

НАСЛЕДОВАНИЕ АЛЮМОУСТОЙЧИВОСТИ МЯГКОЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ
В ЮВЕНИЛЬНЫЙ ПЕРИОД РАЗВИТИЯINHERITANCE OF ALUMINUM RESISTANCE
IN SOFT SPRING WHEAT DURING JUVENILE PERIOD OF DEVELOPMENT

Ключевые слова: мягкая яровая пшеница, сорт, гибрид, длина корня, индекс длины корней, проросток, алюмоустойчивость, степень фенотипического доминирования, комбинационная способность, коэффициент наследуемости.

В условиях рулонной культуры (опыт – водный раствор сульфата алюминия концентрацией 1,5 мМ/л, контроль – дистиллированная вода) изучены параметры корневой системы 5-дневных проростков сортов и гибридных популяций F₂ и F₃ мягкой яровой пшеницы, полученных методом полных топкроссов. Проведен анализ исходных форм по общей и специфической комбинационной способности (ОКС и СКС). Высокий эффект ОКС по признаку «длина корня» выявлен у сортов Карабалыкская 98 и Jasna во всех вариантах исследования, у сорта Баганская 95 достоверно высокие значения ОКС проявились в условиях алюмокислого стресса. По способности противостоять стрессору (индекс длины корней (ИДК)) положительными значениями ОКС характеризовались сорта Алтайская 530, Горноуральская, Серебристая. Высокая степень фенотипического доминирования ($h_p=1,4-3,8$) и высокий эффект СКС длины корня в поколениях F₂ и F₃ выявлены в комбинации Тюменская 26 × Jasna. У гибридов Алтайская 530 × Jasna и Алтайская 530 × Серебристая в двух поколениях наблюдался эффект сверхдоминирования ($h_p \geq 1$) по ИДК. Общий показатель наследования (h^2_0) длины корня в контроле в зависимости от поколения гибридов варьировал в пределах 85,4-87,4%, в опыте – 69,8-85,6%, что дает возможность проведения эффективного отбора генотипов по этому признаку на начальном этапе развития растений. Отмечено преобладающее влияние материнских сортов (30,9-57,0%) над отцовскими (0,2-13,0%) в наследовании длины корня. Величина наследования устойчивости к алюмокислому стрессу (ИДК) была невысокой ($h^2_0=20,7-33,8\%$) и зависела от материнских компонентов.

Keywords: spring soft wheat, variety, hybrid, root length, root length index, seedling, aluminum resistance, phenotypic dominance degree, combining ability, heritability estimate.

The parameters of the root system of 5-day seedlings of varieties and hybrid populations of F₂ and F₃ soft spring wheat obtained by complete topcross method were studied under the conditions of roll culture (experiment – an aqueous solution of aluminum sulfate with a concentration of 1.5 μM L; control-distilled water). The analysis of initial forms on the general and specific combining ability (GCA and SCA) was carried out. The high effect of GCA on the basis of “root length” character was revealed in the varieties Karabalykskaya 98 and Jasna in all variants of the study; in the variety Baganskaya 95 significantly high values of GCA were manifested under the conditions of aluminum stress. By the ability to resist the stressor (root length index (RLI)), positive values of GCA were found in the varieties Altayskaya 530, Gornouralskaya and Serebristaya. High degree of phenotypic dominance ($h_p = 1.4...3.8$) and high effect of SCA of root length in generations F₂ and F₃ were revealed in the combination Tyumenskaya 26 × Jasna. The hybrids Altayskaya 530 × Jasna and Altayskaya 530 × Serebristaya in two generations revealed over-dominance effect ($h_p \geq 1$) by RLI. The total index of inheritance (h^2_0) of root length in the control depending on the generation of hybrids varied within 85.4...87.4%, in the experiment – 69.8...85.6% which made it possible to carry out effective selection of genotypes on this basis at the initial stage of plant development. The predominant influence of the maternal varieties (30.9...57.0%) over paternal ones (0.2...13.0%) in the inheritance of the root length was revealed. The value of the inheritance of resistance to aluminum stress (RLI) was not high ($h^2_0 = 20.7...33.8\%$) and depended on the maternal components.

Амунова Оксана Сергеевна, к.б.н., н.с. лаб. мягкой яровой пшеницы, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого», г. Киров. E-mail: priemnaya@fanc-sv.ru.

Волкова Людмила Владиславовна, к.б.н., н.с., зав. лаб. мягкой яровой пшеницы, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого», г. Киров. E-mail: volkovkirov@mail.ru.

Amunova Oksana Sergeevna, Cand. Bio. Sci., Staff Scientist, Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N.V. Rudnitskiy, Kirov. E-mail: priemnaya@fanc-sv.ru.

Volkova Lyudmila Vladislavovna, Cand. Bio. Sci., Staff Scientist, Head of Lab. Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N.V. Rudnitskiy, Kirov. E-mail: volkovkirov@mail.ru.

Тиунова Людмила Николаевна, м.н.с., отдел эдафической устойчивости растений, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого», г. Киров. E-mail: priemnaya@fanc-sv.ru.

Tiunova Lyudmila Nikolayevna, Staff Scientist, Federal Agricultural Research Center of the North-East named after N.V. Rudnitskiy, Kirov. E-mail: priemnaya@fanc-sv.ru.

Введение

Мягкая яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.) – важная продовольственная и фуражная культура. В России основными регионами возделывания яровой пшеницы являются Поволжье, Западная и Восточная Сибирь, Урал. Пшеница не является ведущей зерновой культурой Волго-Вятского региона, но в связи с изменениями климата определилась устойчивая тенденция ее продвижения на север Европейской России. В Волго-Вятском регионе значительную часть пашни занимают дерново-подзолистые кислые почвы, содержащие менее 3% гумуса [1]. Такие почвы могут содержать до 9% подвижного алюминия, который препятствует активному поглощению фосфора, конкурирует с кальцием, ингибирует деление и удлинение клеток поглощающих органов. При этом уменьшается размер корневой системы, снижается ее способность поглощать влагу и питательные вещества, недостаток которых влияет на урожайность зерна [2]. Поэтому задача изучения приспособленности культуры к возделыванию на дерново-подзолистых кислых почвах является особенно актуальной. В полевых условиях оценка устойчивости к ионам алюминия затруднена из-за вариабельности значений рН почвенного раствора в поверхностном и подповерхностном слоях почвы, а также длительности и трудоемкости работы [3]. Лабораторная оценка уровня алюмоустойчивости в фазу проростков позволяет охарактеризовать генотипы гораздо быстрее, тем более что различия, проявляющиеся между сортами на ранних этапах онтогенеза, сохраняются у взрослых растений [4].

В селекции пшеницы, как правило, используют метод внутривидовой гибридизации. При этом важным является изучение наследования признаков и механизмов их передачи потомству. При планировании скрещиваний необходимо учитывать, что генетическая дивергенция сильнее выражена у филогенетически отдаленных сортов, так как вероятность нахождения среди их потомства трансгрессивных форм выше [5].

Цель исследований: по результатам лабораторной оценки проростков яровой пшеницы на устойчивость к ионам алюминия выявить общую и специфическую комбинационную способность генетически отдаленных сортов; определить

наследуемость признаков «длина корня» и «индекс длины корней» у гибридов ранних поколений для прогноза эффективности селекции.

Объекты и методы исследований

Объектом исследования стали 16 гибридных комбинаций в двух смежных поколениях (F_2 и F_3 по зерну), полученных путем полных топкроссов с участием 8 исходных форм мягкой яровой пшеницы. В качестве родительских форм использовали сорта из коллекции ВИР, которые, согласно дендрограмме кластерного анализа, находились в наиболее отдаленных кластерах по устойчивости к ионам алюминия в фазу проростков [5]. Материнские формы характеризовались как менее устойчивые, но более продуктивные в условиях Кировской области: Алтайская 530 (Россия, Алтайский край), Баганская 95 (Россия, Новосибирская обл.), Тюменская 26 (Россия, Тюменская обл.), Карабалыкская 98 (Казахстан). Отцовскими формами служили генотипы с наименьшей реакцией на ионы алюминия в среде: Горноуральская (Россия, Свердловская обл.), Лютесценс 30 (Россия, Самарская обл.), Серебристая (Россия, Омская обл.) и Jasna (Польша). Исследования проводили в 2017 г. (поколение F_2) и 2018 г. (поколение F_3) по методике [6]. В условиях рулонной культуры использовали дистиллированную воду (контроль) и водный раствор сульфата алюминия концентрацией 1,5 мМ/л (опыт), соответствующий кислотности почвенного раствора (рН 4,3) места произрастания (с. Красное Кировской обл.). Выборка семян из каждого образца (сорт, гибридная популяция) составляла 150 штук. Семена проращивали в термостате при температуре 21-23°C в течение 5 суток. По окончании опыта у проростков измеряли длину наибольшего корня и определяли индекс длины корней (ИДК) как отношение средних длин корней в опыте к контролю.

Степень фенотипического доминирования (h_p) признаков определяли по формуле: $h_p = 2(F - P_{cp}) / (P_l - P_x)$; где h_p – степень фенотипического доминирования, F – среднее значение абсолютных величин гибрида, P_{cp} – среднее значение абсолютных величин родителей, P_l и P_x – соответственно, среднее значение лучшего и худшего родителей [7]. Эффекты ОКС и СКС родительских компонентов оценивали согласно Методическим

рекомендациям [8]. Расчет коэффициента наследуемости (h^2) проводили по методике [9].

Результаты и их обсуждение

Сортовые различия по признаку «длина корня» достоверны во всех вариантах исследования (табл. 1).

Максимальную длину корня в контроле имели материнские сорта Карабалыкская 98 и Тюменская 26, в опыте – Баганская 95. Наличие стрессора в среде привело к значимому уменьшению длины корней (на 4,4-22,5% относительно контроля) у большинства изученных генотипов, среднее снижение составило 17,0%. Отмечено, что в контроле межсортовая вариабельность признака была более выражена ($V=7,9-9,0\%$), чем в опыте ($V=5,1-7,7\%$).

Различия по ИДК у исходных форм доказывались в 2017 г. Значительные изменения степени реакции на стресс в зависимости от года исследования наблюдали у сортов Баганская 95, Горноуральская и Jasna. Сорта Алтайская 530, Карабалыкская 98, Тюменская 26, Лютесценс 30 и Серебристая характеризовались более стабильными значениями ИДК. Все сорта пшеницы, согласно [10], обладали алюмоустойчивостью. Высокая

вариабельность ИДК по годам и незначительная сортовая дифференциация затрудняют адекватную оценку генотипов на устойчивость к алюминию по данному признаку.

Дисперсионный анализ, проведенный на основе метода топкросса, позволил выявить высокую ОКС по признаку «длина корня» в контрольном и опытном вариантах у сортов Карабалыкская 98 и Jasna. Достоверность отличий устанавливалась относительно средней ОКС, равной 0 (табл. 2).

У сорта пшеницы Баганская 95 достоверно высокие значения ОКС проявились в стрессовых условиях. В 2018 г. этот сорт характеризовался высокой ОКС по параметру ИДК, определяющему способность корневой системы противостоять алюмокислому стрессу. В 2017 г. данная способность была отмечена у сортов Алтайская 530 и Горноуральская. У сортов Карабалыкская 98, Тюменская 26 и Лютесценс 30 отмечены достоверно низкие эффекты ОКС по величине ИДК. Важно отметить высокую повторяемость значений ОКС в поколениях F_2-F_3 по признаку «длина корня» (коэффициент корреляции $r=0,69$; $n=16$; значимо при $p \leq 0,01$), что говорит о надежности данного метода оценки. Согласованность значений ОКС по ИДК была низкой.

Таблица 1

Характеристика исходных форм мягкой яровой пшеницы по длине корня и уровню алюмоустойчивости в фазу проростков

Исходная форма	Длина корня		ИДК	
	2017 г.	2018 г.	2017 г.	2018 г.
♀ Алтайская 530	9,64 8,06*	9,46 8,16*	83,6	86,2
♀ Баганская 95	10,82 8,82*	10,83 10,06*	81,5	92,9
♀ Карабалыкская 98	9,73 7,65*	12,56 10,18*	79,1	81,1
♀ Тюменская 26	11,23 8,80*	11,26 8,90*	78,6	79,0
♂ Лютесценс 30	9,80 8,43*	10,83 8,65*	86,0	79,9
♂ Jasna	9,38 8,34*	12,44 9,64*	89,0	77,5
♂ Горноуральская	8,82 8,43	12,08 9,46*	95,6	78,4
♂ Серебристая	9,66 7,85*	11,68 9,80*	81,2	83,9
Кoeff. вариации (V, %)	7,9 5,1	9,0 7,7	6,8	6,3
НСР _{0,5}	0,85 0,58	0,97 0,69	10,1	-

Примечание. Верхняя строка – контроль, нижняя строка – 1,5 мМ/л Al; * опытные величины значимо отличаются от контрольных, $p \leq 0,05$.

**Оценка эффектов ОКС родительских сортов мягкой яровой пшеницы
в нормальных и стрессовых условиях**

Исходная форма	Длина корня		ИДК	
	2017 г.	2018 г.	2017 г.	2018 г.
♀ Алтайская 530	-1,28 -0,55	-1,35 -0,10	5,74*	0,64
♀ Баганская 95	0,69* 0,26*	-0,28 0,33*	-3,13	5,07*
♀ Карабалыкская 98	0,70* 0,41*	0,67* 0,31*	-1,99	-2,57
♀ Тюменская 26	-0,11 -0,13	0,96* 0,46*	-0,62	-3,15
♂ Лютесценс 30	-0,23 -0,23	-0,31 -0,50	-1,01	-1,95
♂ Jasna	0,78* 0,24*	0,56* 0,53*	-3,56	0,42
♂ Горноуральская	-0,28 0,15*	-0,13 0,07	3,38*	1,29
♂ Серебристая	-0,27 -0,16	-0,12 -0,11	1,18	0,24
НСР _{0,5}	0,22 0,11	0,21 0,16	2,74	2,01

Примечание. Верхняя строка – контроль, нижняя строка – 1,5 мМ/л Al; * опытные величины значимо отличаются от контрольных, $p \leq 0,05$.

В гибридных популяциях F₂ длина корня варьировала в пределах 8,26-12,38 см в контроле и 7,77-9,69 см в опыте. В гибридных популяциях F₃ предел варьирования признака определялся значениями 8,69-12,88 и 7,52-10,67 см соответственно. Коэффициенты межсортовой вариации в контроле составили 11,5 и 10,9%, в опыте – 6,4 и 9,5%, что несколько выше, чем у исходных форм. У гибридов F₂ отмечен положительный сдвиг общего среднего значения длины корня по сравнению со средним значением параметра у родителей. Прибавка длины в контроле и опыте составила 0,63 и 0,46 см соответственно. У гибридов F₃, наоборот, среднее значение длины корня было ниже, чем у исходных сортов: в контроле – на 0,51 см, в опыте – на 0,04 см. Более широкий диапазон изменчивости длины корня в гибридных популяциях третьего поколения дает возможность отбора трансгрессивных форм.

Ионы алюминия оказали существенное влияние на среднее значение длины корней большинства гибридных популяций, за исключением комбинации «Алтайская 530 x Серебристая» в поколении F₂. Общее снижение длины корней у гибридов F₂ составило 17,0%, у гибридов F₃ – 14,4%. В зависимости от комбинации скрещивания значе-

ния параметра ИДК у гибридов F₂ находились в пределах 75,1-94,1%, у гибридов F₃ – 77,3-92,4%.

Гибриды пшеницы формировали высокую изменчивость признака «длина корня» по отношению к родителям. Это выразилось в переходе от отрицательного до положительного сверхдоминирования. Степень фенотипического доминирования (h_p) длины корня у гибридов F₂ колебалась в пределах от -139,0 до +39,1, у гибридов F₃ – от -354,0 до +6,7 (табл. 3).

Гибридная комбинация Тюменская 26 x Jasna в поколениях F₂ и F₃ характеризовалась высокой степенью фенотипического доминирования ($h_p > 1$) и существенно высоким эффектом СКС по длине корня. Комбинации Алтайская 530 x Лютесценс 30, Баганская 95 x Серебристая и Тюменская 26 x Серебристая обладали совокупностью данных характеристик только в одном гибридном поколении. Степень фенотипического доминирования параметра ИДК, характеризующего уровень алюмоустойчивости, находилась в пределах от -16,1 до 10,6 у гибридов F₂ и от -5,3 до 34,7 у гибридов F₃. В гибридных комбинациях Алтайская 530 x Jasna и Алтайская 530 x Серебристая отмечено сверхдоминирование по величине ИДК. Превышения средней величины дисперсии (δ^2_{si}) эффекта СКС по ИДК в исследовании не выявлено.

Таблица 3

Степень фенотипического доминирования (h_p) и эффекты СКС у гибридов F_2 и F_3 в нормальных и стрессовых условиях

Комбинация скрещивания	F_2				F_3			
	длина корня		ИДК		длина корня		ИДК	
	h_p	СКС	h_p	СКС	h_p	СКС	h_p	СКС
Алтайская 530 х Лютеценс 30	13,1 2,4	1,76* 0,71*	-3,4	-7,93	-0,9 0	0,33 0,68*	1,6	3,87
Алтайская 530 х Jasna	-3,6 0,5	-0,98 -0,17	2,0	5,55	-0,5 -0,4	0,11 0,02	1,0	-0,63
Алтайская 530 х Горноуральская	-0,9 -0,9	-0,08 -0,27	0,3	-1,70	-0,8 -1,4	0,28 -0,10	1,5	-3,19
Алтайская 530 х Серебристая	-139,0 -1,8	-0,71 -0,27	10,6	4,07	-1,7 -2,3	-0,71 -0,60	1,4	-0,05
Баганская 95 х Лютеценс 30	0,2 0,5	-0,57 -0,06	0,1	4,12	-354,0 -0,1	-0,18 0,06	0,7	2,08
Баганская 95 х Jasna	2,2 0,9	-0,28 -0,46	-2,7	-2,09	-1,4 -0,2	-0,61 -0,44	0,9	0,72
Баганская 95 х Горноуральская	0,9 2,2	-0,19 -0,07	-0,5	0,60	-0,4 0,2	0,73* 0,21*	0,4	-3,79
Баганская 95 х Серебристая	3,0 2,3	1,04* 0,60*	-16,1	-2,63	-1,7 -2,9	0,05 0,17*	0,9	0,99
Карабалыкская 98 х Лютеценс 30	12,8 1,5	-0,77 -0,36	0,5	3,10	-0,4 -0,8	0,12 -0,35	-5,3	-4,09
Карабалыкская 98 х Jasna	16,1 4,9	0,38 0,29*	-1,1	-0,07	-2,8 1,1	0,22 0,06	2,0	-0,99
Карабалыкская 98 х Горноуральская	4,2 4,2	0,27 0,35*	-0,1	1,11	-2,9 0,8	0,22 0,40*	5,2	1,98
Карабалыкская 98 х Серебристая	39,1 9,7	0,12 -0,28	-0,8	-4,14	-2,8 -3,1	-0,56 -0,11	2,9	3,09
Тюменская 26 х Лютеценс 30	-1,0 -1,8	-0,42 -0,30	0,2	0,70	-1,1 0,4	-0,27 -0,39	1,7	-1,87
Тюменская 26 х Jasna	1,9 2,8	0,88* 0,35*	-1,4	-3,39	1,4 3,8	0,28 0,36*	7,9	0,90
Тюменская 26 х Горноуральская	0,1 0,8	0,01 -0,02	0,1	-0,02	-2,9 0,6	-1,22 -0,51	34,7	5,00
Тюменская 26 х Серебристая	-1,0 0,1	-0,46 -0,05	5,1	2,71	6,7 1,9	1,22* 0,53*	-0,9	-4,03
Средняя величина δ^2_{si}	-	0,63 0,15	-	9,11	-	0,39 0,16	-	6,60

Примечание. Верхняя строка – контроль, нижняя строка – 1,5 мМ/л Al; * достоверно высокие значения СКС относительно средней величины дисперсии (δ^2_{si}).

Таблица 4

Наследуемость (h^2 , %) длины корня и величины ИДК у проростков мягкой яровой пшеницы

Коэффициент наследуемости	Длина корня		ИДК	
	F_2	F_3	F_2	F_3
h^2_A	36,9 30,9	57,0 51,1	20,7	33,8
h^2_B	2,7 0,2	0,1 13,0	-	-
h^2_{AB}	45,8 38,7	30,3 21,5	-	-
h^2_0	85,4 69,8	87,4 85,6	20,7	33,8

Примечание. Верхняя строка – контроль, нижняя строка – 1,5 мМ/л Al.

Определение комбинационной способности исходных форм играет важную роль в прогнозе эффективности селекционного процесса, однако не менее важную информацию может внести коэффициент наследуемости (h^2), характеризующий степень передачи селективируемого признака от родительских форм потомству. Существенность влияния материнских (А), отцовских (В) форм и их взаимодействия (АВ) на длину корня гибридов доказана на 5%-ном уровне значимости ($F_{\phi} > F_{05}$). Отбор по данному признаку в гибридных популяциях может быть эффективен как в нормальных условиях, так и в условиях алюмокислого стресса, на что указывают высокие значения общих коэффициентов наследуемости (h^2_0) (табл. 4).

Отмечено незначительное влияние на признак «длина корня» отцовских компонентов. Проявление результативного признака в гибридах зависело как от материнского растения, так и от взаимодействия генотипов обоих родителей, причем в стрессовых условиях доля генетической изменчивости в общей вариабельности признака (h^2) была ниже, чем в нормальных условиях развития растений. Устойчивость к алюмокислому стрессу, определяемая по параметру ИДК, зависела главным образом от материнских компонентов.

Выводы

Изучение корневой системы проростков пшеницы и ее реакции на присутствие в среде ионов алюминия позволило выделить сорта с высокой общей комбинационной способностью по признакам «длина корня» (Карабалыкская 98, Jasna, Баганская 95) и «индекс длины корней» (Алтайская 530, Горноуральская, Серебристая) и рекомендовать их для включения в селекционные программы.

Высокой степенью фенотипического доминирования длины корня, как и значимым эффектом СКС в поколениях F_2 и F_3 характеризовалась гибридная комбинация Тюменская 26 x Jasna. В гибридных комбинациях Алтайская 530 x Jasna и Алтайская 530 x Серебристая отмечена высокая степень доминирования величины ИДК.

Высокая степень наследуемости признака «длина корня» дает возможность проведения эффективного отбора лучших генотипов в ювенильный период развития растений пшеницы (в фазу проростков), начиная с F_2 . Отмечено незначительное влияние отцовских форм в формировании длины корня гибридов. Наследуемость устойчивости к алюмокислому стрессу была не-

высокой и определялась только материнскими компонентами.

Библиографический список

1. Баталова Г.А., Широких И.Г., Тулякова М.В., Шевченко С.Н., Русакова И.И., Абубакирова Р.И., Жуйкова О.А. Некоторые результаты и вопросы методологии овса на устойчивость к эдафическому стрессу // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. – 2015. – № 4 (47). – С. 9-15.
2. Баталова Г.А. Овёс в Волго-Вятском регионе. – Киров, 2013. – 288 с.
3. Волкова Л.В., Амунова О.С. Наследование признаков алюмоустойчивости проростков яровой пшеницы в условиях рулонной культуры // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. – 2019. – № 1 (20). – С. 20-28.
4. Марченкова Л.А., Давыдова Н.В., Чавдарь Р.Ф., Орлова Т.Г., Грачева А.В., Казаченко А.О., Широколава А.В. Оценка адаптивности сортов и линий яровой пшеницы на фоне искусственно моделируемых стрессов // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. – 2017. – № 5(151). – С. 9-15.
5. Лисицын Е.М., Амунова О.С. Генетическое разнообразие сортов яровой мягкой пшеницы по алюмоустойчивости // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. – 2014. – Т. 18. – № 3. – С. 497-505.
6. Лисицын Е.М. Методика лабораторной оценки алюмоустойчивости зерновых культур // *Доклады РАСХН*. – 2003. – № 3. – С. 5-7.
7. Мазер К., Джинкс Дж. Биометрическая генетика. – М.: Мир, 1985. – 463 с.
8. Вольф В.Г., Литун П.П., Хавелова А.В., Кузьменко Р.И. Методические рекомендации по применению математических методов для анализа экспериментальных данных по изучению комбинационной способности. – Харьков, 1980. – 76 с.
9. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Колос, 1979. – 416 с.
10. Navacode S., Weidner A., Varshney R.K., Lohwasser U., Scholz U., Roder M.S., Börner A. (2010). A genetic analysis of aluminium tolerance in cereals. *Agric. Conspec. Sci.* Vol. 75 (4): 191-196.

References

1. Batalova G.A., Shirokikh I.G., Tulyakova M.V., Shevchenko S.N., Rusakova I.I., Abubakirova R.I., Zhuykova O.A. Nekotorye rezultaty i voprosy metodologii ovsa na ustoichivost k edaficheskomu stressu //

Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. – 2015. – No. 4 (47). – S. 9-15.

2. Batalova G.A. Oves v Volgo-Vyatskom regione. – Kirov, 2013. – 288 s.

3. Volkova L.V., Amunova O.S. Nasledovanie priznakov alyumoustoichivosti prorostkov yarovoi pshenitsy v usloviyakh rulonnoi kultury // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. – 2019. – No. 1 (20). – S. 20-28.

4. Marchenkova L.A., Davydova N.V., Chavdar R.F., Orlova T.G., Gracheva A.V., Kazachenko A.O., Shirokolava A.V. Otsenka adaptivnosti sortov i linii yarovoi pshenitsy na fone iskusstvenno modeliruemykh stressov // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2017. – No. 5 (151). – S. 9-15.

5. Lisitsyn E.M., Amunova O.S. Geneticheskoe raznoobrazie sortov yarovoi myagkoi pshenitsy po

alyumoustoichivosti // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. – 2014. – T. 18. – No. 3. – S. 497-505.

6. Lisitsyn E.M. Metodika laboratornoi otsenki alyumoustoichivosti zernovykh kultur // Doklady RASKhN. – 2003. – No. 3. – S. 5-7.

7. Mazer K., Dzhinks Dzh. Biometricheskaya genetika. – M.: Mir, 1985. – 463 s.

8. Volf V.G., Litun P.P., Khaveleva A.V., Kuzmenko R.I. Metodicheskie rekomendatsii po primeniyu matematicheskikh metodov dlya analiza eksperimentalnykh dannykh po izucheniyu kombinatsionnoi sposobnosti. – Kharkov, 1980. – 76 s.

9. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta. – M.: Kolos, 1979. – 416 s.

10. Navacode S., Weidner A., Varshney R.K., Lohwasser U., Scholz U., Roder M.S., Börner A. (2010). A genetic analysis of aluminium tolerance in cereals. *Agric. Conspec. Sci.* Vol. 75 (4): 191-196.



УДК 633.11«321»:631.8(571.150)

Л.А. Ступина
L.A. Stupina

ВЛИЯНИЕ АЗОТНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И БИОСТИМУЛЯТОРОВ «БИОВАЙС» И «ТУРМАКС» НА МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ И УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ АЛЕЙСКОЙ СТЕПИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

THE INFLUENCE OF NITROGEN MINERAL FERTILIZERS AND BIOLOGICAL GROWTH STIMULANTS BIOVAYS AND TURMAX ON MINERAL NUTRITION AND YIELD OF SPRING WHEAT IN THE ALEY STEPPE OF THE ALTAI REGION

Ключевые слова: яровая пшеница, урожайность, элементы минерального питания, обеспеченность нитратным азотом, фосфором, калием, БиоВайс, ТурМакс, Алтайский край.

Рост и развитие полевых культур очень сильно зависят от условий питания. Наряду с минеральными удобрениями стали часто использовать бактериальные удобрения – препараты, содержащие один штамм или несколько видов бактерий, или целый консорциум микроорганизмов, обладающих свойствами усваивания атмосферного азота, а также вырабатывающих различные стимулирующие вещества, поэтому обладающих ростостимулирующим действием на растения. Также разрабатываются различные препараты – удобрения, содержащие состав микроэлементов в хелатной форме, поэтому они являются сбалансированными и хорошо усваиваются растениями. Исследований по изменению питательного режима растений от использования биостимуляторов «БиоВайс» и «ТурМакс» нами не обнаружено, что вызвало необходимость изучить изменение содержания по-

движных элементов питания от применения биостимуляторов и сопоставить их действие с использованием азотных форм минеральных удобрений на урожайность яровой мягкой пшеницы в условиях Алейской степи Алтайского края. Опыт был проведен на чернозёме выщелоченном среднемощном легкосуглинистом на землепользовании КФХ «Андреева А.П.» в Алейском районе в 2011-2012 гг. Почвы опытного участка со слабокислой реакцией среды (рН 5,5), гидrolитическая кислотность 2,94 мг-экв/100 г почвы, содержание гумуса в пределах 3,0%, что соответствует низкой обеспеченности. Содержание нитратного азота очень низкое, подвижного фосфора – высокое и калия – повышенное. Степень насыщенности основаниями 14,3 мг-экв /100 г почвы. Высевали сорт яровой пшеницы Алтайская 530 – среднеспелый. Опыт состоял из 4 вариантов: контроль, N₆₀, БиоВайс+ТурМакс и совместное применение N₆₀+БиоВайс+ТурМакс. Применяли аммиачную селитру в дозе 60 кг д.в. на 1 га азота при посеве пшеницы. Перед посевом семена яровой пшеницы обрабатывали стимуляторами роста в дозе 25 мл/т БиоВайс и 250 мл/т ТурМакс. Установлено, что в