

СКРИНИНГ ОБРАЗЦОВ БЕЛОГО И ЖЕЛТОГО ДОННИКА (*Melilotus* Adans.) НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ХЛОРИДНОМУ ЗАСОЛЕНИЮ***Н.И. ДЗЮБЕНКО, О.В. ДУК, Л.Л. МАЛЫШЕВ, Ю.А. ПРОСВИРИН,
И.А. КОСАРЕВА**

Засоленные почвы широко распространены в мире, в том числе в странах СНГ. Для возврата в сельскохозяйственный оборот на таких почвах культивируют растения-фитомелиоранты, способствующие их рассолению и обогащению элементами питания. Одними из лучших среди растений-фитомелиорантов в семействе бобовых считаются виды рода *Melilotus* Adans. (донники). На ранних этапах вегетации солеустойчивость донников невысока. Модифицировав принятый ранее тест, мы выполнили скрининг образцов донника из мировой коллекции ВИР (ФНЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова) на устойчивость к хлоридному засолению в период роста проростков и выделили формы с высокой солеустойчивостью. В работе использовали 58 образцов донника белого *M. albus* Medik. и 27 образцов донника желтого *M. officinalis* (L.) Pall. различного эколого-географического происхождения, представленных сортами и дикорастущими формами. Образцы выращивали в контролируемых условиях среды, в водной культуре согласно следующей схеме: контроль (дистиллированная вода); стрессорный фон 1 (раствор NaCl с осмотическим давлением 3 атм); стрессорный фон 2 (раствор NaCl с осмотическим давлением 5 атм). Через 5 сут измеряли длину корня и ростка, для каждого образца рассчитывали индексы длины корня и ростка, равные отношению соответствующих средних параметров растений опытных вариантов к контрольному. Чем выше было значение индекса, тем более солеустойчивым считался образец. Хлоридное засоление приводило к торможению роста корней и ростков у образцов обоих видов, с увеличением концентрации соли степень негативной ростовой реакции растений усиливалась. При воздействии солевого стрессора отмечено усиление внутри- и межпопуляционной изменчивости ростовых показателей. Более информативным диагностическим критерием для лабораторного скрининга коллекции донника на солеустойчивость был индекс длины корня. В изученном фрагменте коллекции донника белого выявлено 36,2 % устойчивых образцов, донника желтого — 29,6 %, то есть потенциал адаптивности по отношению к избытку хлорида натрия в зоне корней у изученных видов оказался примерно одинаков. Солеустойчивые сорта донника белого происходят из Приморья (Рядовой и Диомид), Казахстана (Шедевр 75), Новосибирской (Люцерновидный Д-20) и Ивановской (дикорастущий образец к-15650) областей; донника желтого — из Западной Сибири (Омский 8, Омский 916, Новосибирский 1, Северотатарский, Хорогский 2155). Выделенные источники солеустойчивости могут служить исходным материалом для создания сортов донника, устойчивых к хлоридному засолению в период раннего роста растений, что позволит более широко использовать потенциал этих видов для кормовых и биоремедиационных целей. Согласно полученным данным, солеустойчивые образцы донника часто происходят из регионов с широким распространением засоленных почв, что следует учитывать при определении стратегии поиска ценных для селекции на эдафическую устойчивость форм. Многие из выделенных нами солеустойчивых сортов характеризуются другими важными для селекции признаками: высокой продуктивностью, интенсивным отрастанием после скашивания, скороспелостью, био- и абиотической устойчивостью (к вирусам, засухе, низким температурам, неблагоприятным факторам перезимовки), ценными биохимическими свойствами (высокое содержание белка, низкое содержание кумарина).

Ключевые слова: хлоридное засоление, *Melilotus*, донник, солеустойчивость, изменчивость ростовых показателей, индекс длины корня.

На территории бывшего СССР засоленные почвы разного типа и степени засоления занимают около 550 тыс. км². В Российской Федерации они наиболее распространены на Северном Кавказе, в Нижнем Поволжье, на Южном Урале и в Западной Сибири. Эффективным методом улучшения состояния засоленных почв служит фитомелиорация — рассоление посредством выращивания устойчивых видов растений (1, 2). Бобовые широко используются в ремедиации почв, хотя, согласно некоторым данным, проявляют среднюю солеустойчивость (3). Залужение засоленных земель многолетними бобовыми травами способствует их обогащению азотом,

* Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по теме № 0662-2018-0016.

восстановлению плодородия и возврату в сельскохозяйственный оборот.

Виды рода *Melilotus* Adans. (донник) — одни из лучших фитомелиорантов в семействе *Fabaceae*. Виды донника растут на засоленных землях, где традиционные бобовые не выживают (2, 4). Происхождение рода — Евразия и Северная Африка, представители рода устойчивы к жаре и холоду (5, 6). Описано 26 видов донника, на территории бывшего СССР род представлен 13 видами (7). Введены в культуру донник белый *M. albus* Medik., донник желтый *M. officinalis* (L.) Pall., донник волжский *M. wolgicus* Poir., донник душистый *M. suaveolens* Ledeb., донник зубчатый *M. dentatus* (Waldst. et Kit.) Pers., донник волосистый *M. hirsutus* Lipsky и донник каспийский *M. caspicus* Grun. (8). Отмечена высокая солеустойчивость некоторых образцов донника зубчатого и донника индийского (9-11). В мире посевы донника занимают 1,2-1,4 млн га и в основном сосредоточены в Канаде и СНГ (Западная и Восточная Сибирь, Поволжье, Казахстан, Якутия, Южный Урал, Северный Кавказ, Башкирия, Дальний Восток). В странах СНГ эти виды распространены почти во всех растительных зонах (12). Донник — перспективная кормовая, а также фитомелиоративная, лекарственная и медоносная культура, все большее внимание уделяется ей как сидерату (13, 14). Широкое применение донника связано с его высокой экологической пластичностью. Благодаря глубоко проникающей корневой системе, донники могут произрастать в широком диапазоне эдафических условий; донник засухоустойчив, зимостоек, малотребователен к плодородию почв (15). Наибольшей продуктивностью зеленой массы среди многолетних бобовых культур выделяется донник белый и желтый, донник белый считается более ценным в кормовом отношении видом (15).

Одной из главных причин угнетения роста бобовых растений на засоленных почвах становится нарушение деятельности клубеньковых бактерий, ответственных за фиксацию атмосферного азота (16). Донник в условиях почвенного засоления способен формировать относительно высокий урожай зеленой массы и обогащать почву азотом, что делает ее пригодной для последующего возделывания других культур (15). В настоящее время исследования по использованию этой культуры на засоленных почвах ведутся в Центральном (16), Приволжском (17, 18), Южном (19-22), Северо-Кавказском (23) и Сибирском (24) регионах.

Донник, как и многие другие культуры (25), проявляет высокую чувствительность к повышенному содержанию солей в почве. В связи с этим поиск форм донника с высокой солеустойчивостью в период начального роста растений (прорастание семян и рост проростков) рассматривается как актуальное направление исследований.

Коллекцию донника ВИР (ФНЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова) составляют около 1000 образцов (виды, сорта, селекционные и дикорастущие образцы). Коллекция изучена по ряду ценных признаков: зимостойкость, биохимический состав, показатели морфологической изменчивости (26), устойчивость к кислым почвам (27, 28). В настоящее время в России допущено к использованию 15 сортов донника белого и 8 сортов донника желтого. В лабораторном скрининге растений на солеустойчивость в качестве тестовых часто используют ростовые показатели проростков (29, 30), зависящие как от напряженности стрессорного фактора (содержания солей в зоне корней), так и от свойств генотипа (31, 32). В условиях хлоридного засоления ионы Na и Cl при поступлении в клетки конкурируют с важнейшими элементами питания, прежде всего с ионами калия, кальция и магния, что вызывает токсический и метаболический стрессы у растений и приводит к

их угнетению, а порой и к гибели уже на ранних стадиях онтогенеза (33-35). В настоящее время выявлены механизмы адаптации растений к повышенной концентрации солей в почве (37), для некоторых бобовых (*Medicago truncatula* Gaertn.) они детально изучены (38).

В представленной работе в результате скрининга образцов из коллекции ВИР модифицированным нами методом впервые выделены высокоустойчивые к засолению формы, которые перспективны для использования в качестве источников солеустойчивости в селекционных программах.

Цель наших исследований — выявление видового разнообразия коллекционных образцов донника по устойчивости к хлоридному засолению на ранних этапах онтогенеза.

Методика. Объектом исследований были 58 образцов донника белого и 27 образцов донника желтого различного эколого-географического происхождения, представленные сортами и дикорастущими формами. Образцы выращивали при освещенности 10 клк, продолжительности фотопериода 16 ч, дневной температуре +21...+22 °С и ночной температуре +17...+18 °С. Стратифицированные с помощью наждачной бумаги семена (по 50 шт. на образец) раскладывали в ячейки растилен с сетчатым дном. Растильни помещали на 2 сут в контейнеры с дистиллированной водой так, чтобы сетка касалась поверхности воды, сверху их покрывали полиэтиленовой пленкой. Отбраковывали не всхожие семена. Затем растильни с наклюнувшимися семенами переносили на растворы согласно схеме опыта: контроль (дистиллированная вода); стрессорный фон 1 (раствор NaCl с осмотическим давлением 3 атм.); стрессорный фон 2 (раствор NaCl с осмотическим давлением 5 атм.). Через 5 сут измеряли длину корня и ростка.

При статистической обработке данных использовали программы Statistica 6.0 («StatSoft, Inc.», США) и Systat 10.2 («Systat Software, Inc.», США). Для каждого образца по всем вариантам опыта рассчитывали среднее значение признаков (M), стандартную ошибку среднего ($\pm SEM$) и коэффициент вариации (C_v). Информативность показателей оценивали посредством сопоставления величины внутри- (средний коэффициент вариации по популяциям C_{v1}) и межпопуляционной (коэффициент вариации по средним популяций C_{v2}) изменчивости исходных признаков. На основе средних значений длины корня и ростка вычисляли индексы длины корня и ростка (IR и IS), равные отношению соответствующих параметров растений опытных вариантов к контролю (чем выше значение индекса, тем более солеустойчивым считался образец). Для разделения на группы по величине устойчивости к засолению для совокупности вычисленных индексов были рассчитаны доверительные интервалы среднего: слабоустойчивые — величина индекса ниже нижней границы доверительного интервала, среднеустойчивые — от нижней до верхней границы доверительного интервала и устойчивые — величина индекса выше верхней границы доверительного интервала.

Результаты. Существуют различные лабораторные методы оценки растений на солеустойчивость на ранних этапах онтогенеза (39). При подборе оптимального метода мы учитывали имеющиеся в литературе сведения об использовании в диагностике морфометрических показателей, в частности длины ростков и корней проростков (40-42). Разработанный ранее метод оценки солеустойчивости донника (43) предполагает учет изменения всхожести семян после солевого воздействия, то есть охватывает более ранний период развития растений — набухание и проклевывание семян. На наш взгляд, показатели скрининга в этом случае могут зависеть от качества семян. Согласно нашей модификации, диагностика проводит-

ся на фотосинтезирующих проростках, а обработке предшествует выбраковка некачественных семян. Кроме того, такая модификация обеспечивает высокую пропускную способность и воспроизводимость теста.

В водной культуре мы выявили значительную генотипическую изменчивость ростовых показателей во всех вариантах опыта. В контрольных условиях (отсутствие засоления) наиболее интенсивным ростом корешков характеризовались сорта донника белого Кинельский (Самарская обл.), Несопающийся (Краснодарский край), Башкирский (Республика Башкортостан), Янтарь (Иркутская обл.), Местный (Австрия). У донника желтого интенсивный рост корней при отсутствии солевого стрессора наблюдался у сортов из Канады (Goldtop и Yukon). Высокую скорость увеличения длины ростков в условиях контроля отмечали у дикорастущих образцов донника белого из Казахстана (к-48543), Республики Якутия (к-46992), сортов донника желтого Yukon и Norgold (Канада), № 28, № 29 (США).

Хлоридное засоление в зоне корней, как правило, приводило к усилению внутри- и межпопуляционной изменчивости ростовых показателей (за исключением межпопуляционной изменчивости длины ростков у донника желтого) (табл. 1). Как в контроле, так и при засолении внутрипопуляционная изменчивость длины корешка и длины ростка в большинстве случаев превышала межпопуляционную. Следует отметить, что у обоих видов во всех вариантах опыта была отмечена более высокая внутрипопуляционная изменчивость длины корешка по сравнению с длиной ростка.

Установлено, что при засолении внутрипопуляционная изменчивость длины корней проростков увеличивалась значительно, чем длина ростков, поэтому для диагностики солеустойчивости использовали именно длину корней. Следует отметить, что аналогичный результат был получен нами и при подборе диагностического критерия в оценке образцов донника на устойчивость к алюмотоксичности кислых почв (27, 28).

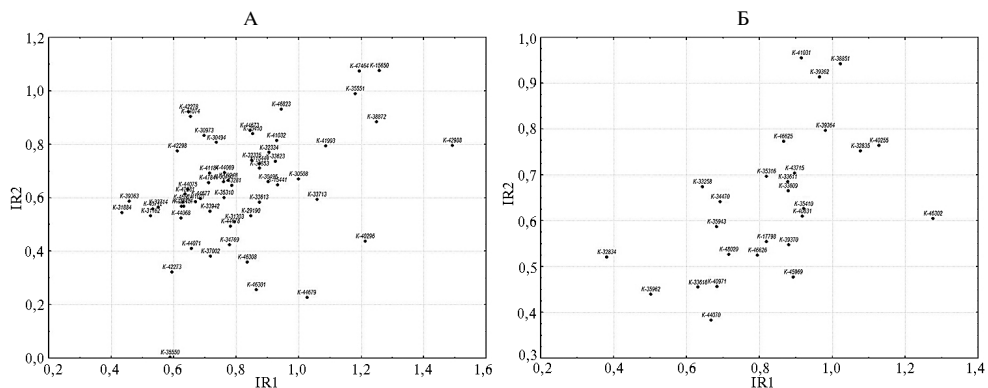
1. Внутри- и межпопуляционная изменчивость длины корней и ростка у видов донника белого *Melilotus albus* Medik. и желтого *M. officinalis* (L.) Pall. в зависимости от условий выращивания

Показатель	Вид донника											
	белый						желтый					
	длина корня						длина ростка					
Осмотическое давление фона, атм.	0	3	5	0	3	5	0	3	5	0	3	5
Внутрипопуляционная изменчивость (Cv_1 , %)	45	49	46	34	47	41	24	26	28	23	25	26
Межпопуляционная изменчивость (Cv_2 , %)	21	26	34	22	29	30	19	22	25	26	26	21

При засолении угнетение ростовых процессов у проростков донника усиливалось с повышением концентрации NaCl в растворах. Размах варьирования индекса длины корня у донника белого составлял 0,44-1,49 ($Cv = 3,5$ %) при осмотическом давлении 3 атм. и 0,003-1,07 ($Cv = 4,2$ %) при 5 атм.; у донника желтого — соответственно 0,38-1,28 ($Cv = 4,4$ %) и 0,38-0,95 ($Cv = 4,6$ %).

Для распределения образцов по группам солеустойчивости были использованы границы доверительных интервалов средних значений индекса длины корней. Образцы распределили по трем условным группам: устойчивые, среднеустойчивые и слабоустойчивые. Согласно результатам скрининга, среди образцов донника белого выявлено 36,2 % устойчивых к хлоридному засолению, среди образцов донника желтого — 29,6 %. Большая часть образцов в выборках донников и белого (39,7 %) и желтого (37,1 %) была отнесена к группе слабоустойчивых. Образцы донника белого, выделившиеся по показателю солеустойчивости, происходили из Приморья (Рядовой и Диомид), Казахстана (Шедевр 75) и Новосибирской об-

ласти (Люцерновидный Д-20), то есть из регионов с распространением засоленных почв. Высокую солеустойчивость проявил дикорастущий образец к-15650 из Ивановской области (табл. 2, рис., размещен на сайте журнала <http://www.agrobiology.ru>). Индекс длины корня при максимальной концентрации NaCl у этого образца (а также у сорта Диомид) был самым высоким. Среди образцов донника желтого наибольшей солеустойчивостью характеризовались сорта из Западной Сибири селекции Сибирского НИИ кормов и Сибирского НИИ земледелия: Омский 916, Новосибирский 1, Северотатарский, Хорогский 2155, Омский 8 (см. табл. 2, рис.). Они могут представлять интерес для селекции на адаптивность в условиях засоленных почв.



Распределение образцов донника белого *Melilotus albus* Medik. (А) и желтого *Melilotus officinalis* (L.) Pall. (Б) по показателю солеустойчивости на двух фонах засоления: IR1 — индекс длины корня при осмотическом давлении раствора 3 атм., IR2 — индекс длины корня при осмотическом давлении раствора 5 атм.

2. Образцы донника белого *Melilotus albus* Medik. и желтого *Melilotus officinalis* (L.) Pall. с высокой солеустойчивостью на раннем этапе онтогенеза

№ по каталогу ВИР	Сорт (происхождение)	Длина корня, мм (M±SEM)			Индекс длины корня IR	
		контроль	3 атм. NaCl	5 атм. NaCl	3 атм. NaCl	5 атм. NaCl
Донник белый						
к-15650	Дикорастущий (Ивановская обл.)	2,7±0,20	3,4±0,24	2,9±0,21	1,26	1,07
к-35551	Рядовой (Приморский край)	2,8±0,37	3,3±0,44	2,8±0,72	1,18	0,99
к-38872	Шедевр 75 (Казахстан)	1,6±0,22	2,0±0,34	1,4±0,16	1,25	0,88
к-42988	Люцерновидный Д-20 (Новосибирская обл.)	3,2±0,59	2,0±0,45	2,5±0,33	1,49	0,79
к-47464	Диомид (Приморский край)	2,0±0,38	2,4±0,35	2,2±0,31	1,19	1,07
Донник желтый						
к-38851	Омский 916 (Омская обл.)	3,5±0,11	3,6±0,17	3,3±0,13	1,02	0,94
к-39362	Новосибирский 1 (Новосибирская обл.)	3,3±0,20	3,2±0,32	3,0±0,26	0,97	0,91
к-39364	Северотатарский (Новосибирская обл.)	3,6±0,27	3,5±0,32	2,8±0,25	0,98	0,80
к-40255	Хорогский 2155 (Новосибирская обл.)	3,0±0,16	3,4±0,19	2,3±0,12	1,13	0,76
к-41031	Омский 8 (Омская обл.)	2,1±0,19	1,9±0,35	2,0±0,24	0,91	0,95

Некоторые из выделенных нами дикорастущих образцов и сортов с высокой солеустойчивостью на раннем этапе онтогенеза характеризуются и другими ценными для селекции признаками. Так, сорт Шедевр 75, выведенный на Актюбинской опытной станции, выделяется скороспелостью, быстрым послеукосным отрастанием, высокой засухо- и зимостойкостью, устойчивостью к вирусным заболеваниям, высоким содержанием белка и низким — кумарина. Сорт Рядовой из Приморского края характеризуется интенсивностью послеукосного отрастания, высокой зимостойкостью, низкой твердосемянностью, относится к малокумаринным сортам. Высокопродуктивный сорт Диомид (выведен совместно Примор-

ским НИИ сельского хозяйства и Дальневосточной опытной станцией ВИР методом массового отбора из дикорастущих образцов) отличается быстрым отрастанием весной, высокими кормовыми свойствами, устойчив к засухе и неблагоприятным факторам перезимовки, относительно устойчив к поражению грибными болезнями. Сорт Омский 8 характеризуется интенсивностью послеукосного отрастания, высокой продуктивностью, засухоустойчивостью, зимостойкостью и высоким содержанием белка. Важными для селекции признаками — высокой продуктивностью, интенсивным отрастанием после скашивания, скороспелостью, био- и абиотической устойчивостью (к вирусам, засухе, низким температурам, неблагоприятным факторам перезимовки), а также ценными биохимическими свойствами (высокое содержание белка, низкое содержание кумарина) характеризуются многие из выделенных нами солеустойчивых сортов (данные не приведены).

Хлоридное засоление, как правило, приводило к усилению внутри- и межвидовой изменчивости ростовых показателей у проростков донника. Следует отметить, что подобная закономерность отмечена и для других видов растений при воздействии на них неблагоприятных средовых факторов. Например, установлено увеличение размаха изменчивости отдельных признаков у сортов яровой пшеницы в условиях засухи (44).

Внутривидовая изменчивость длины корней проростков донника в условиях засоления усиливалась в большей степени, чем ростков, что свидетельствует о более высокой информативности индекса длины корня для диагностики солеустойчивости донника и других культур (44). Линейные характеристики корневых систем используются в исследованиях при изучении устойчивости растений и к другим абиотическим стрессорам, в частности к алюмотоксичности кислых почв (45), засухе (46) и низким температурам (47).

Количество выделенных нами сортообразцов, устойчивых к засолению, в изученных сортиментах донника белого и донника желтого составило соответственно 36,2 и 29,6 %, то есть адаптивный потенциал двух видов по отношению к избытку хлорида натрия в зоне корней был примерно одинаков. Аналогичные результаты получены в Австралии при изучении влияния почвенного засоления на рост и развитие интродуцированных там однолетних и многолетних видов донника (48).

Согласно полученным нами данным, солеустойчивые сорта и образцы донника часто происходят из регионов с широким распространением засоленных почв, что следует учитывать при определении стратегии сбора ценных для селекции на солеустойчивость форм. В селекционных программах используют для скрещиваний продуктивные по зеленой массе и устойчивые к солевому стрессу родительские формы для получения перспективных сортов (49). Несмотря на имеющееся сортовое разнообразие донника, поиск новых генотипов всегда остается актуальным для создания более продуктивных и адаптированных к неблагоприятным факторам среды сортов (50).

Таким образом, в коллекциях белого и желтого донника нами впервые выделены образцы с высокой стартовой интенсивностью роста растений в контрольных условиях выращивания (отсутствие засоления). Внесение в зону корней хлорида натрия негативно сказывалось на ростовых показателях растений. Торможение роста корней и ростков было тем существеннее, чем сильнее оказывалось стрессорное воздействие. Выделенные образцы и сорта могут послужить новым исходным материалом для создания сортов донника желтого и белого, устойчивых к хлоридному за-

солению в период раннего роста растений, что позволит более широко использовать потенциал этих видов для кормовых и биоремедиационных целей. Ряд выделенных нами солеустойчивых сортов характеризуются высокой продуктивностью, интенсивным отрастанием после скашивания, скороспелостью, био- и абиотической устойчивостью, ценными биохимическими свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cocks P.S. Ecology of herbaceous perennial legumes: a review of characteristics that may provide management options for the control of salinity and waterlogging in dryland cropping systems. *Aust. J. Agr. Res.*, 2001, 52(2): 137-151 (doi: 10.1071/AR99170).
2. Maddaloni J. Forage production on saline and alkaline soils in the humid region of Argentina. *Reclam. Reveg. Res.*, 1986, 56: 11-16.
3. Лопатовская О.Г., Сугаченко А.А. *Мелиорация почв*. Иркутск, 2010.
4. Evans P.M., Kearney G.A. *Melilotus albus* Medick. is productive and regenerates well on saline soils neutral to alkaline reaction in the high rainfall zone of south-western Victoria. *Aust. J. Exp. Agric.*, 2003, 43: 349-355.
5. Smith W.K., Gorz H.J. Sweet clover improvement. *Adv. Agron.*, 1965, 17: 63-231.
6. Stevenson G.A. An agronomic and taxonomic review of the genus *Melilotus* Mill. *Can. J. Plant Sci.*, 1969, 49: 1-20.
7. Таловина Г.В. *Род Melilotus L. во флоре России и сопредельных стран (систематика, география, экология, стратегия сохранения)*. Автореф. канд. дис. СПб, 2011.
8. Суворов В.В. Донник — *Melilotus*. *Культурная флора СССР*. М.-Л., 1950, т. 13, вып. 1: 345-502.
9. Al Sherif E.A. *Melilotus indicus* (L.), a salt tolerant wild leguminous herb with high potential for use as forage crop in salt-affected soils. *Flora — Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 2009, 204(10): 737-746 (doi: 10.1016/j.flora.2008.10.004).
10. Dzyubenko N.I. Genetic resources of rangeland plants of Central Asia. *Proc. IX International Rangeland Congress*. Rosario, Argentina, 2011: 491-495.
11. Muntyan A.N., Belova V.S., Chizhevskaya E.P., Rumyantseva M.L., Simarov B.V., Andronov E.E. Molecular analysis of the genetic diversity of populations of sweet clover (*Melilotus dentatus* Pers.). *Agricultural Biology*, 2012, 6: 92-99 (doi: 10.15389/agrobiol.2012.6.92eng).
12. *Interactive Agricultural Ecological Atlas of Russia and Neighboring Countries. Economic Plants and their Diseases, Pests and Weeds* /A.N. Afonin, S.L. Greene, N.I. Dzyubenko, A.N. Frolov (eds.). 2008. Available: <http://www.agroatlas.ru>. No date.
13. De Dios Guerrero-Rodríguez J., Revell D.K., Bellotti W.D. Mineral composition of lucerne (*Medicago sativa*) and white melilot (*Melilotus albus*) is affected by NaCl salinity of the irrigation water. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 2011, 170(1-2): 97-104 (doi: 10.1016/j.anifeedsci.2011.07.011).
14. Жумадилова Ж.Ш., Мухамбетов Б., Абдиева К.М., Шорабаев Е.Ж., Саданов А.К. Влияние донника на солевой режим и органо-минеральный состав почвы рисового севооборота в условиях Приаралья. *Успехи современного естествознания*, 2014, 5: 546-549.
15. Luo K., Jahufer M.Z.Z., Wu F., Di H., Zhang D., Meng X., Zhang J., Wang Y. Genotypic variation in a breeding population of yellow sweet clover (*Melilotus officinalis*). *Front. Plant Sci.*, 2016, 7: 972 (doi: 10.3389/fpls.2016.00972).
16. Ибрагимова М.В., Румянцева М.Л., Онищук О.П., Белова В.С., Курчак О.Н., Андронов Е.Е., Дзюбенко Н.И., Симаров Б.В. Симбиоз клубеньковых бактерий *Sinorhizobium meliloti* с люцерной *Medicago sativa* в условиях засоления. *Микробиология*, 2006, 75(1): 94-100.
17. Тысленко А.М., Тужилин В.М., Новиков М.Н. Средоулучшающая и продукционная роль донника в полевых севооборотах. В сб: *Агроэкологические функции органических веществ почвы и использование органических удобрений и биоресурсов в ландшафтном земледелии*. Владимир, 2004: 407-410.
18. Мушинский А.А. Ценность однолетнего донника как кормовой и мелиоративной культуры. *Известия Оренбургского аграрного университета*, 2004, 4: 29-31.
19. Блохина Л.П. *Донник белый — перспективная агроценотическая культура*. Пенза, 2003.
20. Коломейченко В.В., Дурнев Г.И. Использование многолетних трав для фитомелиорации «бросовых» земель на Среднерусской возвышенности. *Мат. Межд. конф. «Экологические основы повышения продуктивности и устойчивости агроландшафтных систем»*. Орел, 2001: 222-237.
21. Джамбулатов М.М., Гасанов Г.Н., Мусаев М.Р., Сапуллаев А.М., Мансуров Н.М. Фитомелиорация засоленных почв Западного Прикаспия. *Аграрная наука*, 2008, 3: 27-30.
22. Мухамбетов Б. Солеустойчивые сорта донника и бездренажное их возделывание на засоленных почвах. *Мат. Межд. конф. «Перспективные технологии для современного сельскохозяйственного производства»*. Волгоград, 2009: 133-144.

23. Целовальников В.К., Чухлебова Н.С. Донник — ценная кормовая и сидеральная культура для тяжело-суглинистых солонцовых почв Ставрополя. М., 2007.
24. Тимофеева М.К., Максимова Х.Н., Николаева В.С. Влияние донника на плодородие засоленных почв Центральной Якутии. В сб: *Проблемы сохранения растительного покрова Внутренней Азии*. Улан-Удэ, 2004, т. 2: 107-108.
25. Negão S., Schmuckel S.M., Tester M. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Ann. Bot.*, 2017, 119(1): 1-11 (doi: 10.1093/aob/mcw191).
26. Иванов А.И., Четвертных Л.М. Оценка коллекции видов и сортов *Melilotus* и изменчивость их признаков. *Вестник сельскохозяйственной науки*, 1980, 5: 117-122.
27. Косарева И.А., Давыдова Г.В., Дзюбенко Н.И., Дук О.В. К вопросу о кислотоустойчивости донника желтого. *Мат. Межд. конф. «Генетические ресурсы культурных растений. Проблемы мобилизации, инвентаризации, сохранения и изучения генофонда важнейших сельскохозяйственных культур для решения приоритетных задач селекции»*. СПб, 2001: 314.
28. Косарева И.А., Дук О.В., Малышев Л.Л., Давыдова Г.В., Яковлева М.Ю. *Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 794. Донник. Лабораторная оценка образцов на устойчивость к алюминотоксичности*. СПб, 2009.
29. Scasta J.D., Trostle C.L., Foster M.A. Evaluating alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars for salt tolerance using laboratory, greenhouse and field methods. *J. Agr. Sci.*, 2012, 4(6): 90-103 (doi: 10.5539/jas.v4n6p90).
30. Rumbaugh M.D., Pendery B.M. Germination salt resistance of alfalfa (*Medicago sativa* L.) germplasm in relation to subspecies and centers of diversity. *Plant Soil*, 1990, 124(1): 47-51 (doi: 10.1007/BF00010930).
31. Hefny M.M., Dolinski R. Evaluation of different alfalfa (*Medicago sativa* L. sensu lato) varieties under different concentrations of NaCl during germination stage. *North American Alfalfa Improvement Conference Proceedings*. Bozeman, 1998. Available: <http://www.naaic.org/Publications/1998Proc/abstracts/Hefny.html>. Дата обращения: 27.12.2018.
32. Jun Li M., Jing Hui Y., Mi Chao M., Bin Qiong H., Xiao Jie S. Study on salt tolerance of seven different *Melilotus* varieties. *J. Northwest A F Univ. Nat. Sci.*, 2009, 37: 73-78.
33. Zhu J. Plant salt tolerance. *Trends Plant Sci.*, 2001, 6(2): 66-71.
34. Esehie H.A., Rodriguez V., Al-Asmi H.S. Effect of sodium chloride salinity on cation equilibria in alfalfa (*Medicago sativa*). *Crop Res.*, 2002, 23(2): 253-258.
35. Petkova M., Tchorbadjeva M., Panchev I., Odjakova M. Protein profiles of adapted to NaCl embryogenic suspension cultures of orchard grass. *Годишник на Софийския университет “Св. Климент Охридски”*, 2005, 96(4-1): 25-31.
36. Hasegawa P.M., Bressan R.A., Pardo J.M. The dawn of plant salt to tolerance genetics. *Trends Plant Sci.*, 2000, 5(8): 317-319 (doi: 10.1016/S1360-1385(00)01692-7).
37. Hasegawa P.M., Bressan R.A., Zhu J.K., Bohnert H.J. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annu. Rev. Plant Phys.*, 2000, 51: 463-499 (doi: 10.1146/annurev.arplant.51.1.463).
38. Merchan F., de Lorenzo L., González Rizzo S., Niebel A., Manyani H., Frugier F., Sousa C., Crespi M. Identification of regulatory pathways involved in the reacquisition of root growth after salt stress in *Medicago truncatula*. *Plant J.*, 2007, 51(1): 1-17 (doi: 10.1111/j.1365-313X.2007.03117.x).
39. Косарева И.А., Вишневская М.С. Концентрация поглощенных ионов натрия и калия в тканях растений *Medicago* sp., различающихся по солеустойчивости. *Известия СПбГАУ*, 2015, 38: 72-76.
40. Munns R., James R.A. Screening methods for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. *Plant Soil*, 2003, 253(1): 201-218 (doi: 10.1023/A:1024553303144).
41. Ashraf M. Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. *Flora — Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 2004, 199(5): 361-376 (doi: 10.1078/0367-2530-00165).
42. De Lorenzo L., Merchan F., Laporte P., Thompson R., Clarke J., Sousa C., Crespi M. A novel plant leucine-rich repeat receptor kinase regulates the response of *Medicago truncatula* roots to salt stress. *The Plant Cell*, 2009, 21(2): 668-680 (doi: 10.1105/tpc.108.059576).
43. Синельникова В.Н. *Методические указания для определения солеустойчивости кормовых культур по прорастанию семян в солевых растворах: Донник*. Л., 1977.
44. Ahmad M., Shahzad A., Iqbal M., Asif M., Hirani A.H. Morphological and molecular genetic variation in wheat for salinity tolerance at germination and early seedling stage. *Australian Journal of Crop Science*, 2013, 7(1): 66-74.
45. Mugwira L.M., Edgawhary S.M., Patel S.U. Aluminium tolerance in triticale, wheat and rye as measured by root growth characteristics and aluminium concentration. *Plant Soil*, 1978, 50(1-3): 681-690 (doi: 10.1007/BF02107219).
46. Sammar Raza M.A., Saleem M.F., Khan I.H., Jamil M., Ijaz M., Khan M.A. Evaluating the drought stress tolerance efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*, 2012, 12(12): 12-18.
47. Полевой В.В., Чиркова Т.В., Лутова Л.А., Саламатова Т.С., Барашкова Э.А., Кожушко Н.Л., Синельникова В.Н., Косарева И.А. *Практикум по росту и устойчивости расте-*

ний. СПб, 2001.

48. Rogers M.E, Colmer T.D., Frost K., Henry D., Cornwall D., Hulm E., Deretic J., Hughes S.R., Craig A.D. Diversity in the genus *Melilotus* for tolerance to salinity and waterlogging. *Plant Soil*, 2008, 304(1-2): 89-101 (doi: 10.1007/s11104-007-9523-y).
49. Zabala J.M., Marinoni L., Giavedoni J.A., Schrau G.E. Breeding strategies in *Melilotus albus* Desr., a salt-tolerant forage legume. *Euphytica*, 2018, 214: 22 (doi: 10.1007/s10681-017-2031-0).
50. Zhang H., Wu F., Guo W., Bai R., Yan Z., Muvunyi B.P., Yan Q., Zhang Y., Yi X., Zhang J. Genetic variation and diversity in 199 *Melilotus* accessions based on a combination of 5 DNA sequences. *PLoS ONE*, 2018, 13(3): e0194172 (doi: 10.1371/journal.pone.0194172).

ФГБНУ ФИЦ Всероссийский институт
генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова,
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42-44,
e-mail: irkos2004@yandex.ru ✉

Поступила в редакцию
15 октября 2017 года

Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology], 2018, V. 53, № 6, pp. 1294-1302

SCREENING OF SWEET CLOVER (*Melilotus* Adans.) SPECIES DIVERSITY FOR RESISTANCE TO CHLORIDE SALINIZATION

N.I. Dzyubenko, O.V. Duk, L.L. Malyshev, Yu.A. Prosvirin, I.A. Kosareva

Federal Research Center Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42-44, ul. Bol'shaya Morskaya, St. Petersburg, 190000 Russia, e-mail irkos2004@yandex.ru (✉ corresponding author)

ORCID:

Dzyubenko N.I. orcid.org/0000-0003-0250-5814

Duk O.V. orcid.org/0000-0001-9441-5802

Malyshev L.L. orcid.org/0000-0002-8595-1336

Prosvirin Yu.A. orcid.org/0000-0001-8018-8240

Kosareva I.A. orcid.org/0000-0003-2522-5575

The authors declare no conflict of interests

Acknowledgements:

The work was performed according to the State Assignment (VIR topic No. 0662-2018-0016)

Received October 15, 2017

doi: 10.15389/agrobiology.2018.6.1294eng

Abstract

Saline soils are widespread in the world, including in CIS countries. Species of sweet clover (genus *Melilotus* Adans.) which are valuable fodder plants, e.g. at insufficient moisture on chestnut saline soils, are also among the best phytomeliorants in the legume family. However, during early stages of growing the sweet clover has poor salinity tolerance. Here, we modified earlier developed test and screened accessions of the VIR World Collection (Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources) for resistance to chloride salinity, and for the first time identified among them the forms with high salinity resistance. In the research we used a laboratory method of assessing salt tolerance. Samples of white and yellow sweet clover were grown under controlled conditions, in water culture, according to the following scheme: control (without salinity); salinity of 3 atm. NaCl; the salinity of 5 atm. NaCl. The length of root and sprout of seedlings were measured after 5-day exposure to the stressor. For each sample we calculated the indices of the root length and the sprout length as the ratio of the relevant medium parameters of plants in the test to that in the control. The higher the index value, the more salt-tolerant the sample is. In our tests, chloride salinity caused growth inhibition of roots and shoots samples of both species. The degree of negative growth response intensifies with an increase in NaCl concentration. It was shown that salt stressor intensifies intra- and interpopulation variability of sweet clover growth indicators. It is established that the root length index is more informative diagnostic criterion for laboratory screening for salt tolerance among sweet clover plants. The studied fragment of the collection includes 36.2 % of resistant samples of white sweet clover and 29.6 % of yellow sweet clover, i.e. the adaptive capacity towards excess of sodium chloride in the root zone of the studied species is approximately the same. Salt-resistant varieties of white clover come from Far East (Ryadovoi and Diomid), Kazakhstan (Shedevr 75), Novosibirsk (Lucernovidnyi D-20) and Ivanovo (wild sample k-15650) regions; of yellow sweet clover — from Western Siberia (Omskii 8, Omskii 916, Novosibirskii 1, Severotatarskii, Khorog 2155). Selected salt tolerant forms can serve as initial parental forms for creation of yellow and white sweet clover varieties resistant to chloride salinity during early stages of plant development. This will allow better use of the potential of these species for forage, and for bioremediation goals. According to the obtained data, salt-tolerant sweet clover samples often originate from a region with widespread saline soils that should be considered to determine the strategy of search for forms with edaphic resistance valuable for breeding. Many of the selected salt-tolerant varieties are also characterized by other important breeding traits: high productivity, intensive regrowth after cutting, precocity, biotic and abiotic resistance to viruses, drought, low temperatures, unfavorable overwintering, valuable biochemical properties such as high protein content and low coumarin level.

Keywords: chloride salinity, *Melilotus*, sweet clover, salt tolerance, growth indicators, variability, root length index.