

ХАРАКТЕРИСТИКА СОЛЕУСТОЙЧИВОСТИ КОРМОВЫХ КУЛЬТУР В НАЧАЛЬНОЙ ФАЗЕ ВЕГЕТАЦИИ ПРИ ЗАСОЛЕНИИ ЧЕРНОЗЕМА ХЛОРИДОМ НАТРИЯ

Р. И. Зайцева, Л. И. Желнакова, Н. С. Никитина

Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН
Ставропольский НИИ сельского хозяйства

Изложены результаты исследования влияния концентрации ионов в почвенном растворе и его осмотического давления на рост проростков кормовых культур (преимущественно многолетних трав) на образцах чернозема, увлажненного NaCl (в диапазоне засоления 1–18 г/л), при влажности, близкой к наименьшей влагоемкости. Показано, что между длиной проростков и показателями засоления почвы существует линейная зависимость. Параметры уравнений регрессии значимы при уровне 0,05. Анализ связи относительной длины проростков с солевым и осмотическим показателями раствора позволил сравнить между собой 27 культур по степени солеустойчивости. Обнаружены различия между сортами пырея удлиненного и сорго сахарного, райграсом многоукосным и высоким, тритикале зерно-кормовым и кормовым.

В 80-х годах XIX в. проблеме возделывания важнейших кормовых трав на полях и поиску мер для улучшения естественных лугов и пастбищ были посвящены работы П.А. Костычева (1886, 1912). Среди обследованных им областей были полупустынная, сухостепная и степная зоны на юго-востоке Русской равнины с необычайной пестротой почвенного и растительного покровов. Им описаны растительные формации с указанием растений, составляющих главную массу кормов. И это был один из первых опытов поиска способов их улучшения. Костычевым показано, что изменение растительности на естественных лугах вызывается только лишь изменением в свойствах почвы. В тех случаях, когда возможно орошение полей (в южных губерниях России), многолетние кормовые травы оказываются самым лучшим, незаменимым средством для поддержания плодородия почвы и повышения урожая.

В первом десятилетии XX в. на орошаемых земельных массивах юго-востока России, в Туркестане (Мургабское имение, Голодная степь) и в Закавказье (Муганская степь) появились очаги засоленных почв, и последовало снижение урожаев (Коссович, 1903; Труды с.-х. хим. лаборатории, 1909). П.С. Коссович, С.А. Захаров, К.Ф. Маляревский, К.К. Гедройц изучали распределение солей в почве и их влияние на растения в естественных условиях при хлоридном засолении почв Голодной степи и в вегетационных сосудах при искусственном внесении солей. Оказалось, что содержание хлора, превышающее 0.05%, является вредным для жизни боль-

шинства культурных растений. П.С. Коссович (1903) определял солонцеватую (засоленную) почву как культурную среду, на которой развитие культурных злаков при местных климатических условиях задерживается избытком в почве растворимых солей. Аналогичные исследования проводились на других опытных полях, участках, станциях (Зеравшанское, Мургабский, Костычевская и Безенчукская в Самарской губернии, Саратовская). Результаты этих исследований с учетом работ иностранных ученых были впервые обобщены в монографии Н.М. Тулайкова (1922). Было показано, что в присутствии растворимых солей сильно замедляется впитывание воды семенами пшеницы перед их прорастанием, уменьшается набухание, задерживаются всходы, сокращается вегетационный период, резко снижается рост всходов, появляются выпадения растений на полях, сокращается урожай. В растворах различных солей семена прорастают в зависимости не от процентного содержания солей, но от того осмотического давления, которое ими создается. Тулайков показал, что при оптимальном осмотическом давлении почвенного раствора увеличиваются рост и урожай надземной массы зерновых культур. Еще ранее А.Ф. Шимпером (Schimper, 1898) введено понятие «физиологической сухости» почвы. Во многих работах отмечалось, что растения в молодом возрасте более чувствительны к избытку растворимых солей. Часто сорта одного вида обладали различной степенью выносливости к наличию различных солей.

К.К. Гедройц (1910), оценивая способы мелиорации и самомелиорации засоленных почв, писал, что «... особое внимание необходимо обратить на выбор подходящих видов и сортов растений, а также на вывод новых сортов, более стойких в отношении засоленности». Наряду с вегетационным методом, Гедройц широко применял метод искусственных почв, когда на фоне однородного основного субстрата создается целый ряд почвенных разновидностей. Наблюдая жизнь 5–6-дневных всходов, помещенных в растворы солей, он тщательно отмечал важнейшие признаки страдания растений в их последовательности: потеря упругости, потемнение корней, засыхание листьев, истончение стебля – после чего растение погибало (Гедройц, 1917).

Результаты исследования солеустойчивости растений в последующие десятилетия обобщены в монографиях А.А. Шахова (1956), Г.В. Удовенко (1977), Э. Бреслера и др. (1987). В результате совместных усилий почвоведов и физиологов создана классификация почв по степени и качеству засоления в связи с состоянием полевых культур, характеризующихся средней солеустойчивостью. Принято, что потеря урожая на 10–20, 20–50, 50–80 и 100% связана со слабой, средней, сильной и очень сильной (солончаки) степенью засоления почвы (при нормальном урожае на почвах незасоленных) (Ковда, Егоров, 1960).

В 70-х годах XX в. столетия устанавливаются и уточняются параметры для оценки качества и степени засоления почв путем сравнения данных по составу и концентрации почвенных растворов и водных вытяжек с применением в ряде исследований регрессионного анализа (Минашина, 1970; Муратова, Маргулис, 1971; Зимовец, 1976; Рожков, 1970). Определяется осмотическое давление почвенного раствора (Рыжов, 1970; Удовенко, 1970, 1977). Показано, что при хлоридном типе засоления различие между данными водной вытяжки и почвенными растворами невелико и составляет (по сумме солей) от 0.06 до 0.11% (в сильнозасоленной почве). Концентрация иона хлора в среднем на 0.01–0.05% больше в почвенном растворе и только при очень сильной степени засоления разница составляет 0.1–0.2% (Зимовец, 1976). Фрагменты из различных классификаций почв по степени засоления (для хлоридного типа) приведены в табл. 1.

В современной земледелии разработка технологий подготовки почвы и возделывания культур должна базироваться на знании оптимальных параметров почв с учетом требований конкретной культуры и сорта, особенно в стартовый период (Каштанов, 2005).

Таблица 1. Градации степени засоленности почвы по солевому и осмотическому показателям засоления

Почвы	Концентрация солей в почвенном растворе, г/л			Сумма солей, %	Содержание хлора		Уровни осмотического давления ПР, –P, атм
					мг-экв/100 г	%	
	1	2	3	4	5	6	
	Хлоридный тип засоления						
Незасоленные	< 3	Нет	2.1	Нет	Нет	<0.03	1-2
Слабозасоленные	3-7	4-8	4.5	0.1-0.2	0.3-0.9	0.03-0.20	2-4
Среднезасоленные	7-15	8-15	8.2	0.2-0.4	0.9-2.8		4-8
Сильнозасоленные	15-30	15-30	20.6	0.4-0.8	2.8-6.5	0.20-0.40	8-11
Очень сильнозасоленные, солончаки	> 30	Нет	29.2	> 0.8	> 6.5	> 0.40	Нет

Примечание. Показатели засоления почвы приведены по работам: 1 – Минашиной, 1970; 2 – Муратовой, 1971; 3 – Зимовцу, 1976; 4 – Классификации и диагностике почв СССР, 1977; 5 – Грабовской, 1947; 6 – Рыжову, 1970; Удовенко, 1977.

В данной статье представлены результаты модельных опытов по изучению влияния концентрации (C) и осмотического давления (P) почвенного раствора (ПР) на рост кормовых растений (в период посев–всходы), возделываемых в условиях агроландшафтов Ставропольского края. В Ставропольском крае, в черноземной и каштановой зонах широко распространены почвы, засоленные нейтральными солями. Их площадь составляет около 1.3 млн. га, из которых около 600 тыс. га находятся в черноземной зоне (Засоленные почвы..., 1973). Для восстановления и улучшения малопродуктивных, деградированных, засоленных естественных кормовых угодий, создания многолетних культурных пастбищ и предотвращения эрозии почв в адаптивно-ландшафтном земледелии необходимо иметь широкий набор сортов многолетних трав. В лабораторных опытах были испытаны селекционные сорта Ставропольского НИИ сельского хозяйства.

Семена высевали в образцы пахотного горизонта пылевато-тяжелосуглинистого типичного чернозема (Курская обл., Петринский опорный пункт). В гранулометрическом составе фракция физической глины составляет 47%; содержание крупно-, средне- и мелкопылевой и илистой фракций равно 48, 13, 18 и 15% соответственно. Почва содержит 6.2% гумуса и имеет слабокислую реакцию ($pH_{\text{водн}}$ 6.0; pH_{KCl} 5.4). Сумма обменных катионов 20.9 ммоль экв/100, из которых 17.4 ммоль экв составляют ионы кальция; 2.9 ммоль экв – ионы магния; 0.3 ммоль экв – ионы натрия и 0.3 ммоль экв – ионы калия. Сумма солей по данным водной вытяжки составляет 0.03%. Максимальная гигроскопическая влажность равна 9.4%; полная влагоемкость – 37% от веса почвы. Семена проращивали в слое почвы толщиной 2–5 см. Нормы посева семян в зависимости от их крупности составляли 7, 9, 15 и 17 семян на сосуд. Для создания вариантов по засолению, почву увлажняли растворами хлорида натрия в концентрациях 0.025, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 и 0.30 моль экв/л. В контрольном (бессолевым) варианте брали дистиллированную воду. Исходная влажность в состоянии спелости почвы ($W = 31.5 \pm 0.5\%$) была оптимальной для ростовых процессов и создавалась при внесении 27 мл раствора соли (или воды) на 100 г почвы. Показателем ростовых процессов являлась длина проростков (H , мм). Условия прорастания семян и сроки определения высоты проростков были установлены с учетом методики проращивания семян при определении их всхожести (ГОСТ 12038-84). Злаковые культуры прорастали в затененных гидротермостатах при температуре 19–20°C 10–11 суток, бобовые – 7–8 суток. Остаточная влажность почвы после прорастания составляла $28 \pm 0.5\%$. В конце опыта стебельки срезали, измеряли длину и взвешивали. Сырой вес проростков, являясь прямым показателем продуктивности, связан линейной зависимостью с их длиной: $П/П_0 = 0.087 + 0.88 H/H_0$, где $П/П_0$ и H/H_0 – относительные значения продуктивности и высоты проростков, соответственно. Параметры данного уравнения значимо от-

личны от нуля. При высоком качестве сортообразцов трав некоторое число семян в большинстве вариантов оказывалось невсхожим; другие семена с повышенной энергией прорастания дали, наоборот, существенно выделяющиеся по высоте проростки. Возникла неопределенность при изучении выборочного среднего, обусловленная биологической природой объекта исследования. Непостоянство среднего показало, что высота проростков не подчиняется закону нормального (симметричного) распределения. В связи с этим на первом этапе обработки данных был применен один из непараметрических методов. В выборках ранжированных значений длины проростков каждого варианта вычисляли непараметрическое выборочное среднее – медиану (Med), отражающую характер распределения в его центральной части (Благовещенский и др., 1984). Далее связь медианного значения длины проростков (H) с концентрацией почвенного раствора (C) и его осмотическим давлением (P) рассматривалась как функция, вполне соответствующая стандартному нормальному распределению с постоянным средним. Почвенные растворы при влажности 0.8 полной влагоемкости извлекали из параллельных образцов при помощи мембранного пресса при давлении газа 7 атм. В полученных фильтрах определяли концентрации Na^+ (методом пламенной фотометрии), Ca^{2+} и Mg^{2+} (трилометрическим методом) и хлора (аргентометрическим методом). Осмотическое давление почвенного раствора определяли непосредственно в части образцов почвы, подготовленных для посева культур, криоскопическим методом (Возбуждая, 1968) с измерением температуры замерзания ПР в почве термометром Бекмана. Величину P (атм) рассчитывали по следующей формуле:

$$P = -(tL) / (T_0V),$$

где t и T_0 – понижение температуры замерзания почвенного раствора и абсолютная температура замерзания чистой воды (273 К); L – скрытая теплота замерзания воды, равная 59.3 л атм/моль; V – объем 1 моля воды при температуре 0°C, равный 0.018 л. В физике почв принято, что повышение C раствора снижает его P , которое принимается равным нулю в чистой воде и отрицательным в растворах.

Данные о химическом составе почвенных растворов (предпосевное определение) и их осмотическом давлении представлены в табл. 2. Связь осмотического давления почвенного раствора с количеством растворенных в нем солей выражается уравнением

$$y = 1.37 + 0.746x,$$

где y – осмотическое давление ПР ($-P$, атм), а x – сумма солей, г/л.

Связь между суммой солей (y) и концентрацией хлора (Cl) (x) описывается линейной функцией $y = 0.057x$, где y – сумма солей, г/л; а x – концентрация Cl в ПР, моль экв/л. Расчеты показали, что содержание солей (в %) связано с их суммой (C , г/л) в ПР следующим соотношением: Соли, % = $0.027 C$, г/л. Максимальный расход влаги травами за время опыта

Таблица 2. Состав и осмотическое давление почвенных растворов в черноземе, засоленном NaCl (влажность $31 \pm 0.3\%$)

Вариант, C_{NaCl} , МОЛЬ ЭКВ/Л	Концентрация ионов в ПР				Сумма солей, г/л	Осмотическое давление, атм	
	Cl ⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		в начале опыта ($W=31 \pm 0.3\%$)	в конце опыта (после чумизы) ($W=28.6 \pm 0.4\%$)
0.025	29	7	20	2	1.6	-2.4	-3.3
0.05	61	17	41	4	3.4	-4.0	-4.5
0.10	109	37	69	5	6.1	-6.0	-6.7
0.15	187	78	100	8	10.4	-9.0	-9.3
0.20	251	120	125	10	14.2	-12.1	-12.8
0.25	321	163	175	12	18.6	-15.4	-14.7
0.30	384	206	162	14	21.6	-17.3	Не опр.

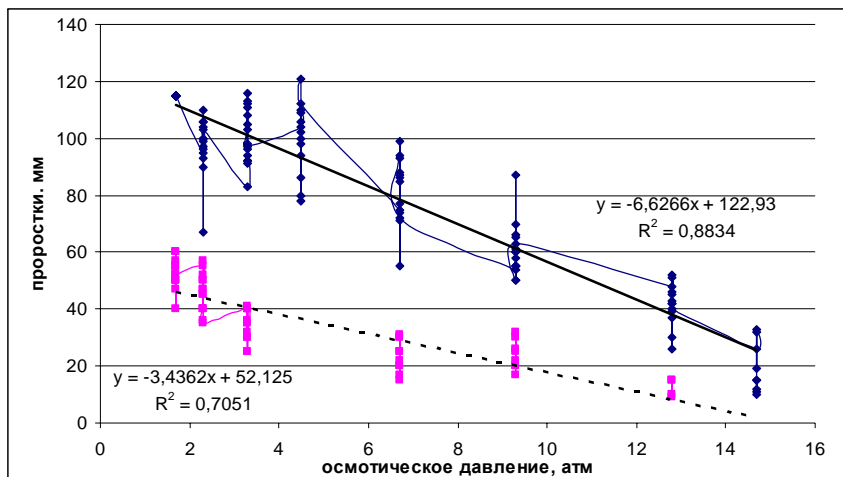


Рис. 1. Высота проростков чумизы (сплошная линия) и клевера лугового (пунктир) в зависимости от осмотического давления почвенного раствора.

не превышал 1–1.5% (для эспарцета 3%), и сколько-нибудь значительного снижения P в ходе опыта (по сравнению с исходной величиной) не происходило.

Результаты статистического анализа связи между длиной проростков (H), концентрацией Cl в почвенном растворе и осмотическим давлением почвенного раствора приведены в табл. 3. На рисунке отображены результаты опыта с чумизой и клевером луговым.

При весьма тесной корреляционной связи (коэффициент корреляции $r \geq 0.90$), зависимости H от C и H от P описываются уравнением регрессии прямолинейного типа: $y = a - bx$, где b – коэффициент пропорциональности, который показывает, насколько в среднем уменьшается H при увеличении C на 1 ммоль экв/л или при снижении P на 1 атм; a – свободный член, который при построении теоретической линии регрессии равен максимальной длине проростков (H_{\max}); знак « \rightarrow » соответствует знаку коэффициента корреляции.

Проверка нулевой и альтернативной гипотез с использованием критерия Стьюдента показала, что параметры a и b по результатам всех опытов (за исключением одного) являются значимыми при уровне значимости 0.05 ($v = n - 2$).

В опыте с ежой сборной параметр b (0.32) значим при уровне значимости 0.10. Значимость отличия параметров от нуля позволяет утверждать наличие прямой линейной связи между длиной проростков и давлением почвенной влаги ($-P$, атм) и обратной связи между длиной проростков и концентрацией солей в почвенном растворе.

В табл. 3 приведены коэффициенты K_C и K_P , характеризующие снижение относительной длины проростков в долях единицы ($H_{\text{отн}} = H/H_0$, где H – средняя длина проростков и H_0 – максимальная длина при оптимальных условиях) при увеличении концентрации иона хлора на 1 ммоль экв/л (K_C) и увеличении P (по абсолютной величине) на 1 атм (K_P). Коэффициенты отражают интенсивность ростовых процессов при изменении степени засоления почвы и позволяют судить об относительной солеустойчивости культур. Культуры ранжировали (табл. 3, 4) по коэффициентам K_P , отражающим доступность воды растениям в засоленных почвах.

По данным табл. 3 составлена табл. 4. При определении уровней относительной длины проростков использованы градации продуктивности сельскохозяйственных растений (Державин, 2002).

Согласно схеме выделяются следующие интервалы продуктивности с оценкой в баллах: оптимальный (100–80) с высокими показателями продуктивности; интервал слабого снижения от оптимума (80–40) с повышенными и средними показателями и интервал сильного снижения от оптимума (40–20) с низкими показателями. При оценке менее 20 баллов условия считаются непригодными для выращивания сельскохозяйственных культур. Принятые нами значения H/H_0 соответствуют нижним границам описанных интервалов и «нулевому» уровню с критическими значениями C_0 и P_0 , при которых всходы за срок опыта не появились, а корешки были развиты слабо или вовсе не проклюнулись.

Культуры ранжировали на 4 группы (I – наиболее солеустойчивые культуры, IV – наименее солеустойчивые культуры) по величинам P , определяющим доступность воды всходам растений (табл. 4).

Таблица 3. Параметры уравнений регрессии ($y = a - bx$) зависимости длины проростков (H , мм) от концентрации СГ (C , ммоль экв/л) и осмотического давления ($-P$, атм) почвенного раствора. Коэффициенты детерминации (R^2) и снижения H/H_0 проростков (K_C и K_P)

Кормовое растение	Сорт	n	Параметры уравнения в зависимости от						$K_C \times 10^{-4}$	$K_P \times 10^{-3}$
			концентрации хлора			осмотического давления				
			$a \pm sa$	$b \pm sb$	R^2	$a \pm sa$	$b \pm sb$	R^2		
Рожь многолетняя, <i>Secale cereale L.</i>	Державная 29	7	155±9	0.40±0.05	0.92	165±11	9.1±1.4	0.90	26	55
Чумиза*, <i>Setaria italica maxima</i>	Стачуми	7	110±4	0.28±0.03	0.96	117±4	6.5±0.42	0.98	25	56
Рожь многолетняя, <i>Secale cereale L.</i>	Бенталь	7	159±12	0.42±0.07	0.88	169±14	9.7±1.7	0.86	26	57
Сорго многолетнее, <i>Sorghum bicolor</i>	Травинка	7	141±8	0.42±0.04	0.96	146±11	9.1±1.2	0.92	30	62
Пырей удлинённый, <i>Agropyron elongatum</i>	Солончаковский	5	165±8	0.45±0.05	0.96	176±7	11.4±0.9	0.98	27	65
Эспарцет Закавказский, <i>Onobrychis transcaucasica</i>	К-4	5	70±6	0.21±0.03	0.94	72±8	4.7±1.0	0.85	30	65
Могар*, <i>Setaria italica</i>	Стамого	6	117±8	0.34±0.06	0.90	125±10	8.2±1.6	0.86	29	66
Райграс многоукосный, <i>Lolium multiflorum</i>	Талан	5	138±8	0.38±0.08	0.88	150±8	10±1.5	0.94	28	67
Тритикале*, <i>Triticococale</i>	Двуручка 77	7	182±11	0.56±0.06	0.94	194±16	13±1.9	0.90	31	67
Люцерна посевная, <i>Medicago sativa L.</i>	Кевсала	5	60±8	0.19±0.05	0.81	65±9	4.4±1.2	0.81	32	68
Житняк гребневидный, <i>Agropyron cristatum</i>	Викров	6	127±13	0.39±0.10	0.81	138±16	9.4±2.3	0.81	31	68
Житняк сибирский, <i>Agropyron fragile</i>	Новатор	6	134±13	0.42±0.10	0.83	147±15	10±2.1	0.85	31	68
Сорго многолетнее, <i>Sorghum bicolor</i>	Караван	7	130±11	0.43±0.06	0.90	145±6	10.4±0.17	0.98	33	72
Райграс высокий, <i>Arrhenatherum elatius</i>	Стрелец	6	126±6	0.41±0.05	0.96	134±10	9.9±1.5	0.92	32	74
Вика посевная (яровая)*, <i>Vicia sativa L.</i>	Паннонская	7	123±7	0.44±0.04	0.96	135±8	10.1±0.9	0.96	36	75

Продолжение таблицы 3

Кормовое растение	Сорт	n	Параметры уравнения в зависимости от						$K_C \times 10^{-4}$	$K_P \times 10^{-3}$
			концентрации хлора			осмотического давления				
			$a \pm sa$	$b \pm sb$	R^2	$a \pm sa$	$b \pm sb$	R^2		
Овсяница луговая, <i>Festuca pratensis</i>	Ставропольская 20	6	121±12	0.42±0.08	0.86	133±15	10±2.1	0.85	35	75
Пырей удлинённый, <i>Agropyron elongatum</i>	Ставропольский 10	4	119±7	0.39±0.04	0.98	127±11	9.6±1.4	0.96	33	76
Кострец безостый, <i>Bromopsis inermis</i>	Ставропольский 31	5	127±8	0.42±0.08	0.96	140±9	10.8±1.2	0.96	33	77
Кострец безостый, <i>Bromopsis inermis</i>	Вергур	5	86±8	0.30±0.05	0.92	96±10	7.7±1.4	0.90	35	80
Сорго сахарное*, <i>Sorghum saccharatum</i>	Ларец	5	110±15	0.39±0.10	0.81	125±9	10±1.2	0.96	35	80
Суданская трава (травянистое сорго), <i>Sorghum sudanense</i>	Землячка	6	116±8	0.45±0.06	0.94	122±12	9.8±1.6	0.90	39	80
Тимофеевка луговая, <i>Phleum pratense L.</i>	Грация	5	68±6	0.24±0.04	0.90	74±10	6.0±1.4	0.96	35	81
Тритикале*, <i>Triticococale</i>	Ставропольский 5 (кормовой)	5	195±13	0.72±0.09	0.96	218±30	17.9±4.2	0.96	37	82
Клевер луговой, <i>Trifolium pratense L.</i>	Наследник	5	49±6	0.20±0.06	0.81	54±8	4.8±1.5	0.77	41	89
Сорго-суданский гибрид*, <i>Sorghum vulgare</i> × <i>Sorghum sudanense</i>		5	105±5	0.47±0.04	0.98	113±5	10.3±0.8	0.98	45	91
Сорго сахарное*, <i>Sorghum saccharatum</i>	Ставропольское 63	4	104±11	0.45±0.10	0.92	119±11	11.6±2.1	0.94	43	97
Ежа сборная, <i>Dactylis glomerata</i>	Генра	4	66±6	0.32±0.09	0.86	77±6	8.3±0.8	0.96	48	108
Люпин белый*, <i>Lupinus albus</i>	Вперед	5	96±9	0.53±0.09	0.92	104±10	13.5±2.3	0.92	55	130

* Однолетние культуры.

В состоянии слабого угнетения ($H/H_0 = 0.8$) при $P -1.5...-3.6$ атм солевые показатели (C и S) и осмотический потенциал соответствуют слабозасоленной почве, а в IV группе – очень слабозасоленной почве (Ковда, Егоров, 1960). Содержание хлора соответствует средней степени засоления согласно критериям для среднесолеустойчивых культур (Классификация..., 1977) или слабой степени засоления (Грабовская, 1947). В состоянии среднего угнетения ($H/H_0 = 0.4$), C и S в первых трех группах соответствуют средней степени засоленности, в IV группе – переходу от слабо- к среднезасоленной почве (Классификация..., 1977). Содержание хлора соответствует сильнозасоленной почве (табл. 1). По величине P (Удовенко, 1977) засоленность сильная в первых двух группах, переходная от сильной к средней в группе III и средняя в группе IV. В состоянии сильного угнетения ($H/H_0 = 0.2$) величины C и S соответствуют сильнозасоленной почве в группе I, переходной от сильно- к среднезасоленной в группе II и среднезасоленной почве в группах III и IV. По содержанию хлора почвы очень сильнозасоленные (группы I и II) и сильнозасоленные (группы III и IV). Величины P соответствуют сильнозасоленной почве. Исключение составляет почва с люпином, который оказался сильно угнетенным при $P = -6.2$ атм. Всходы не появились ($H = 0$) при C и S , соответствующих средней степени засоления в группе IV растений и сильной (или переходной от сильной к средней) степени засоления в остальных трех группах. Содержание хлора соответствует сильному (группа IV) или очень сильному засолению. P в интервале $-15...-18$ атм (группы I и II) близко к принятому уровню капиллярно-сорбционного давления, характеризующего влажность устойчивого завядания растений. Для групп III и IV величина P выше этого уровня.

Отметим существенные различия по солеустойчивости между сортами пырея удлиненного, между райграсом многоукосным и высоким, тритикале зерно-кормовым и кормовым и между различными сортами сорго сахарного. Слабо выражено различие по солеустойчивости проанализированных сортов костреца безостого.

Согласно работе В.В. Егорова (1954), пырей бескорневищный относится к высокосолеустойчивым, житняки – к среднесолеустойчивым, а клевера – к наименее солеустойчивым культурам. Житняки и люцерна, уступая пырею, мало различаются между собой. Сорго сахарное и суданская трава сильно снижают урожай по сравнению с могоаром (Кирюшин, 1974). Взрослые растения ежи сборной характеризуются как неустойчивые к засолению, тимофеевка луговая и костер безостый уступают овсянице, устойчивее которой является райграс многоукосный (Шахов, 1956).

Таблица 4. Связь между относительной длиной проростков, суммой ионов (C , г/л; S , %), содержанием Cl -иона (мг-экв/100 г почвы) и осмотическим давлением влаги ($-P$, атм) в почве

Группы культур	Показатель	Относительная длина проростков H/H_0			
		0.8	0.4	0.2	нет всходов
(I) Рожь многолетняя Дер-жавная 29, чумиза Стачуми* (просо Итальянское), рожь многолетняя Бенталь	C	4.5	13-14	17-18	22-23
	S	0.12	0.36-0.37	0.47-0.49	0.59-0.62
	Cl	2.1-2.2.	6.3-6.5	8.3-8.6	10.4-10.8
(II) Сорго многолетнее Травинка, эспарцет Закавказский К-4, пырей удлиненный Солончаковый, могоар Стамого* (просо щетинистое), райграс многоукосный Талан, тритикале двуручка 77*, житняк гребневидный Викров, житняк сибирский Новатор, люцерна синегридная Кевсала	$-P$	3.5-3.6	10.9-10.5	14.0-14.5	17.5-18.2
	C	3.6-4.2	11-13	14-17	18-21
	S	0.10-0.11	0.29-0.35	0.38-0.46	0.48-0.57
(III) Сорго многолетнее Караван, райграс высокий Стрелец, овсяница луговая Ст-20, вика яровая Пононская*, пырей удлиненный Ст-10, кострец безостый Ст-31, кострец безостый Вегур, сорго сахарное Ларец*, суданская трава Землячка*, тимофеевка луговая Грация, тритикале Ст-5*	Cl	1.7-2.0	5.1-6.0	6.7-8.0	8.4-10.0
	$-P$	2.9-3.2	8.8-9.7	11.8-12.9	14.7-16.1
	C	2.9-3.6	9-11	12-14	14-18
(IV) Клевер луговой Наследник, сорго-суданковый гибрид*, сорго сахарное Ст-63*, ежа сборная Генра, люпин белый Вперед*	S	0.08-0.10	0.25-0.29	0.33-0.38	0.42-0.48
	Cl	1.4-1.7	4.2-5.1	5.5-6.7	6.9-8.4
	$-P$	2.4-2.8	7.3-8.3	9.8-11.1	12.2-13.9
(IV) Клевер луговой Наследник, сорго-суданковый гибрид*, сорго сахарное Ст-63*, ежа сборная Генра, люпин белый Вперед*	C	2.1-2.7	6-8	8-11	10-14
	S	0.06-0.08	0.17-0.24	0.22-0.32	0.28-0.39
	Cl	1.0-1.3	2.9-3.9	3.9-5.3	4.9-6.6
	$-P$	1.5-2.2	4.6-6.7	6.2-9.0	7.7-11.2

* Однолетние культуры.

Как известно, солеустойчивость ячменей, произрастающих на засоленных почвах, повышается в процессе адаптации (Шахов, 1956). Регрессионный анализ полученных ранее данных (Зайцева, Минашина, 1998) показал, что связь между H/H_0 и P (при хлоридном засолении чернозема) описывается уравнением $H/H_0 = 1 - 0.063 P$, где P – осмотическое давление почвенного раствора. Отсюда следует, что ячмень принадлежит к той же группе солеустойчивых культур, что и пырей бескорневищный, эспарцет, житняки и другие растения группы II.

В монографии «Солончаки и солонцы» (Бреслер, 1987) рассматривается классификация сельскохозяйственных культур (116 названий), разделенных на 4 категории по их солеустойчивости. В таблицах приводятся относительная урожайность культур при повышении концентрации солей в корнеобитаемой зоне, снижение продуктивности в процентах на единственный прирост засоленности (EC_e , мСм/см), а также предел засоленности. Таблицы предназначены для выбора культур и прогнозирования потери их урожая в условиях ожидаемой засоленности. Снижение продуктивности в процентах на 1 мСм/см использовано нами как показатель при сравнительном анализе солеустойчивости исследованных нами культур. Список культур, взятых для сравнения, приводится с показателями их солеустойчивости, дан в табл. 5. Культуры же, исследованные нами, представлены в табл. 3.

Для сравнения их солеустойчивости с солеустойчивостью культур по Бреслеру использованы коэффициенты K_p , приведенные в последнем столбце табл. 3. Из уравнения $H/H_0 = 1 - K_p P$ следует, что уменьшение длины проростков при снижении осмотического давления почвенного раствора на 1 атм составляет $100K_p$.

Результаты сравнительного анализа двух показателей солеустойчивости – роста (экспериментальные данные) и продуктивности (литературные данные) – культур показаны на рис. 2.

Группа А включает наиболее солеустойчивые культуры: пырей, житняк, овсяницу, суданскую траву. При уменьшении длины проростков в начальной фазе роста в среднем для группы на 7.3 ± 0.3 % на единственный прирост засоленности, выраженный через осмотическое давление почвенного раствора (1 атм), продуктивность снизилась на 4.4 ± 0.5 %. В группе Б объединены многолетние сорго, райграс, люцерна и ежа сборная. Уменьшению длины проростков в группе на 7.5 ± 0.7 % соответствует снижение продуктивности на 7.0 ± 0.2 %. Культуры группы В: вика посевная и клевер луговой – являются наименее солеустойчивыми. При уменьшении длины проростков на 8.2 % продуктивность снижается в среднем на 11.6 %.

При подборе сеяных травостоев учитываются географическое распространение, особенности среды обитания и соответствие возделываемой культуре (Практическое руководство..., 1987).

Таблица 5. Классификация сельскохозяйственных культур по солеустойчивости (Maas, Hoffman, 1977, Carter, 1981) по Бреслеру и др. (1987)

Растение	Уменьшение продуктивности, % на единственный прирост засоленности (1 мСм/см)	Предел засоленности, EC_e (мСм/см)
Среднечувствительные к засоленности культуры		
Люцерна, <i>Medicago sativa</i>	7.3	2.0
Клевер, <i>Trifolium spp</i>	12.0	1.5
Просо итальянское, <i>Setaria italica</i>	Данные не приводятся	
Тимофеевка, <i>Phleum pratense</i>	«	
Вика посевная, <i>Vicia sativa L.</i>	11.1	3.0
Среднеустойчивые к засоленности культуры		
Костер, <i>Bromis inermis</i>	Данные не приводятся	
Овсяница, <i>Festuca clatior</i>	5.3	3.9
Ежа сборная, <i>Dactylis glomerata</i>	6.2	1.5
Райграс многолетний, <i>Lolium perenne</i>	7.6	5.6
Сорго, <i>Sorghum bicolor</i>	6.7	4.8
Суданская трава, <i>Sorghum sudanense</i>	4.3	2.8
Солеустойчивые культуры		
Житняк гребенчатый, <i>Agropyron desertorum</i>	4.0	3.5
Пырей русский, <i>Agropyron elongatum</i>	4.2	7.5

Незаменимой культурой в засушливых условиях остается просо (Костычев, 1882). Основными видами злаков в условиях степного суходола – засуховыносливые житняки, виды пырея, эспарцет. Люцерна нуждается в хорошем увлажнении, эспарцет не переносит и краткосрочного переувлажнения. В сухолуговой среде обитания (лесостепная зона) высеваются кострец безостый, овсяница луговая, вика; во влажнолуговой среде – тимофеевка луговая (поймы рек), ежа сборная (Постоялков, 1970).

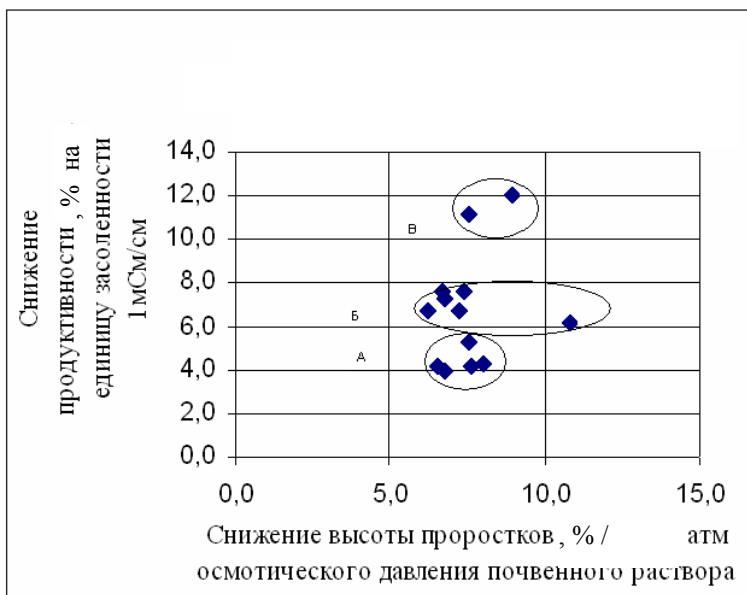


Рис. 2. Связь между показателями солеустойчивости сопоставляемых культур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С целью изучения солеустойчивости кормовых культур (преимущественно многолетних трав) на образцах чернозема, увлажненного хлоридом натрия (в диапазоне засоления 1–18 г/л NaCl), при оптимальной влажности, близкой к наименьшей влагоемкости, исследовано влияние концентрации солей в почвенном растворе и его осмотического давления на рост проростков в начальной фазе вегетации. Показано, что между высотой проростков и показателями засоления почвы существует зависимость, близкая к прямолинейной. Параметры уравнений регрессии значимы при уровне 0.05.

Анализ связи показателя относительной длины проростков с солевым и осмотическим показателями почвенного раствора позволил сравнить между собой культуры и объединить их в четыре группы по степени солеустойчивости. Обнаружены различия по солеустойчивости между сортами одного и того же вида для некоторых культур. Характеристика солеустойчивости кормовых растений важна при разработке технологий их возделывания в ландшафтно-адаптивных системах земледелия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Благовещский Ю.Н., Дмитриев Е.А., Самсонова В.П. Применение непараметрических методов в почвоведении. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984. 97 с.
- Бреслер Э., Макнил Б.Л., Картер Д.Л. Солончаки и солонцы. М.: Гидрометеиздат, 1987, 287 с.
- Возбуцкая А.Е. Химия почвы. М.: Высшая школа, 1968. 427 с.
- Гедройц К.К. Засоленные почвы и их улучшение // Журн. оп. агр. Т. XVIII. Кн. 1. 1917. С. 122–140.
- Гедройц К.К. Материалы к вопросу о влиянии на растения кислот, щелочей и некоторых неорганических солей // Журн. оп. агр. Т. 11. Кн. 4. 1910. С. 544–578.
- Грабовская О.А. Почвы Вахшской долины // Почвы Вахшской долины и их мелиорация. Сталинабад, 1947. С. 67–115.
- Державин Л.М., Фрид А.С. Модели комплексной оценки плодородия пахотных земель // Агрехимия. 2002. № 8. С. 5–13.
- Егоров В.В. Засоленные почвы и их освоение. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 110 с.
- Зайцева Р.И., Минашина Н.Г., Судницын И.И. Влияние капиллярно-сорбционного и осмотического давления влаги в черноземе на рост и гуттацию ячменя // Почвоведение. 1998. № 10. С. 1190–1198.
- Засоленные почвы европейской части СССР и Закавказья. Научн. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М., 1973. 276 с.
- Зимовец Б.А., Кауричева З.Н. Определение степени засоления почв по почвенным растворам и водным вытяжкам в сухостепной зоне Нижнего Заволжья. Сб. науч. тр. НИИПА. Ташкент, 1976. С. 7–83.
- Каиштанов А.Н. В.В. Докучаев – научное наследие и его развитие в почвоведении и земледелии на современном этапе // Почвоведение. История. Социология. Методология. М.: Наука, 2005. С. 24–29.
- Кирюшин В.И., Лузин А.Т. Шкала солеустойчивости сельскохозяйственных культур для условий засушливой степи Северного Казахстана // Кормопроизводство на севере Казахстана. Целиноград, 1974. С. 139–151.
- Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 222 с.
- Ковда В.А., Егоров В.В., Муратова В.С., Строганов Б.П. Классификация почв по степени и качеству засоления в связи с солеустойчивостью растений // Ботан. журн. 1960. Т. 45. № 8. С. 1123–1131.
- Коссович П.С. Солонцы, отношение к ним растений и методы определения солонцеватости почв // Журн. оп. агр. 1903. Т. 1. С. 1–57.
- Костычев П.А. Происхождение солонцов и превращение их в удобные для культуры места // Земледельческая газета. 1886. № 42 (16 октября). С. 777–778.

Костычев П.А. Сенокосы и пастбища в разных местностях России. Из путевых заметок // Сельское хозяйство и лесоводство. 1886. Ч. СЛII. С. 113–155.

Костычев П.А. Возделывание важнейших кормовых трав. М., 1912. 259 с.

Минашина Н.Г. Токсичные соли в почвенном растворе, их расчет и классификация почв по степени засоления // Почвоведение. 1970. № 8. С. 92–105.

Муратова В.С., Маргулис В.Ю. Содержание токсичных солей в водных вытяжках и в почвенных растворах гипсоносных почв Голодной степи // Почвоведение. 1971. № 12. С. 87–99.

Постоялков К.Д. К вопросу об экологии кормовых трав // Кормопроизводство в Северном Казахстане. Целиноград, 1970. С. 5–46.

Практическое руководство по технологиям улучшения и использования сенокосов и пастбищ лесостепной и степной зон. М.: ВО «Агропромиздат», 1987.

Рожков В.А. Алгоритмы и программы статистической обработки наблюдений в почвоведении на ЭВМ Мир и Минск-22. М.: Изд-во ВАСХ-НИИ, 1973. 222 с.

Рыжов С.Н. Эффективность удобрений под хлопчатник на засоленных землях // Хлопководство. 1970. № 1. С. 28–30.

Труды сельскохозяйственной химической лаборатории. Вып. VII. Аналитические материалы за 1906–1908. СПб., 1909. С. 1–172.

Тулайков Н.М. Солонцы, их улучшение и использование. М.: Редакционно-изд. комитет Народного комиссариата земледелия, 1922. 233 с.

Удовенко Г.В. Солеустойчивость культурных растений. Л.: Колос, 1977. 214 с.

Удовенко Г.В., Олейникова Т.В., Кожушко Н.Н. и др. Методика диагностики устойчивости растений (засухо-, жаро-, соле- и морозоустойчивости). Л.: Изд-во ВИР. 1970. 74 с.

Шахов А.А. Солеустойчивость растений. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 537 с.

Schimper A.F. Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage. Jena, 1898. 876 S.