



DOI: 10.26898/0370-8799-2018-2-11

УДК 631.11 «321»+633.16 «321»

ПРОБЛЕМА СОПРЯЖЕННОЙ СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА В СИБИРИ

Т.А. ГУРОВА, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией,
Г.М. ОСИПОВА, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник

*Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН
630501, Россия, Новосибирская область, р.п. Краснообск
e-mail: guro-tamara@yandex.ru, osip@ngs.ru*

На основе литературных данных проанализировано состояние проблемы сопряженной (комбинированной) стрессоустойчивости растений при изменении климата в Сибири. Отмечено, что по результатам исследований Росгидромета Российской Федерации и мониторинга климата Всемирной метеорологической организации региональные изменения климата в России более существенны, чем в других регионах мира и имеют ярко выраженный характер. Последствия изменения климата оказывают наиболее существенное влияние именно на сельское хозяйство, которое в значительной степени зависит от погодных и климатических условий. В растениеводстве к числу адаптационных мер можно отнести повышение стрессоустойчивости растений за счет изменения видового состава возделываемых растений, новых сортов, технологий, средств защиты и других мер. Показано, что в связи с изменением климата возникает необходимость разработки регионально-ландшафтных комплексных программ, моделирование совместного действия стрессоров в лабораторных условиях с учетом повышения стресс-толерантности в полевых условиях. Рассмотрены наиболее интенсивные по повреждающему действию на продуктивность сельскохозяйственных культур комбинации стрессоров. Различные комбинации стрессоров требуют от организма растений новых типов ответных реакций, которые реализуются на молекулярном, клеточном и организменном уровне. Акцентируется внимание на необходимости использования инновационных подходов, учитывающих информацию о микробном сообществе того или иного места обитания (метагеномные технологии), использование современных молекулярно-биологических методов, основанных на применении транскриптомного, метаболомного, протеомного анализа растений.

Ключевые слова: растениеводство, изменение климата, Сибирь, сопряженная стрессоустойчивость растений, моделирование.

По оценкам регулярного мониторинга климата Всемирной метеорологической организацией сделан вывод об изменении климата на планете [1]. Согласно результатам исследований Научно-исследовательских учреждений Росгидромета Российской Федерации (РФ) с учетом данных за 2016 г. среднегодовая температура на территории РФ растет более чем в 2,5 раза быстрее глобальной, со скоростью 0,45 °C за 10 лет, и особенно быстро в полярной области. Годовая сумма осадков на территории РФ уве-

личивается на 2,1% за 10 лет [2]. Причем, в последние десятилетия региональные изменения климата в России более существенны, чем в других регионах мира и имеют ярко выраженный характер. Отклонения от средних за 1961–1990 гг. годовых температур приземного воздуха в 2012 году в Западной Сибири в летний период было наиболее высоким среди других регионов (2,81 °C, вероятность 100%). В Европейской части РФ – 1,64 °C и 89,5% соответственно. В Западной Сибири к середине XXI в. прогнозируется

повышение среднегодовой температуры воздуха на 3–4 °С, на севере Европейской части России на 2–3 °С [3]. Современный 30-летний климатический период Западной Сибири отличается от предыдущих более высоким энергетическим уровнем (температурами воздуха). Согласно выполненным прогнозам на 2021–2030 гг. рост температуры, а значит и испарения не приведет к ожидаемому снижению стока воды даже в южных районах недостаточного увлажнения. В то же время влажность почвы в летний период согласно расчетам уменьшится [4]. К сожалению, при более долгосрочных прогнозах погоды их точность существенно снижается. Тем не менее, урожайность некоторых сельскохозяйственных культур при росте средней температуры на 1–3 °С в средней полосе может несколько повыситься, а других снизиться, что приведет к удорожанию сельскохозяйственной продукции. В жарких странах любое повышение температур сразу приведет к снижению продуктивности культур и усугубит опасность появления голода [5, 6]. В настоящее время пока достоверно невозможно доказать, какие именно глобальные трансформации нам ожидать, но в последние двадцать лет аномальные явления в виде засухи, наводнений, ураганов случаются все чаще. Некоторые исследователи предполагают, что происходит смена климатической эпохи с зональной на меридиональную. Так, если в предыдущую эпоху (зональную) широкие полосы циклонов шли с запада на восток – в Сибирь через Европу, то сейчас погода «перемещается» вдоль меридианов – с одного полюса на другой [7].

Климатические изменения, которые наблюдаются в последние десятилетия, могут угрожать стабильности производства продуктов питания для человека и основных кормов для животных. Увеличение частоты и интенсивности экстремальных явлений, таких как наводнения и засухи будут оказывать воздействие на продовольственную безопасность, в частности, на производство сельскохозяйственных культур. Последствия изменения климата оказывают

наиболее существенное влияние именно на сельское хозяйство, которое в значительной степени зависит от погодных и климатических условий. Большое разнообразие почвенно-климатических условий России, и в частности в Сибири, предполагает и создание разных программ адаптации сельского хозяйства к изменениям климата, которые при этом должны быть комплексными и системными. В силу большого разнообразия почвенно-климатических условий РФ программы адаптации сельского хозяйства должны носить регионально-ландшафтный характер, оставаясь комплексными и системными [3].

В растениеводстве к числу адаптационных мер можно отнести повышение стрессоустойчивости растений за счет изменения видового состава возделываемых растений, новых сортов, технологий, средств защиты и других мер. Ганс Селье, который впервые разработал теорию стресса на животных объектах, определил стресс как совокупность стереотипных филогенетически запрограммированных реакций организма, которые вызываются любыми сильными, сверхсильными, экстремальными воздействиями и сопровождаются перестройкой адаптивных сил организма [8, 9].

Растения, по сравнению с животными организмами, вследствие своего «сидячего» образа жизни непрерывно подвергаются широкому ряду воздействий окружающей их среды. При переносе фаз триады Селье на растения первую стадию называют первичной индуктивной стрессовой реакцией. Вторая фаза – фаза адаптации и третья – истощение ресурсов надежности. Если повреждающее действие стрессора превосходит защитные возможности организма, то происходит его гибель. В этом случае можно говорить об экстремальном факторе [10–12].

В последние годы большой интерес вызывают стрессовые реакции, связанные с сопряженной («перекрестной», комбинированной) устойчивостью или кросс-адаптацией растений. Было установлено, что реакция растений на воздействие двух или

более стрессоров является уникальной и не может быть экстраполирована на реакцию растений к отдельному стрессору. При этом сопряжение может быть как положительным, так и отрицательным. Одновременное действие различных стрессоров приводит к высокой степени сложности ответных реакций растений, так как они контролируются различными, а иногда и противоположными сигнальными путями, которые могут или взаимодействовать, или ингибировать друг друга [13, 14]. Так, кратковременная тепловая обработка растений хлопчатника сопровождается повышением их устойчивости к последующему засолению. Адаптация растений к засолению приводит к повышению их термотолерантности [15]. Предварительный тепловой шок на том же объекте стимулирует способность растений адаптироваться к последующей засухе и, наоборот, в процессе засухи повышается устойчивость организма к высокой температуре [16]. Обработка ультрафиолетовым средневолновым излучением (УФ-В) способствует адаптации растений базилика к действию хлоридного засоления [17]. Кратковременный тепловой шок повышает адаптацию растений картофеля к хлоридному засолению и водному дефициту. При этом устойчивые к засолению генотипы обладают более выраженной способностью противостоять прогрессирующей почвенной засухе [18]. В то время как выращивание растений в условиях теплового стресса увеличивает их чувствительность к засухе [19], отрицательные температуры понижают устойчивость растений ячменя к действию *Bipolaris sorokiniana* Shoem. [20]. Наибольшее отрицательное влияние на растения мятлика установлено при совместном действии хлорида натрия и засухи [21]. Солевой стресс увеличивает восприимчивость растений томата к патогену *Solanum habrochaites* [22]. На арабидопсис губительно действует сочетание соли и теплового стресса, также как засухи и теплового стресса [14]. Кроме того, установлена сортоспецифичность пшеницы при совместном действии патогена *Bipolaris sorokiniana* Shoem. и хлоридно-

го засоления – от усиления до компенсации отрицательного влияния стрессоров [23].

В ответных реакциях растений на повреждающие факторы выделяют элементы специфической и неспецифической устойчивости. Однако до сих пор нет единой точки зрения о том, носит ли комплекс адаптивных реакций, протекающих в растении при воздействии неблагоприятных факторов, неспецифический характер [14]. Появление сопряженной устойчивости или кросс-адаптации (процесс повышения устойчивости организма к конкретному фактору в результате адаптации к фактору иной природы) является серьезным аргументом в пользу неспецифического (универсального, общего) характера защитных реакций организма. Функционирование общих систем устойчивости позволяет растению избегать огромных энергетических затрат, связанных с необходимостью формирования специализированных механизмов адаптации в ответ на действие стрессоров [24, 25]. Для формирования неспецифических элементов устойчивости (синтез белков теплового шока, полиаминов, моносахаридов, антиоксидантов и пр.) требуется меньше времени, чем для прохождения специфических адаптивных реакций (синтез белков-антифризов, переключение фотосинтеза на САМ-путь и др.). Специфическая реакция на действие экстремальных факторов контролируется генетическими механизмами через работу белоксинтезирующего аппарата. В основе неспецифической реакции лежит физиологическая пластичность (изменение структуры и активности клеточных белков, пластичность мембранных компонентов, генерация активных форм кислорода и пр.). Системы восстановления работают на разных уровнях биологической организации – молекулярном, клеточном, организменном, популяционном и биоценоотическом [26–28].

Способность видов, популяций и сортов растений переносить неблагоприятные факторы среды различная. В связи с этим выявление наиболее стресс-толерантных для конкретных почвенно-климатических условий видов и сортов сельскохозяйствен-

ных культур в условиях изменения климата является важной задачей на современном этапе. Под толерантностью сельскохозяйственных культур можно понимать способность популяций и сортов растений переносить неблагоприятное влияние того или иного фактора среды без резкого снижения урожайности и потери способности к размножению [29, 30].

Текущие и прогнозируемые изменения климата объединяют комплекс стрессоров, влияющих на рост, развитие и урожайность растений и ежегодные потери от воздействия стрессоров оцениваются в мире в миллиарды долларов. Многочисленные исследования влияния стрессоров на растения проводятся в основном в лабораторных условиях. Несмотря на большую производительность, стабильность и четкую моделируемость лабораторных опытов, условия в пределах любого конкретного поля отличаются от контролируемых условий в лаборатории. Обычно в лабораторных условиях применяют одновременное воздействие на растения одного абиотического и одного биотического стрессора. Абиотический стрессор, как правило, объединяют с какой-либо патогенной инфекцией [31]. В результате изменения климата может измениться взаимодействие с сорняками, насекомыми, патогенами, такими как вирусы, бактерии, нематоды и грибы. Из-за сложности имитации полевых условий интенсивность и продолжительность стресса могут отличаться в лабораторных опытах от полевых. Кроме того, прогнозируемые климатические модели точно не отражают изменение климата на уровне конкретных участков земель и полей [14, 30, 32].

Для решения этой проблемы разрабатывается ряд подходов, которые включают не только изменение видового состава возделываемых растений, новых сортов, технологий, средств защиты, но и выбор комбинации конкретных стрессоров для изучения в лабораторных условиях. При сочетании различных стрессоров исследователи ставят задачу определения конкретных молекулярных путей, которые смогли бы обеспечить

стрессоустойчивость растений в полевых условиях. Выделены наиболее интенсивные по повреждающему действию на продуктивность сельскохозяйственных культур комбинации стрессоров. Они включают: засуха – жара; озон (O_3) – засоленность; O_3 – жара; питательный стресс – засуха; питательный стресс – засоленность; питательный стресс – высокий уровень углекислого газа (CO_2); УФ-В – жара; свет высокой интенсивности в сочетании с жарой, засухой или заморозками. В последние годы к ним добавлен ряд других комбинаций стрессоров. К ним относят засуху и заморозки, засуху и засоленность, тяжелые металлы в сочетании с засухой, УФ-В с различными видами тяжелых металлов (Cd, Zn) и засуху, сопряженную с уплотнением почвы [14, 33–37]. По мнению исследователей, большинство из указанных взаимодействий стрессоров могут быть связаны с вредителями и патогенами [38]. В некоторых исследованиях установлено, что воздействие специфическими абиотическими стрессорами повышает устойчивость растений к биотическим стрессам [39–43]. Однако в большинстве случаев пролонгированная экспозиция растений к абиотическим стрессам, таким как засуха, экстремальная температура, питательный стресс или засоленность приводят к ослаблению иммунитета растений и повышенной чувствительности к биотическим стрессам [20, 22, 23, 44–46]. Кроме того, недавние исследования показали, что в некоторых комбинациях биотических и абиотических стрессоров растения уделяют приоритетное внимание реагированию на один из индивидуальных стрессоров, участвующих в комбинации [47, 48]. Эти противоречивые результаты свидетельствуют о том, что положительное или отрицательное воздействие определенной комбинации стрессоров может определяться конкретным генотипом растения, сорта, вида или сроками и интенсивностью стрессов.

Большинство из изученных на сегодняшний день комбинаций стрессоров оказывают негативное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур в полевых усло-

виях и это связано с большей чувствительностью к стрессам репродуктивных тканей по сравнению с вегетативными органами. В связи с этим приоритетной задачей является изучение реакции генеративных органов на стрессорные комбинации [49]. Ключевую роль в повышении толерантности растений к комбинации стрессоров играют механизмы антиоксидантной защиты и карбоновый метаболизм [37, 50–52]. С помощью транскриптомного, метаболомного и протеомного анализов были выявлены различные сигнальные пути, которые активируются конкретными комбинациями стрессоров. Они включают различные факторы транскрипции, защитные реакции, сигналы гормонов и синтез осмолитов [53–57]. Реакция растений на комбинации различных стрессоров, вероятно, может координироваться этими различными путями и сигналами. Наши знания о молекулярных, биохимических и биофизических механизмах реакции растений на комбинации различных стрессов еще недостаточны и необходимы исследования в этом направлении [58–60]. В настоящее время проводятся интенсивные исследования, связанные с анализом микробиомов – сообществом микроорганизмов, живущих в конкретной экологической нише. Оптимизация питания растений, устойчивость к абиотическим стрессам и защита от фитопатогенов связаны с гормональной регуляцией микробами статуса растения [61]. Внимание ученых в последнее время привлекают ассоциации растений с полезными микроорганизмами, и в частности с эндофитными бактериями, которые способны колонизировать внутренние ткани растения, не вызывая его заболеваний и не оказывая отрицательного влияния на развитие. Бактериальные эндофиты колонизируют те же самые экологические ниши, что и фитопатогенные микроорганизмы и рассматриваются как перспективный агент биоконтроля фитопатогенов и повышения устойчивости растений к абиотическим стрессорам [62, 63].

Таким образом, в связи с изменением климата возникает необходимость разра-

ботки регионально-ландшафтных комплексных программ, моделирование совместного действия стрессоров в лабораторных условиях с учетом повышения стресс-толерантности в полевых условиях. Несмотря на то, что наиболее быстрая адаптация и микроэволюция происходят на популяционном уровне, остается много неизвестного для этого процесса [64]. Различные комбинации стрессоров требуют от организма растений новых типов ответных реакций, которые реализуются на разных уровнях биологической организации: молекулярном, клеточном и организменном уровне. Для дальнейших исследований необходимы инновационные подходы, учитывающие информацию о микробном сообществе того или иного места обитания (метагеномные технологии), использование современных молекулярно-биологических методов, основанных на применении транскриптомного, метаболомного и протеомного анализа растений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **World Meteorological Organization.** – WMO, 2017. – № 1189 – [Электронный ресурс]: <http://www.wmo.int/pages/themes/WMO/climatechange/en.html>
2. **Доклад** об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2016 год. – М.: Росгидромет, 2017. – 70 с.
3. **Стратегический** прогноз изменений климата Российской Федерации на период до 2010-2015 гг. и их влияния на отрасли экономики России. – М.: Росгидромет, 2005. – 28 с.
4. **Парамонов В.В., Земцев В.А., Копысов С.Г.** Климат Западной Сибири в фазу замедления потепления (1986–2015 гг.) и прогнозирование гидроклиматических ресурсов на 2021–2030 гг. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг ресурсов. – 2017. – Т. 328, № 1. – С. 62–74.
5. **Приручить** погоду. Глобальное потепление наносит урон аграриям // Агротехника и технология. – 2017. – № 5. – [Электронный ресурс]: <http://www.agroinvestor.ru/regions/article/28577-nebesnye-syurprizy/>
6. **Кокорин А.О.** Изменение климата: обзор Пятого оценочного доклада МГЭИК. – М.:

- Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2014. – 80 с.
7. **Изменение** климата Сибири. – [Электронный ресурс]: <http://3rm.info/interesnoe/58094-izmenenie-klimata-sibiri.html>
 8. **Ганс Селье.** Очерки об адаптационном синдроме. – М.: МЕДГИЗ, 1960. – 253 с.
 9. **Селье Г.** На уровне целого организма. – М.: Наука, 1972. – 122 с.
 10. **Веселова Т.В., Веселовский В.А., Чернавский Д.С.** Стресс у растений (биофизический подход). – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. – 144 с.
 11. **Пятыгин С.С.** Стресс у растений: физиологический подход // Журн. общей биологии. – 2008. – Т. 69, № 4. – С. 294–298.
 12. **Растение и стресс** (курс лекций). – ГОУ ВПО «Уральский ГУ». – Екатеринбург, 2008. – 40 с.
 13. **Генкель П.А.** О сопряженной и конвергентной устойчивости растений // Физиология растений. – 1979. – Т. 26, вып. 5. – С. 921–929.
 14. **Suzuki N., Rivero R.M., Shulaev V., Blumwald E., Mittler R.** Abiotic and biotic stress combinations // New Phytologist. – 2014. – Vol. 203, N 1. – P. 32–43.
 15. **Kuznetsov V.I., Rakitin V.Yu., Borisova N.N., Rotschupkin B.V.** Why does heat shock increase salt resistance in cotton plants? // Plant Physiol. Biochem. – 1993. – Vol. 31, N 2. – P. 181–188.
 16. **Kuznetsov V.I., Rakitin V.Yu., Zholkevich V.N.** Effects of preliminary heatshock treatment on accumulation of osmolytes and drought resistance in cotton plants during water deficiency // Physiologia Plantarum. – 1999. – Vol. 107, N 4. – P. 399–406.
 17. **Тоайма В.И., Радюкина Н.Л., Дмитриева Г.А., Кузнецов В.В.** Участие антиоксидантной защитной системы базилика в кросс-адаптации при комплексном действии УФ-В и засоления // Вестник РУДН, серия Агрономия и животноводство. – 2010. – № 3. – С. 34–40.
 18. **Норкулов Н.Х., Давлятназарова З.Б., Шукурова М.Х., Ашуров С.Х., Файзиева С.А., Алиев К.А.** Влияние теплового шока и последующей почвенной засухи на активность окислительных систем растений картофеля // Известия академии наук Республики Таджикистан, отделение биологических и медицинских наук. – 2014. – № 4 (188). – С. 29–35.
 19. **Yongbo Wu, Bo Ye.** Effects of combined elevated temperature and drought stress on anti-oxidative enzyme activities and reactive oxygen species metabolism of *Broussonetia papyrifera* seedlings // Shengtai xuebao. – 2016. – Vol. 36, N 2. – P. 403–410.
 20. **Ptazek A., Hura K., Zur I., Nimczyk E.** Relationship between frost tolerance and cold-induced resistance of spring barley, meadow fescue and winter oilseed rape to fungal pathogens // J. Agron and Grop Sci. – 2003. – Vol. 189, N 5. – P. 333–340.
 21. **Chang Hong-jun, Qin Yu-qian.** Влияние стрессов NaCl и засухи на качество и флуоресценцию хлорофилла мятлика лугового // Acta Bot.boreali-occidentl. Sin. – 2008. – Т. 28, № 9. – С. 1850–1855.
 22. **Kissoudis C., Chowdhury R., Van Heusden S., Van de Wiel C., Finkers R., Vissler R.G., Bai Y., Van der Linden G.** Combined biotic and abiotic stress resistance in tomato // Euphytica. – 2015. – Vol. 202, N 2. – P. 317–332. DOI 10.1007/s10681-015-1363-x
 23. **Гурова Т.А., Луговская О.С., Свежинцева Е.А.** Влияние совместного действия обыкновенной корневой гнили и хлоридного засоления на проростки сортов пшеницы // Успехи современной науки. – 2017. – Т. 2, № 4. – С. 157–159.
 24. **Кузнецов В.В.** Индуцибельные системы и их роль в адаптации растений к стрессорным факторам: автореф. дис.... д-ра биол. наук в форме научного доклада. – Кишинев. – 1992. – 74 с.
 25. **Карпун Н.Н., Янушевская Э.Б., Михайлова Е.В.** Механизмы формирования неспецифического индуцированного иммунитета у растений при биогенном стрессе // Сельскохозяйственная биология. – 2015. – Т. 50, № 5. – С. 540–549.
 26. **Кузнецов В.В.** Общие системы устойчивости и трансдукция стрессорного сигнала при адаптации растений к абиотическим факторам // Вестн. Нижегородского ун-та. – 2001. – Т. 48, № 5 – С. 65–69.
 27. **Медведев С.С.** Физиология растений: Учебник. – СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2004. – 336 с.
 28. **Kreslavski V.D., Allakhverdiev S.I., Los D.A., Kuznetsov V.V.** Signaling role of reactive oxygen species in plants under stress Signaling

- role of reactive oxygen species in plants under stress // Russian Journal of Plant Physiology. – 2012. – Т. 59, № 2. – С. 141–154.
29. **Kashevarov N.I., Osipova G.M., Tyuryukov A.G., Filippova N.I.** Investigation of the characteristics of smooth brome grass (*Bromopsis inermis* Leys) biological traits for cultivation under extreme environmental conditions // Russian Agricultural Sciences. – 2015. – Vol. 41, № 1. – P. 14–17.
30. **Mittler R., Blumwald E.** Genetic engineering for modern agriculture: challenges and perspectives // The annual Review of Plant Biology. – 2010. – Vol. 61. – P. 443–462.
31. **Методические** положения ранней диагностики устойчивости сортов яровой пшеницы и ячменя к совокупному действию стрессоров / Т.А. Гурова, С.Г. Денисюк, О.С. Луговская, Е.А. Свежинцева, В.В. Минеев; СФНЦА РАН.– Новосибирск: СФНЦА РАН, 2017. – 62 с.
32. **Гурова Т.А., Осипова Г.М.** Инструментальные методы и программно-аппаратные средства при решении проблемы стрессоустойчивости в растениеводстве // Вычислительные технологии. – 2016. – Т. 21, вып. 1. – С. 65–74.
33. **Mittler R.** Abiotic stress, the field environment and stress combination // Trends in Plant Science. – 2006. – Vol. 11. – P. 15–19.
34. **Bandurska H., Niedziela J., Chadzinikolaou T.** Separate and combined responses to water deficit and UV-B radiation // Plant Science. – 2013. – Vol. 213. – P. 98–105.
35. **Cherif J., Mediouni C., Ben Ammar W., Jemal F.** Interactions of zinc and cadmium toxicity in their effects on growth and in antioxidative systems in tomato plants (*Solanum lycopersicum*) // J. of Environmental Sciences (China). – 2011. – Vol. 23. – P. 837–844.
36. **De Silva ND., Cholewa E., Ryser P.** Effects of combined drought and heavy metal stresses on xylem structure and hydraulic conductivity in red maple (*Acer rubrum* L.) // J. of Experimental Botany. – 2012. – Vol. 63. – P. 5957–5966.
37. **Ahmed IM., Dai H., Zheng W., Gao F., Zhang G., Sun D., Wu F.** Genotypic differences in physiological characteristics in the tolerance to drought and salinity combined stress between Tibetan wild and cultivated barley // Plant Physiology and Biochemistry. – 2013. – Vol. 63. – P. 49–60.
38. **Atkinson N.J., Urwin P.E.** The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field // J. of Experimental Botany. – 2012. – Vol. 63. – P. 3523–3543.
39. **Carter AH, Chen XM, Garland-Campbell K., Kidwell K.K.** Identifying QTL or high-temperature adult-plant resistance to stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) in the spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivar 'Louise'. TAG. // Theoretical and Applied Genetics. – 2009. – Vol. 119. – P. 1119–1128.
40. **Bowler C., Fluhr R.** The role of calcium and activated oxygens as signals for controlling cross-tolerance // Trends in Plant Science. – 2000. – Vol. 5. – P. 241–246.
41. **Rouhier N., Jacquot J.P.** Getting sick may help plants overcome abiotic stress // New Phytologist. – 2008. – Vol. 180. – P. 738–741.
42. **Пшибытко Н.Л., Зеневич Л.А., Жаворонкова Н.Б., Лысенко Е.А., Кабашникова Л.Ф.** Засуха как кострессор при фузариозном увядании томатов (*Solanum Lycopersicum*) // Вестник национальной академии наук Беларуси. – 2012. – № 1. – С. 80–84.
43. **Юшкевич Т.И.** Кросс-адаптация и устойчивость проростков сахарной свеклы при действии сверх сильных стрессоров // Современная микология в России. – 2015. – Т. 5. – С. 160.
44. **Anderson JP, Badruzsaufari E, Schenk PM, Manners JM, Desmond OJ, Ehlerl C, Maclean DJ., Ebert PR, Kazan K.** Antagonistic interaction between abscisic acid and jasmonate-ethylene signaling pathways modulates defense gene expression and disease resistance in Arabidopsis // Plant Cell. – 2004. – Vol. 16. – P. 3460–3479.
45. **Amtmann A., Troufflard S., Armengaud P.** The effect of potassium nutrition on pest and disease resistance in plants // Physiologia Plantarum. – 2008. – Vol. 133. – P. 682–691.
46. **Zhu Y., Qian W., Hua J.** Temperature modulates plant defense responses through NB-LRR proteins // PLoS Pathogens. – 2010. – Vol. 6. e100084.
47. **Atkinson NJ, Lilley CJ, Urwin PE.** Identification of genes involved in the response of *Arabidopsis* to simultaneous biotic and abiotic stresses // Plant Physiology. – 2013. – Vol. 162. – P. 2028–2041.
48. **Schenke D., Bottcher C., Scheel D.** Crosstalk between abiotic ultraviolet-B stress and biotic

- (flg22) stress signaling in *Arabidopsis* prevents flavonol accumulation in favor of pathogen defence compound production // Plant, Cell & Environment. – 2011. – Vol. 34. – P. 1849–1864.
49. **Prasad P.V., Pisipati S.R., Momčilović I, Ristic Z.** Independent and combined effects of high temperature and drought stress during grain filling on plant yield and chloroplast EF-Tu expression in spring wheat // Journal of Agronomy and Crop Science. – 2011. – Vol. 197. – P. 430–441.
 50. **Demirevska K., Simova-Stoilova L., Fedina I., Georgieva K., Kunert K.** Response of oryzacystatin I transformed tobacco plants to drought, heat and light stress // Journal of Agronomy and Crop Science. – 2010. – Vol. 196. – P. 90–99.
 51. **Perez-Lopez U., Miranda-Apodaca J., Munoz-Rueda A., Mena-Petite A.** Lettuce production and antioxidant capacity are differentially modified by salt stress and light intensity under ambient and elevated CO₂ // Journal of Plant Physiology. – 2013. – Vol. 170. – P. 1517–1525.
 52. **Sales C.R., Ribeiro R.V., Silveira J.A., Machado E.C., Martins M.O., Lagoa A.M.** Superoxide dismutase and ascorbate peroxidase improve the recovery of photosynthesis in sugarcane plants subjected to water deficit and low substrate temperature // Plant Physiology and Biochemistry. – 2013. – Vol. 73. – P. 326–336.
 53. **Arbona V., Manzi M., Ollas C., Gymez-Cadenas A.** Metabolomics as a tool to investigate abiotic stress tolerance in plants // International Journal of Molecular Sciences – 2013. – ol. 14(3), P. 4885–4911. DOI: 10.3390/ijms14034885
 54. **Bo Peng, Hui Li, Xuan-Xian Eng.** Functional metabolomics: from biomarker discovery to metabolome reprogramming // Protein & Cell. – 2015. – Vol. 6, N 9. – P. 628–637, DOI: ORG/10.1007/s13238-015-0185-x
 55. **Drapal M., Vignolo E.R.F., Rosales R.O.G., Bonierbale M., Mihovilovich E., Fraser P.D.** Identification of metabolites associated with water stress responses in *Solanum tuberosum* L. clones. // Phytochemistry. – 2017. – Vol. 135. – P. 24–33. DOI 10.1016/j.phytochem.2016.12.003
 56. **Пузанский Р.К., Емельянов В.В., Гавриленко Т.А., Шишова М.Ф.** Метабомика — современный подход при изучении адаптации растений картофеля к биотическому и абиотическому стрессу (обзор) // Сельскохозяйственная биология. – 2018. – Т. 53, № 1. – С. 15–28. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.1.15rus
 57. **Sun CX, Li MQ, Gao XX, Liu LN, Wu X.F, Zhou J.H.** Metabolic response of maize plants to multi-factorial abiotic stresses // Plant Biol (Stuttg). – 2016 Jan. – Vol. 18. – Suppl 1. – P. 120–129. DOI 10.1111/plb.12305. Epub 2015 Jan 26
 58. **Koussevitzky S., Suzuki N., Huntington S., Armijo L., Sha W., Cortes D., Shulaev V., Mittler R.** Ascorbate peroxidase 1 plays a key role in the response of *Arabidopsis thaliana* to stress combination // Journal of Biological Chemistry. – 2008. – Vol. 283. – P. 34197–34203.
 59. **Prasch C.M., Sonnewald U.** Simultaneous application of heat, drought, and virus to *Arabidopsis* plants reveals significant shifts in signaling networks // Plant Physiology. – 2013. – Vol. 162. – P. 1849–1866.
 60. **Rasmussen S, Barah P, Suarez-Rodriguez MC, Bressendorff S, Friis P, Costantino P, Bones AM, Nielsen HB, Mundy J.** Transcriptome responses to combinations of stresses in *Arabidopsis* // Plant Physiology. – 2013. – Vol. 161. – P. 1783–1794.
 61. **Тихонович И.А., Иванова Е.А., Першина Е.В., Андронов Е.Е.** Мета геномные технологии выявления генетических ресурсов микроорганизмов // Вестн. РАН. – 2017. – № 4. – С. 31–35.
 62. **Чеботарь В.К., Щербаков А.В., Щербакова Е.Н., Масленникова С.Н., Заплаткин А.Н., Мальфанова Н.В.** Эндофитные бактерии как перспективный биотехнологический ресурс и их разнообразие // Сельскохозяйственная биология. – 2015. – Т. 50, № 5. – С. 648–654.
 63. **Baltruschaft H., Fodor J., Harrach B.D. et al.** Salt tolerance of barley induced by the root endophyte *Piriformospora indica* is associated with a strong increase in antioxidants // New Phytologist. – 2008. – Vol. 180, N 2. – P. 501–510.
 64. **Penuelas J., Sardans J., Estiarte M., Ogaya R., Carnicer J. et al.** Evidence of current impact of climate change on life: a walk from genes to the biosphere // Global Change Biology. – 2013. – Vol. 19, N 8. – P. 2303–2338.

REFERENCES

1. **World Meteorological Organization.** – WMO, 2017. – № 1189 [Elektronnyi resurs]: http://www.wmo.int/pages/themes/WMO_climate-change_en.html
2. **Doklad** ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiiskoi Federatsii za 2016 god. – M.: Rosgidromet, 2017. – 70 s.
3. **Strategicheskii** prognoz izmenenii klimata Rossiiskoi Federatsii na period do 2010-2015 gg. i ikh vliyaniya na otrasli ekonomiki Rossii. – M.: Rosgidromet, 2005. – 28 s.
4. **Paramonov V.V., Zemtsev V.A., Kopysov S.G.** Klimat Zapadnoi Sibiri v fazu zamedleniya potepleniya (1986–2015 gg.) i prognozirovaniye gidroklimaticeskikh resursov na 2021–2030 gg. // *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring resursov.* – 2017. – T. 328, № 1. – S. 62–74.
5. **Priruchit'** pogodu. Global'noe poteplenie nanosit uron agrariyam // *Agrotekhnika i tekhnologiya.* – 2017. – № 5. – [Elektronnyi resurs]: <http://www.agroinvestor.ru/regions/article/28577-nebesnye-syurprizy/>
6. **Kokorin A.O.** Izmenenie klimata: obzor Pyatogo otsenochного doklada MGEIK. – M.: Vsemirnyi fond dikoi prirody (WWF), 2014. – 80 s.
7. **Izmenenie** klimata Sibiri. – [Elektronnyi resurs]: <http://3rm.info/interesnoe/58094-izmenenie-klimata-sibiri.html>
8. **Gans Sel'e.** Ocherki ob adaptatsionnom sindrome. – M.: MEDGIZ, 1960. – 253 s.
9. **Sel'e G.** Na urovne tselogo organizma. – M.: Nauka, 1972. – 122 s.
10. **Veselova T.V., Veselovskii V.A., Chernavskii D.S.** Stress u rastenii (biofizicheskii podkhod). – M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1993. – 144 s.
11. **Pyatygin S.S.** Stress u rastenii: fiziologicheskii podkhod // *Zhurn. Obshchei Biologii.* – 2008. – T. 69, № 4. – S. 294–298.
12. **Rastenie i stress** (kurs lektsii). – GOU VPO «Ural'skii GU». – Ekaterinburg, 2008. – 40 s.
13. **Genkel' P.A.** O sopryazhennoi i konvergentnoi ustoichivosti rastenii // *Fiziologiya rastenii.* – 1979. – T. 26, vyp. 5. – S. 921–929.
14. **Suzuki N., Rivero R.M., Shulaev V., Blumwald E., Mittler R.** Abiotic and biotic stress combinations // *New Phytologist.* – 2014. – Vol. 203, N 1. – P. 32–43.
15. **Kuznetsov V.I., Rakitin V.Yu., Borisova N. N., Rotschchupkin B.V.** Why does heat shock increase salt resistance in cotton plants? // *Plant Physiol. Biochem.* – 1993. – Vol. 31, N 2. – P. 181–188.
16. **Kuznetsov V.I., Rakitin V.Yu., Zholkevich V.N.** Effects of preliminary heatshock treatment on accumulation of osmolytes and drought resistance in cotton plants during water deficiency // *Physiologia Plantarum.* – 1999. – Vol. 107, N 4. – P. 399–406.
17. **Toaima V.I., Radyukina N.L., Dmitrieva G.A., Kuznetsov V.I.** Uchastie antioksidantnoi zashchitnoi sistemy bazilika v kross - adaptatsii pri kompleksnom deistvii UF – V i zasoleniya. // *Vestnik RUDN, seriya Agronomiya i zhivotnovodstvo.* – 2010. – № 3. – S. 34–40.
18. **Norkulov N.Kh., Davlyatnazarova Z.B., Shukurova M.Kh., Ashurov S.Kh., Faizieva S.A., Aliev K.A.** Vliyanie teplovogo shoka i posleduyushchei pochvennoi zasukhi na aktivnost' okislitel'nykh sistem rastenii kartofelya // *Izvestiya akademii nauk respubliky Tadjikistan, otdelenie biologicheskikh i meditsinskikh nauk.* – 2014. – № 4 (188). – S. 29–35.
19. **Yongbo Wu, Bo Ye.** Effects of combined elevated temperature and drought stress on anti-oxidative enzyme activities and reactive oxygen species metabolism of *Broussonetia papyrifera* seedlings // *Shengtai xuebao.* – 2016. – Vol. 36, N 2. – P. 403–410.
20. **Ptazek A., Hura K., Zur I., Nimczyk E.** Relationship between frost tolerance and cold-induced resistance of spring barley, meadow fescue and winter oilseed rape to fungal pathogens // *J. Agron and Crop Sci.* – 2003. – Vol. 189, N 5. – P. 333–340.
21. **Chang Hong-jun, Qin Yu-qian.** Vliyanie stressov NaCl i zasukhi na kachestvo i fluorestsentsiyu khlorofilla myatlika lugovogo // *Acta Bot.boreali-occidentl. Sin.* – 2008. – T. 28, № 9. – S. 1850–1855.
22. **Kissoudis C., Chowdhury R., Van Heusden S., Van de Wiel C., Finkers R., Vissers R.G., Bai Y., Van der Linden G.** Combined biotic and abiotic stress resistance in tomato // *Euphytica.* – 2015. – Vol. 202, N 2. – P. 317–332. DOI 10.1007/s10681-015-1363-x
23. **Gurova T.A., Lugovskaya O.S., Svezhintseva E.A.** Vliyanie sovместного deistviya obyknovенной kornevoi gnili i khloridного zasoleniya na prорostki sortov pshenitsy // *Uspekhi sovremennoi nauki.* – 2017. – T. 2, № 4. – S. 157–159.

24. **Kuznetsov V.V.** Indutsibel'nye sistemy i ikh rol' v adaptatsii rastenii k stressornym faktoram: avtoref. dis.... d-ra biol. nauk v forme nauchnogo doklada. – Kishinev. – 1992. – 74 s.
25. **Karpun N.N., Yanushevskaya E.B., Mikhailova E.V.** Mekhanizmy formirovaniya nespetsificheskogo indutsirovannogo immuniteta u rastenii pri biogennom stresse. // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. – 2015. – T. 50, № 5. – S. 540–549.
26. **Kuznetsov V.V.** Obshchie sistemy ustoichivosti i transduksiya stressornogo signala pri adaptatsii rastenii k abioticheskim faktoram // Vestn. Nizhegorodskogo un-ta. – 2001. – T. 48, № 5 – S. 65–69.
27. **Medvedev S.S.** Fiziologiya rastenii: Uchebnik. – SPb: Izd-vo S.-Peterb. un-ta, 2004. – 336 s.
28. **Kreslavski V.D., Allakhverdiev S.I., Los D.A., Kuznetsov V.V.** Signaling role of reactive oxygen species in plants under stress Signaling role of reactive oxygen species in plants under stress // Russian Journal of Plant Physiology. – 2012. – T. 59, № 2. – S. 141–154.
29. **Kashevarov N.I., Osipova G.M., Tyuryukov A.G., and Filippova N.I.** Investigation of the characteristics of smooth bromegrass (*Bromopsis inermis* Leys) biological traits for cultivation under extreme environmental conditions // Russian Agricultural Sciences. – 2015. – Vol. 41, № 1. – P. 14–17.
30. **Mittler R., Blumwald E.** Genetic engineering for modern agriculture: challenges and perspectives // The annual Review of Plant Biology. – 2010. – Vol. 61. – P. 443–462.
31. **Metodicheskie** polozheniya rannei diagnostiki ustoichivosti sortov yarovoi pshenitsy i yachmenya k sovokupnomu deistviyu stressorov / T.A. Gurova, S.G. Denisyuk, O.S. Lugovskaya, E.A. Svezhintseva, V.V. Mineev; SFNTsA RAN.– Novosibirsk: SFNTsA RAN, 2017. – 62 s.
32. **Gurova T.A., Osipova G.M.** Instrumental'nye metody i programmno-apparatnye sredstva pri reshenii problemy stressoustoichivosti v rastenievodstve // Vychislitel'nye tekhnologii. – 2016. – T. 21, vyp. 1. – S. 65–74.
33. **Mittler R.** Abiotic stress, the field environment and stress combination // Trends in Plant Science. – 2006. – Vol. 11. – P. 15–19.
34. **Bandurska H., Niedziela J., Chadzinikolau T.** Separate and combined responses to water deficit and UV-B radiation // Plant Science. – 2013. – Vol. 213. – P. 98–105.
35. **Cherif J., Mediouni C., Ben Ammar W., Jemal F.** Interactions of zinc and cadmium toxicity in their effects on growth and in antioxidative systems in tomato plants (*Solanum lycopersicum*) // J. of Environmental Sciences (China). – 2011. – Vol. 23. – P. 837–844.
36. **De Silva ND., Cholewa E., Ryser P.** Effects of combined drought and heavy metal stresses on xylem structure and hydraulic conductivity in red maple (*Acer rubrum* L.) // J. of Experimental Botany. – 2012. – Vol. 63. – P. 5957–5966.
37. **Ahmed IM., Dai H., Zheng W., Gao F., Zhang G., Sun D., Wu F.** Genotypic differences in physiological characteristics in the tolerance to drought and salinity combined stress between Tibetan wild and cultivated barley // Plant Physiology and Biochemistry. – 2013. – Vol. 63. – P. 49–60.
38. **Atkinson NJ, Urwin PE.** The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field // J. of Experimental Botany. – 2012. – Vol. 63. – P. 3523–3543.
39. **Carter AH, Chen XM, Garland-Campbell K, Kidwell KK.** Identifying QTL or high-temperature adult-plant resistance to stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) in the spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivar 'Louise'. TAG. // Theoretical and Applied Genetics. – 2009. – Vol. 119. – P. 1119–1128.
40. **Bowler C, Fluhr R.** The role of calcium and activated oxygens as signals for controlling cross-tolerance // Trends in Plant Science. – 2000. – Vol. 5. – P. 241–246.
41. **Rouhier N, Jacquot JP.** Getting sick may help plants overcome abiotic stress // New Phytologist. – 2008. – Vol. 180. – P. 738–741.
42. **Pshibytko N.L., Zenevich L.A., Zhavoronkova N.B., Lysenko E.A., Kabashnikova L.F.** Zasukha kak kostressor pri fuzarioznom uvyadanii tomatov (*Solanum Lycopersicum*) // Vestnik natsional'noi akademii nauk Belarusi. – 2012. – № 1. – S. 80–84.
43. **Yushkevich T.I.** Kross-adaptatsiya i ustoichivost' prorostrukov sakharnoi svekly pri deistvii sverkh sil'nykh stressorov // Sovremennaya mikologiya v Rossii. – 2015. – T. 5. – S. 160.
44. **Anderson JP, Badruzaufari E, Schenk PM, Manners JM, Desmond OJ, Ehlert C, Maclean DJ, Ebert PR, Kazan K.** Antagonistic interaction between abscisic acid and jasmo-

- nate-ethylene signaling pathways modulates defense gene expression and disease resistance in *Arabidopsis* // *Plant Cell*. – 2004. – Vol. 16. – P. 3460–3479.
45. **Amtmann A, Troufflard S, Armengaud P.** The effect of potassium nutrition on pest and disease resistance in plants // *Physiologia Plantarum*. – 2008. – Vol. 133. – P. 682–691.
46. **Zhu Y, Qian W, Hua J.** Temperature modulates plant defense responses through NB-LRR proteins // *PLoS Pathogens*. – 2010. – Vol. 6. e100084.
47. **Atkinson NJ, Lilley CJ, Urwin PE.** Identification of genes involved in the response of *Arabidopsis* to simultaneous biotic and abiotic stresses // *Plant Physiology*. – 2013. – Vol. 162. – P. 2028–2041.
48. **Schenke D, Bottcher C, Scheel D.** Crosstalk between abiotic ultraviolet-B stress and biotic (flg22) stress signaling in *Arabidopsis* prevents flavonol accumulation in favor of pathogen defence compound production // *Plant, Cell & Environment*. – 2011. – Vol. 34. – P. 1849–1864.
49. **Prasad P.V., Pisipati S.R., Momčilović I, Ristic Z.** Independent and combined effects of high temperature and drought stress during grain filling on plant yield and chloroplast EF-Tu expression in spring wheat // *Journal of Agronomy and Crop Science*. – 2011. – Vol. 197. – P. 430–441.
50. **Demirevska K, Simova-Stoilova L, Fedina I, Georgieva K, Kunert K.** Response of oryzacystatin I transformed tobacco plants to drought, heat and light stress // *Journal of Agronomy and Crop Science*. – 2010. – Vol. 196. – P. 90–99.
51. **Perez-Lopez U, Miranda-Apodaca J, Munoz-Rueda A, Mena-Petite A.** Lettuce production and antioxidant capacity are differentially modified by salt stress and light intensity under ambient and elevated CO₂ // *Journal of Plant Physiology*. – 2013. – Vol. 170. – P. 1517–1525.
52. **Sales C.R., Ribeiro R.V., Silveira J.A., Machado E.C., Martins M.O., Lagoa A.M.** Superoxide dismutase and ascorbate peroxidase improve the recovery of photosynthesis in sugarcane plants subjected to water deficit and low substrate temperature // *Plant Physiology and Biochemistry*. – 2013. – Vol. 73. – P. 326–336.
53. **Arbona V., Manzi M., Ollas C., Gumez-Cadenas A.** Metabolomics as a tool to investigate abiotic stress tolerance in plants // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2013. – 14(3): 4885–4911 DOI: 10.3390/ijms14034885
54. **Bo Peng, Hui Li, Xuan-Xian Eng.** Functional metabolomics: from biomarker discovery to metabolome reprogramming // *Protein & Cell*. – 2015. – Vol. 6, N 9. – P. 628–637, DOI: ORG/10.1007/s13238-015-0185-x
55. **Drapal M., Vignolo E.R.F., Rosales R.O.G., Bonierbale M., Mihovilovich E., Fraser P. D.** Identification of metabolites associated with water stress responses in *Solanum tuberosum* L. clones. // *Phytochemistry*. – 2017. – Vol. 135. – P. 24–33 DOI 10.1016/j.phytochem.2016.12.003
56. **Puzanskii R.K., Emel'yanov V.V., Gavrilenko T.A., Shishova M.F.** Metabolomika — sovremennyi podkhod pri izuchenii adaptatsii rastenii kartofelya k bioticheskomu i abioticheskomu stressu (obzor) // *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*. – 2018. – T. 53, № 1. – S. 15–28 DOI: 10.15389/agrobiology.2018.1.15rus
57. **Sun CX, Li MQ, Gao XX, Liu LN, Wu XF, Zhou JH.** Metabolic response of maize plants to multi-factorial abiotic stresses // *Plant Biol (Stuttg)*. – 2016 Jan.; – Vol. 18. – Suppl 1. – P. 120–129. DOI: 10.1111/plb.12305. Epub 2015 Jan 26
58. **Koussevitzky S., Suzuki N., Huntington S., Armijo L., Sha W., Cortes D., Shulaev V., Mittler R.** Ascorbate peroxidase 1 plays a key role in the response of *Arabidopsis thaliana* to stress combination // *Journal of Biological Chemistry*. – 2008. – Vol. 283. – P. 34197–34203.
59. **Prasch CM, Sonnewald U.** Simultaneous application of heat, drought, and virus to *Arabidopsis* plants reveals significant shifts in signaling networks // *Plant Physiology*. – 2013. – Vol. 162. – P. 1849–1866.
60. **Rasmussen S., Barah P., Suarez-Rodriguez MC, Bressendorff S., Friis P., Costantino P., Bones AM, Nielsen HB, Mundy J.** Transcriptome responses to combinations of stresses in *Arabidopsis* // *Plant Physiology*. – 2013. – Vol. 161. – P. 1783–1794.
61. **Tikhonovich I.A., Ivanova E.A., Pershina E.V., Andronov E.E.** Meta genomnye tekhnologii vyyavleniya geneticheskikh resur-

- sov mikroorganizmov // Vestn. RAN. – 2017. – № 4. – S. 31–35.
62. **Chebotař V.K., Shcherbakov A.V., Shcherbakova E.N., Maslennikova S.N., Zaplatkin A.N., Mal'fanova N.V.** Endofitnye bakterii kak perspektivnyi biotekhnologicheskii resurs i ikh raznoobrazie // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. – 2015. – T. 50, № 5. – S. 648–654.
 63. **Baltruschaft H., Fodor J., Harrach B.D. et al.** Salt tolerance of barley induced by the root endophyte Piriformospora indica is associated with a strong increase in antioxidants // New Phytologist. – 2008. – Vol. 180, N 2. – P. 501–510.
 64. **Penuelas J., Sardans J., Estiarte M., Ogaya R., Carnicer J. and et al.** Evidence of current impact of climate change on life: a walk from genes to the biosphere // Global Change Biology. – 2013. – Vol. 19, N 8. – P. 2303–2338.

THE PROBLEM OF COMBINED STRESS RESISTANCE OF PLANTS UNDER CLIMATE CHANGE IN SIBERIA

T.A. GUROVA, Candidate of Science in Agriculture, Head of Laboratory
G. M. OSIPOVA, Doctor of Agricultural Sciences, Head Researcher

Siberian Federal Scientific Center of Agro-BioTechnologies RAS
Krasnoobsk, Novosibirsk region, 630501, Russia
 e-mail: guro-tamara@yandex.ru, osip@ngs.ru

The problem of combined stress resistance of plants due to climate change in Siberia is analyzed on the basis of the literature data. According to the research of the Russian Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring and as a result of climate monitoring of the World Meteorological Organization, it is clearly concluded that regional climate changes in Russia are more significant than in other regions of the world and have a pronounced character. The effects of the climate change have the most significant impact on agriculture, which, to a large extent, depends on weather and climate conditions. In crop breeding, adaptation measures include increasing of the stress resistance of plants by changing the species composition of cultivated plants, introducing new varieties, developing new technologies and protection methods and other measures. It is shown that due to the climate change, there is a need to develop regional landscape complex programs, and to model joint action of stressors in laboratory conditions taking into account the increase of the stress tolerance in field conditions. The most intensive combinations of stressors by their damaging action on crop productivity are considered. Different combinations of stressors require new types of plant responses, which are formed at the molecular, cellular and organismic levels. The attention is focused on the need for the application of innovative approaches that take into account information about the microbial community of a habitat (metagenomic technologies) and the use of modern molecular biological methods based on the transcriptomic, metabolomic and proteomic analysis of plants.

Keywords: crop breeding, climate change, Siberia, combined stress resistance of plants, modelling

Поступила в редакцию 24.02.2018