

3. Лысанова Г.И. Агроландшафтные исследования геосистем Минусинской котловины // География и природные ресурсы. – 2001. – № 2. – С. 90-98.
4. Рудский В.В., Лысенкова З.В., Кротова Т.П., Праздникова Н.Н., Тарасова О.С. Экономическая география и регионалистика. – Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2001. – 196 с.
5. Сергеев Г.М., Резникова А.В. Агроклиматические ресурсы. Проблемы производственной оценки и прогнозирования оптимизации использования // Географические проблемы освоения бассейна Верхнего Енисея. – Иркутск, 1974. – 134 с.
6. Титлянова А.А., Тихомирова Н.А., Шатохина Н.Т. Продукционный процесс в агроценозах. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1982. – 185 с.
7. Чупрова В.В., Александрова С.В. Определение чистой первичной продукции агроценозов методами математического моделирования // Гомеостаз лесных экосистем: Мат-лы X междунар. симп. «Концепция гомеостаза: теоретические, экспериментальные и прикладные аспекты»: Сб. науч. тр. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2001. – С. 165-172.
8. Чупрова В.В. Биологическая продуктивность современных агроценозов Красноярского края // Роль минерально-сырьевой базы Сибири в устойчивом функционировании плодородия почв: Мат-лы конф. – Красноярск, 2001. – С. 50-54.
9. Шагжиев К.Ш., Ральдин Б.Б., Раднаев Б.Л. и др. Бурятия: природные ресурсы. – Улан-Удэ: Изд-во Бурят. гос. ун-та, 1997. – 280 с.
10. Шульгин А.М. Агрометеорология и агроклиматология. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 191 с.



УДК 581.522.4:632.122

Н.В. Зобова, Е.Н. Коньшева, П.В. Митина

ВЛИЯНИЕ СТРЕССОВЫХ ЭДАФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РОСТОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИНИЙ-РЕГЕНЕРАНТОВ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ

Засоленные и кислые почвы малопригодны для возделывания культурных растений и крайне неблагоприятны для земледелия. Создание кислото- и солеустойчивых сортов сельскохозяйственных растений является поэтому одним из актуальных направлений в современной селекционной практике.

В целом засоленность почвы является очень серьезной проблемой, поскольку в мире от засоления страдает два миллиона квадратных километров земель, используемых для сельскохозяйственного производства, из них около 30-50% составляют орошаемые земли. Проблема засоленных почв для Красноярского края не является актуальной, однако здесь насчитывается 553,3 тысячи гектаров почв с кислой реакцией. В основном это серые лесные и дерново-подзолистые почвы. Наиболее чувствителен к почвенной кислотности ячмень, что сдерживает его распространение в таежных и подтаежных районах Сибири.

Биотехнологический подход позволяет производить селекцию клеток, устойчивых к повышенным концентрациям солей и ионов водорода, а в дальнейшем использовать их для получения наследственно соле- и кислотоустойчивых форм растений через соматический эмбриогенез и выращивание растений-регенерантов. Такие линии растений-регенерантов нами получены на селективных средах с высокой концентрацией соли и низкими значениями pH и размножены [1].

На следующем этапе важное значение приобретает исследование приспособительных реакций

полученных регенерантов на адаптацию к эдафическому стрессу.

Высокой надежностью, как показали исследования Г.В. Удовенко и соавторов [4; 2], обладают методы, основанные на учете изменения при засолении прироста биомассы вегетативных органов и некоторых линейных параметров растений. Корреляция результатов с истинной солеустойчивостью сортов доходила до +0,80 - 0,96. Этими же авторами отмечено, что чем больше изменяются показатели при засолении, тем меньше солеустойчивость растений.

Объекты и методы исследования. Объектом исследования служили родительские формы и линии регенерантов ярового ячменя, полученные нами в условиях культивирования изолированных незрелых зародышей и отбора устойчивых форм в каллусных тканях на селективных средах. В качестве родительских форм использованы адаптивные линии ярового ячменя селекции Красноярского НИИСХ и два сорта [3]. Номер, название и характеристика линий приведены в таблице.

Для лабораторной оценки кислото- и солеустойчивости исследуемых генотипов ярового ячменя использовали рулонный метод оценки проростков. В качестве тестирующего признака наблюдали изменение накопления биомассы и величины проростков и корней, выращенных в солевом растворе и растворе с низкой pH по сравнению с этими показателями на контроле.

Использованные в работе сорта и линии

Генотип	Характеристика линии
C-15	Родительская форма
CP. 13 – C-15	Регенерант с засоленных сред
CP. 14 – C-15	Регенерант с засоленных сред
У-95- 1041	Родительская форма
CP.2-У-95- 1041	Регенерант с засоленных сред
CP.1-У-95- 1041	Регенерант с засоленных сред
CP.51.1(7)-У-101-1113	Регенерант с засоленных сред
T-136-368	Родительская форма
KP.3.7.(1)-T-136-368	Регенерант с кислых сред
KP.3.7.(7)-T-136-368	Регенерант с кислых сред
Кедр	Родительская форма
KP.3.2.- Кедр	Регенерант с кислых сред
KP.63-Л-6-4246	Регенерант с кислых сред

Отобранные семена предварительно замачивали водой в чашках Петри в течение трех суток в темном термостате при $t = 22^{\circ}\text{C}$. Затем проросшие зерна переносили в рулоны из фильтровальной бумаги, которые помещали в вегетационные сосуды. Опытные варианты содержали: раствор хлорида натрия в концентрации 1,68%; закисленный раствор с $\text{pH} = 4,0$. В качестве контрольного варианта использовали дистиллированную воду.

Выбор концентрации обусловлен тем, что при таком уровне содержания хлорида натрия и соляной кислоты начинают проявляться значимые влияния засоления и закисления на все исследуемые генотипы. Время экспозиции проростков в рулонах ограничивали семью сутками. По прошествии этого времени рулоны разворачивали и проводили необходимые измерения линейных размеров (мм) и сырой массы (г) побегов и корней. Повторностями служили двадцать пять зерен в одном рулоне; все опыты проводили в четырех повторностях.

Помещение в рулоны уже пророщенных зерен обусловлено тем, что в случае непосредственного проращивания семян в исследуемых растворах за небольшой промежуток времени (7-10 дней) невозможно получить проростки и сравнивать по ним сорта [2]. При определении сравнительной солеустойчивости сортов к ним должны быть подобраны стандарты, резко отличающиеся по своему уровню устойчивости к засолению. В качестве такого сорта взят образец C-15 (Эквадор), солеустойчивый по оценкам ВИР.

Результаты и обсуждение. Засоление среды произрастания резко уменьшает длину корней, что свидетельствует о реализации эффекта избегания – сокращения площади соприкосновения со стрессовыми факторами (рис. 1). При этом вес корней увеличивается для компенсации функциональной активности корней. Это увеличение укладывается в интервал 20 - 40%. С побегами происходит обратное: их длина увеличивается, а вес уменьшается под

действием соли у всех исследованных генотипов без исключения, однако эти изменения не равнозначны (рис. 1).

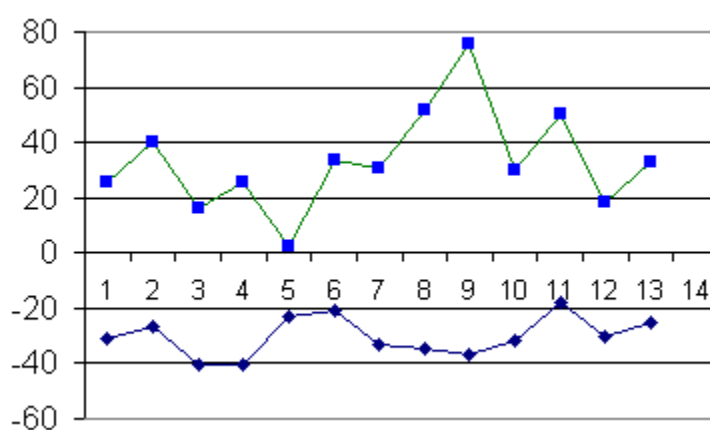
Реакция корней солеустойчивых форм контроля C-15 (Эквадор) и регенерантов (CP.13 – C-15, CP.14 – C-15, CP.2-У-95-1041, CP.1-У-95-1041 и CP.51.1(7)-У-101-1113) при этом несколько менее выражена по сравнению с кислотоустойчивыми регенерантами (KP.3.7.(1)-T-136-368, KP.3.7.(7)-T-136-368, KP.63-Л-6-4246 и KP.3.2.- Кедр), а побегов – наоборот. Это свидетельствует о том, что изменением корней как первопричиной действия стресса обусловлена ответная (вторичная) реакция побегов (рис. 1, а и б). Вероятно, судя по реакции контроля, меньшая реакция корней на стресс соответствует большей адаптации растений к экстремальным факторам.

Если суммарную реакцию растений на стресс выразить в изменении их общей массы, то очевидно, что группы солеустойчивых форм регенерантов и их родительские формы практически не изменяют ее (колебания составляют $\pm 10\%$), а кислотоустойчивые родительские формы и их регенеранты увеличивают ее на 15-20% (рис. 1, в). Следует отметить, что все регенеранты без исключения имеют меньшие различия массы с контролем по сравнению со своими родительскими формами.

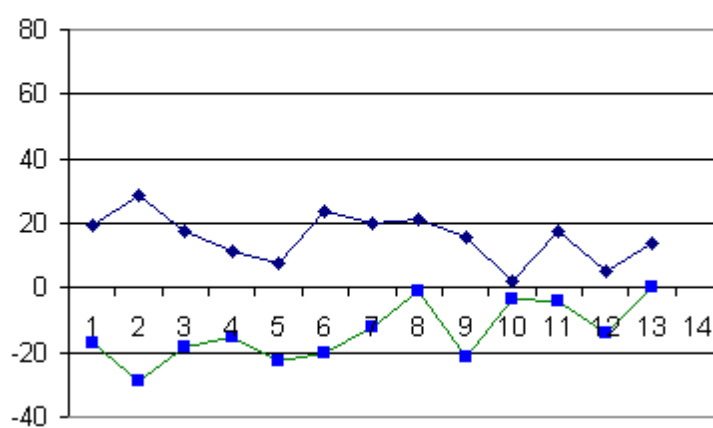
Таким образом, сохранение общей массы растений под влиянием эдафического стресса следует рассматривать как положительный адаптационный ответ на него.

Наибольшей адаптивностью к солевому стрессу обладает сам солеустойчивый сорт C-15 (Эквадор) и его регенеранты, а также три других регенеранта с засоленных сред (CP.2-У-95- 1041, CP.1-У-95- 1041 и CP. 51.1(7)-У-101-1113). Наиболее близок к ним по реакции на соль «кислый» регенерант от сорта Кедр – KP.3.2.-Кедр, общая масса которого под воздействием соли практически не изменяется и степень реакции корней и побегов на стресс практически одинакова.

а) корней



б) проростков



в) общей массы проростков

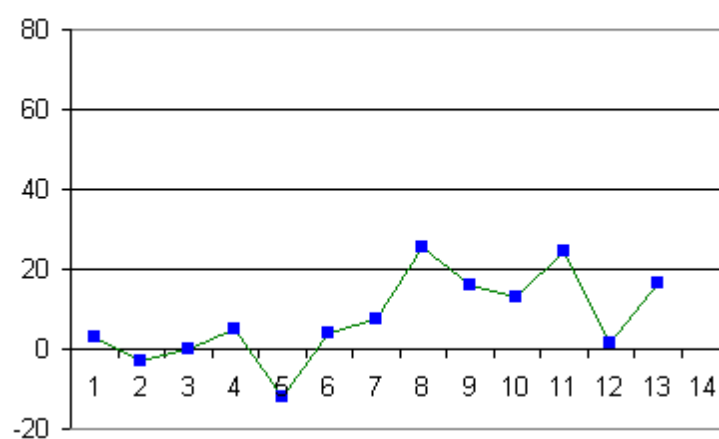
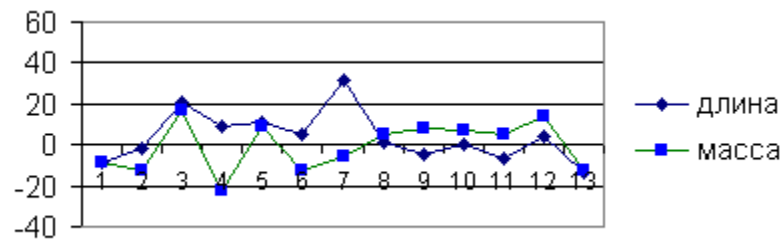
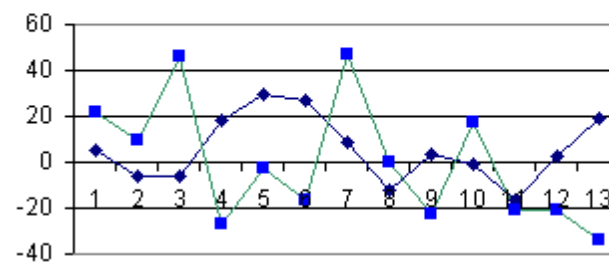


Рис. 1 Изменение характеристик регенерантов и их родительских форм (% к контролю) под влиянием низкой концентрации соли (1,68%)

а) корней



б) проростков



в) общей массы проростков

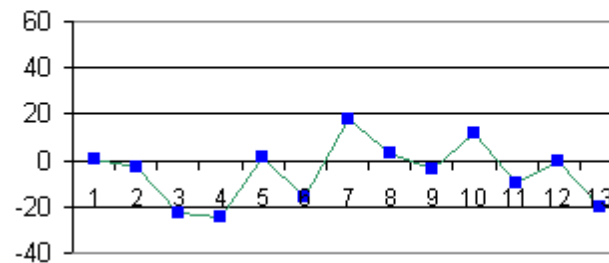
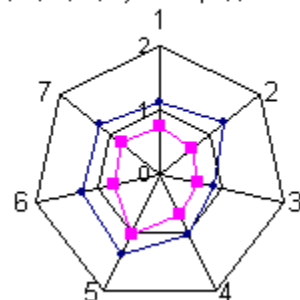


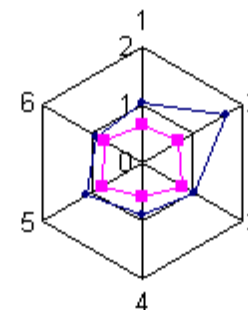
Рис. 2 Изменение характеристик регенерантов и их родительских форм (% к контролю) под влиянием низкой pH (4,0)

Примечание. На рисунках 1 и 2 по оси абсцисс – номера исследованных генотипов, соответствующие таковым в тексте статьи, по оси ординат – разницa характеристик опыта по отношению к контролю (%).

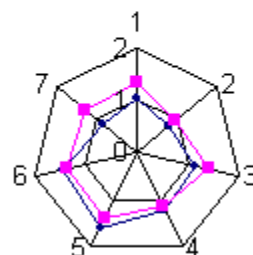
а) . высоких концентраций соли (1,68%) на "соленые" регенеранты (2, 3, 5, 6, 7) и их родительские формы (1, 4)



б) . высоких концентраций соли (1,68%) на "кислые" регенеранты (2, 3, 5, 6, 7) и их родительские формы (1, 4)



в) . низкой pH среды на "соленые" регенеранты (2, 3, 5, 6, 7) и их родительские формы (1, 4)



г) . низких pH среды на "кислые" регенеранты (2,3,5,6) и их родительские формы (1,4)

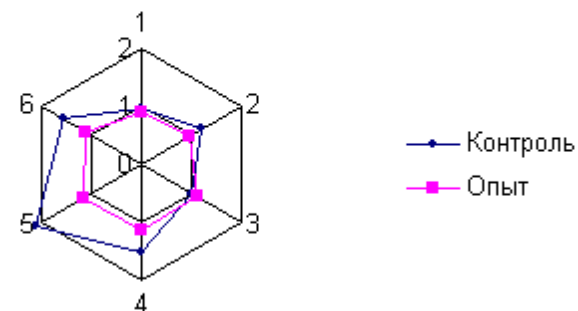


Рис. 3 Влияние стрессовых факторов на соотношение надземной и подземной частей проростков ячменя

Примечание. Номер луча соответствует номеру генотипа, на лучах отложено отношение надземной и подземной частей растения (в долях от единицы)

Реакция исследованных генотипов на понижение pH в среде произрастания менее однозначна по сравнению с высокими концентрациями соли. Однако по группам генотипов можно сделать очевидный вывод о более слабом воздействии pH на генотипы, ранее отобранные по устойчивости к этому фактору, по сравнению с группой потенциально солеустойчивых форм (рис. 2; а, б, в). Кроме того, изменения в этих группах имеют разную направленность. Под действием повышения кислотности корни «солеустойчивых» форм увеличивают свою длину и снижают вес, а «кислотоустойчивые», избегая воздействия стресса, уменьшают длину, компенсаторно увеличивая вес (рис. 2, б).

Реакция побегов и суммарной массы проростков на кислоту весьма неоднородна (рис. 2, б и в). В среднем побеги «кислых» регенерантов, увеличиваясь в линейных размерах, уменьшают свой вес. Исключение составляет КР.3.7.(7)-Т-136-368, который демонстрирует компенсаторную реакцию, сходную с таковой на солевой стресс. Длина побегов в этих условиях увеличивается, а масса уменьшается по сравнению с контролем у линии У-95-1041 и ее регенерантов, что, вероятно, сближает ее по реакции на закисление субстрата произрастания с кислотоустойчивыми формами.

Поскольку размеры и масса корней и проростков имеют под влиянием стресса разную направленность изменений, представляет интерес анализ соотношения надземной и подземной массы контрольных и опытных растений. В контрольных условиях соотношение надземной и подземной частей составляет не менее единицы или немного превышает ее у всех групп генотипов (рис. 3 а, б, в, г). Воздейст-

вие соли ведет к его достаточно выраженному уменьшению, которое особенно ярко проявляется на «соленых» регенерантах и их родительских формах (рис. 3, а, в).

Влияние низкой pH проявляется у «соленых» регенерантов иначе. Соотношение надземной и подземной массы практически у всех образцов в кислой среде становится выше контрольных, кроме адаптивной линии У-95-1041 и ее регенерантов СР.2-У-95-1041, СР.1-У-95-1041. Реакция «кислых» регенерантов на воздействие низкой pH менее выражена, чем на соль, но имеет ту же направленность (рис. 3, б, г).

Наиболее слабо на это воздействие реагируют линия Т-136-368 и ее регенеранты (КР.3.7.(1)-Т-136-368, КР.3.7.(7)-Т-136-368). Единственный из «кислых» регенерантов КР.3.7.(7) увеличивает общую массу растений при снижении pH в среде, практически не изменяя соотношения надземной и подземной частей и увеличивая вес побегов (рис. 3 г). Это, вероятно, свидетельствует о его неадекватной реакции на кислотный стресс.

Таким образом, проведенные эксперименты по физиологической оценке устойчивости растений к стрессовым эдафическим факторам продемонстрировали разную реакцию исследованных генотипов на «солевой» и «кислотный» стресс. Менее выражено действие соли на регенеранты, отобранные в культуре изолированных тканей на селективных средах с высокой концентрацией NaCl, а действие низкой pH - на регенеранты «кислых» сред. Соответственно ответная реакция на стресс у регенерантов меньше, чем у их родительских форм. Эти данные свидетельствуют об эффективности селекции, проведенной в условиях *in vitro* на селективных средах.

Литература

1. Зобова Н.В., Луговцова С.Ю., Коньшева Е.Н. Создание устойчивых к стрессовым эдафическим факторам сортов как способ реализации эффективного плодородия почв // Эколого-экономические аспекты обеспечения эффективного использования земельных ресурсов Красноярского края. – Ч. 2: Обеспечение эффективного плодородия почв. – Красноярск: Гротеск, 2001. – С. 120-132.
2. Семушина Л.А., Хазова Г.В., Удовенко Г.В. Применение анализа изменения ростовых процессов для диагностики солеустойчивости растений // Методы оценки устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды. – Л.: ВИР, 1976. – С. 238-245.
3. Сурин Н.А., Ляхова Н.Е., Зобова Н.В. О повышении адаптивности ячменя к экстремальным условиям Восточной Сибири // Вест. РАСХН. – 1999. – № 4. – С. 14-17.
4. Удовенко Г.В., Семушина Л.А., Синельникова В.Н. Особенности различных методов оценки солеустойчивости растений // Методы оценки устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды. – Л.: ВИР, 1976. – С. 228-238.

