифицированной системой биосинтеза хлорофилла, представляющих собой значительный потенциал для сельского хозяйства. Адресуется ученым, занимающимся проблемами биосинтеза хлорофилла, фотосинтетикам, биохимикам, биофизикам, генетикам, молекулярным биологам и студентам соответствующих специальностей.

Кухарчик Н.В. Вирусные и фитоплазменные болезни плодовых и ягодных культур в Беларуси. Минск: изд-во «Беларус. навука», 2012, 209 с. (ISBN 978-985-08-1433-3)

В монографии обобщены результаты исследований вирусных заболеваний плодовых и ягодных культур в Беларуси. Представлены данные о вирусных и фитоплазменных заболеваниях наиболее распространенных плодовых и ягодных культур и о способах их диагностики. Изложены материалы об элиминации вирусов в культуре *in vitro*, а также способы получения, сохранения и размножения свободных от вирусов растений. Предназначена для специалистов сельского хозяйства, преподавателей и студентов вузов.