

# УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ ПРИ ВНЕСЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

*Р.А. Афанасьев, д.с.-х.н., В.А. Иванчик, ФГБНУ «ВНИИ Агрохимии»,  
E-mail^ rafail-afanasev@mail.ru,  
127550, Москва, ул. Прянишникова, 31а*

*Работа выполнена по госзаданию № 0572-2019-0011*

*Рассматриваются результаты трехлетнего полевого опыта, проведенного на дерново-подзолистой суглинистой почве Центрального региона РФ. Схемой полевого эксперимента предусмотрено изучение влияния азотных, фосфорных и калийных удобрений в возрастающих дозах от 30 до 120 кг д. в/га при их различном сочетании, на урожайность, качество и агроэкономические показатели производства зерна яровой пшеницы. Показано, что все изучаемые в опыте дозы и сочетания удобрений увеличивали урожайность культуры, но максимальные сбор зерна в среднем за 3 года (41,4 ц/га) и окупаемость удобрений прибавкой урожайности получены в варианте опыта  $N_{60}P_{60}K_{60}$ . Однако, стабильное повышение содержания белка в зерне отмечено при возрастании доз азота на фоне РК свыше 60 кг/га.*

*Ключевые слова:* Нечерноземная зона, яровая пшеница, минеральные удобрения, урожайность, качество, эффективность.

DOI: 10.25680/S19948603.2019.111.03

Зерновые культуры занимают в России 56% общей посевной площади. Яровые зерновые культуры высевают на площади около 60% от площади зерновых. Из яровых зерновых культур наибольшее продовольственное значение имеют озимая и яровая пшеница. В последние годы посевы яровой пшеницы в РФ составляют 14-15 млн га. Яровая пшеница обладает высокими потенциальной продуктивностью и пищевой ценностью. Совершенствование технологии возделывания позволяет реализовать потенциальную продуктивность пшеницы и получить высококачественное зерно, что имеет определяющее значение в условиях рыночной экономики. Возделываемые новые сорта яровой пшеницы интенсивного типа характеризуются повышенными требованиями к минеральному питанию. В реальных хозяйственных условиях, когда высокие цены на минеральные удобрения ограничивают их применение, урожайность зерна яровой пшеницы в России составляет 14-16 ц/га [1, 2]. Зональные системы удобрения яровой пшеницы разработаны давно, однако они не могут быть использованы в хозяйствах без привязки к конкретным почвенным, климатическим и агротехническим условиям.

В настоящее время основным документом, характеризующим эффективность возрастающих доз минеральных удобрений, являются «Нормативы для определения потребности сельского хозяйства в минеральных удобрениях», разработанные для основных сельскохозяйственных культур по природно-сельскохозяйственным зонам экономических районов страны [3]. В то же время известно, что в зависимости от почвенно-климатических условий, агрохимической характеристики почвы, предшественников, биологических особенностей культур и других факторов эффективность применения азотных, фосфорных и калийных удобрений может сильно различаться [4]. Кроме того, при ограниченных экономических возможностях перед производителями сельскохозяйственной продукции встает вопрос о применении таких видов и доз минеральных удобрений, которые были бы экономически оправданы приростом урожая при сохранении плодородия почвы. В целях разработки оптимальных режимов применения под яровую пшеницу в условиях Нечерноземной зоны

минеральных удобрений в 2015-2017 гг. был проведен полевой опыт по изучению их влияния на урожайность, качество зерна, а также на экономические показатели возделывания этой культуры.

**Методика.** Исследования проводили в 2015 г. на территории ООО «Минское» Костромского района Костромской области, а в 2016-2017 г. на опытном поле Костромской сельскохозяйственной академии на посевах яровой пшеницы (сорт Эстер) по следующей схеме: контроль (без удобрений),  $N_{60}P_{60}$ ,  $N_{60}K_{60}$ ,  $P_{60}K_{60}$ ,  $N_{30}P_{60}K_{60}$ ,  $N_{60}P_{60}K_{60}$ ,  $N_{90}P_{60}K_{60}$ ,  $N_{120}P_{60}K_{60}$ ,  $N_{60}P_{30}K_{60}$ ,  $N_{60}P_{90}K_{60}$ ,  $N_{60}P_{120}K_{60}$ ,  $N_{60}P_{60}K_{30}$ ,  $N_{60}P_{60}K_{90}$ ,  $N_{60}P_{60}K_{120}$ . Общая площадь делянки в опыте 2015 г. – 130 м<sup>2</sup> (20 м × 6,5 м). Учетная площадь делянки 120 м<sup>2</sup> (20 м × 6 м). Предшественник – картофель. Севооборот – зернотравянопропашной. Звено севооборота: 1 - картофель; 2 - яровая пшеница; 3 - овёс; 4 - многолетние травы 1-го г. п.; 5 - многолетние травы 2-го. г. п. Почва опыта дерново-подзолистая легкосуглинистая слабосмытая. Содержание легкогидролизуемого азота – 6,1 мг/кг, фосфора – 311, калия 85 мг/кг почвы, гумуса – 1,6 %, рН<sub>KCl</sub> 5,2. Общая площадь делянки в опыте 2016 – 2017 г. – 25 м<sup>2</sup> (10 м × 2,5 м), учётная площадь делянки 20 м<sup>2</sup> (10 м × 2 м). Предшественник – картофель. Севооборот – зернотравянопропашной. Звено севооборота: 1 - картофель; 2 - яровая пшеница; 3 - многолетние травы 1 г.п.; 4 - озимая пшеница. Почва опытного участка дерново-подзолистая легкосуглинистая. Содержание легкогидролизуемого азота – 8,4 мг/кг, фосфора – 171 калия – 62,5 мг/кг почвы, гумуса – 2,2 %, рН<sub>KCl</sub> 4,7. Размещение делянок во все годы исследований двухъярусное, повторность опыта четырёхкратная. Азот применяли в виде аммиачной селитры, фосфор – в виде двойного суперфосфата, калий – хлористого калия.

Метеорологические условия вегетационного периода 2015 г. в целом были благоприятными для роста и развития растений яровой пшеницы. По осадкам вегетационный период 2015 г. был приблизительно равен среднесуточным значениям (+8 мм), а по сумме среднемесячных температур был чуть теплее (+2,0° С). Анализируя вегетационный период 2016 г., можно отметить,

что обеспеченность осадками превысила среднемноголетние значения на 70 мм, а сумма среднемесячных температур была выше на 4,0 °С. Вегетационный период 2017 г. также был влажнее среднемноголетних значений (+ 36 мм), а по сумме температур холоднее на 7,3° С. По среднемноголетним значениям ГТК (1,48) Костромская область относится к влажной зоне. За три года исследований гидротермические коэффициенты были выше среднемноголетнего, т. е. вегетационный период яровой пшеницы характеризовался избыточным увлажнением. Тем не менее, засуха в августе 2017 г. привела к некоторому снижению урожайности по сравнению с 2015 - 2016 гг.

**Результаты и их обсуждение.** Анализ данных по урожайности яровой пшеницы за три года исследований показывает, что минеральные удобрения оказали положительное влияние на продуктивность культуры. Прибавки урожайности зерна от азотных удобрений на фоне  $P_{60}K_{60}$  в среднем за три года учета по сравнению с фоном колебались от 9,6 до 24,5 %, от фосфорных удобрений на фоне  $N_{60}K_{60}$  – от 2,3 до 12,9 %, от калийных удобрений на фоне  $N_{60}P_{60}$  – от -1,1 до +7,2 %. Как следует из этих показателей, наибольшее значение для урожайности яровой пшеницы в сложившихся условиях имело применение азотных удобрений на фоне двух других основных элементов питания. На втором месте по значимости были фосфорные удобрения, на третьем – калийные, соответственно, на фоне  $N_{60}K_{60}$  и  $N_{60}P_{60}$ . В определенной мере эффективность минеральных удобрений зависела от агрохимических свойств почвы и реакции растений на погодные условия.

Судя по обеспеченности почв гумусом и легкогидролизуемым азотом, в 2015 г. более низкое их содержание обусловило более высокую отзывчивость яровой пшеницы по сравнению с 2016-2017 г., в которые пшеницу высевали на более плодородных участках пашни. Если в 2015 г. в среднем по четырем вариантам с дозами азота от 30 до 120 кг/га на фоне РК получено 37,6 ц/га зерна, то в 2016 и 2017 г., соответственно, 36,2 и 36,6 ц/га, или на 1,4 и 1,0 ц/га меньше. Это касается и эффективности фосфорных и калийных удобрений. Если от применения фосфорных удобрений на фоне НК в 2015 г. в среднем по четырем вариантам опыта урожайность яровой пшеницы составила 38,5 ц/га, то в последующие два года 37,0 и 35,2 ц/га. Примерно такой же результат получен от применения калийных удобрений на фоне NP: 37,4 ц/га зерна в 2015 г. и 35,2-35,0 ц/га в 2016-2017 гг.

Что касается влияния на эффективность минеральных удобрений погодных условий, то из трех лет исследований наиболее благоприятными для развития яровой пшеницы оказались 2015 и 2016 г., которые по сумме осадков и температурным условиям в вегетационные периоды равнялись или превосходили среднемноголетние значения. В 2017 г. погода характеризовалась более низкой температурой в вегетационный период и августовской засухой, несмотря на достаточное увлажнение посевов в предыдущие месяцы вегетационного периода. Погодные условия, сложившиеся в 2017 г. более всего сказались на эффективности калийных и, особенно, фосфорных удобрений, что, по-видимому, обусловлено действием августовской засухи. Снижение урожайности пшеницы в 2017 г. по сравнению со средней урожайностью культуры в 2015-2017 г. составило по вариантам с азотными удобрениями всего лишь 0,25 ц/га, т.е. было в пределах ошибки опыта. Однако по

калийным удобрениям оно равно уже 1,3 ц/га, а по фосфорным – 2,6 ц/га, что в 2 раза больше. Это совпадает с полученными ранее данными о снижении доступности растениям подвижного калия и тем более фосфора при недостатке почвенной влаги [5]. Хотя указанные выше различия в урожайности яровой пшеницы в разные годы исследований не всегда могут считаться достоверными по статистической оценке, но выявленные тенденции носят вполне определенный характер.

**1. Урожайность яровой пшеницы**

Вариант опыта	Урожайность, ц/га				Прибавки урожайности (азот), %			
	2015 г.	2016 г.	2017 г.	Средняя	2015 г.	2016 г.	2017 г.	Средняя
Контроль (б/у)	30,0	29,7	26,0	28,6	-	-	-	-
Фон - $P_{60}K_{60}$	33,0	30,9	30,4	31,4	10,0	4,0	16,9	9,8
Фон + $N_{30}$	35,3	33,8	34,0	34,4	7,0	9,4	11,8	9,6
Фон + $N_{60}$	36,5	34,6	35,9	35,7	10,6	12,0	18,1	13,7
Фон + $N_{90}$	39,1	37,3	38,1	38,2	18,5	20,7	25,3	21,7
Фон + $N_{120}$	39,7	39,1	38,6	39,1	20,3	26,5	27,0	24,5
Фон - $N_{60}K_{60}$	36,7	33,7	34,0	34,8	22,3	13,5	30,8	21,7
Фон + $P_{30}$	37,5	34,4	34,8	35,6	2,8	2,1	2,4	2,3
Фон + $P_{60}$	36,5	34,6	35,9	35,7	-0,5	2,7	5,6	2,6
Фон + $P_{90}$	38,4	38,1	35,1	37,1	4,6	13,1	3,2	6,6
Фон + $P_{120}$	41,7	41,1	35,2	39,3	13,6	22,0	3,5	12,9
Фон - $N_{60}P_{60}$	37,1	33,5	34,0	34,9	23,7	12,8	30,8	22,0
Фон + $K_{30}$	35,2	34,3	33,9	34,5	-5,1	2,4	-0,3	-1,1
Фон + $K_{60}$	36,5	34,6	35,9	35,7	-1,6	3,3	5,6	2,3
Фон + $K_{90}$	38,1	35,5	34,2	35,9	2,7	6,0	0,6	2,9
Фон + $K_{120}$	39,8	36,5	36,0	37,4	7,3	9,0	5,9	7,2

НСР<sub>05</sub>: 2,6 (2015 г.), 0,9 (2016 г.), 2,5 (2017 г.)

Схема опыта позволила выделить влияние отдельных видов удобрений на фоне двух других не только на урожайность, но и на качественные показатели зерна яровой пшеницы. Различные виды удобрений оказали определенное влияние на массу 1000 зерен, содержание сырой клейковины (табл. 2), а также на натуру зерна. Азотные удобрения на фоне РК в среднем за 3 года повышали массу 1000 зерен ( $r = 0,95$ ) и содержание в зерне сырой клейковины ( $r = 0,96$ ) при отрицательном влиянии на натуру зерна ( $r = -0,77$ ). Фосфорные удобрения на фоне НК также оказывали положительное действие на массу 1000 зерен ( $r = 0,64$ ) и содержание в зерне сырой клейковины ( $r = 0,64$ ) при некотором отрицательном влиянии на натуру зерна ( $r = -0,21$ ). Калийные удобрения повышали массу 1000 зерен ( $r = 0,94$ ), содержание в зерне сырой клейковины ( $r = 0,88$ ) и натуру зерна ( $r = 0,87$ ).

Наблюдается также определенная сопряженность между отдельными показателями качества зерна яровой пшеницы под действием минеральных удобрений, что согласуется с ранее выявленными зависимостями [7]. Так, в среднем за три года в вариантах действия возрастающих доз азота на фоне РК в тесной корреляционной зависимости ( $r = 0,97$ ) находились масса 1000 зерен и содержание сырой клейковины. Также тесно коррелировали между собой масса 1000 зерен и содержание сырой клейковины при действии фосфорных удобрений на фоне НК ( $r = 0,9$ ). Средней величины корреляция между массой 1000 зерен и содержанием сырой клейковины отмечена при действии калийных удобрений на фоне NP ( $r = 0,67$ ). Содержание сырой клейковины под влиянием азотных удобрений было отрицательно свя-

зано с натурой зерна ( $r = -0,65$ ), но положительно под действием фосфорных ( $r = 0,2$ ) и калийных ( $r = 0,7$ ) удобрений. Следует отметить, что масса 1000 зерен и натура зерна находились между собой, при возрастающих дозах азота на фоне РК, в обратной зависимости ( $r = -0,55$ ), но в прямой для фосфорных ( $r = 0,38$ ) и, особенно, калийных ( $r = 0,89$ ) удобрений, вносимых на фоне, соответственно, NK и NP. Таким образом, азотные удобрения положительно влияли на массу 1000 зерен и содержание сырой клейковины в зерне и отрицательно – на натуру зерна; фосфорные удобрения повышали массу 1000 зерен и содержание в зерне сырой клейковины, но также негативно влияли на натуру зерна, калийные удобрения, наоборот, оказывали положительное действие на все три показателя качества зерновой продукции.

## 2. Показатели качества зерна яровой пшеницы

Вариант опыта	Масса 1000 зерен, г				Сырая клейковина, %			
	2015 г.	2016 г.	2017 г.	Средняя	2015 г.	2016 г.	2017 г.	Средняя
Контроль (б/у)	32,1	33,8	34,2	33,4	24,9	22,5	20,6	22,7
Фон - P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	34,1	34,8	36,2	35,0	26,9	21,5	21,6	23,3
Фон + N <sub>30</sub>	34,4	35,0	35,7	35,0	25,5	21,7	22,5	23,2
Фон + N <sub>60</sub>	34,5	35,4	36,1	35,3	26,7	23,8	25,0	25,2
Фон + N <sub>90</sub>	34,5	35,4	37,8	35,9	27,6	25,7	25,3	26,2
Фон + N <sub>120</sub>	34,4	35,3	38,5	36,1	27,7	25,5	27,6	26,9
Фон - N <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	34,2	35,1	36,9	35,4	27,6	24,3	23,5	25,1
N <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + P <sub>30</sub>	34,4	35,2	35,8	35,1	26,1	24,3	22,4	24,3
N <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + P <sub>60</sub>	34,5	35,4	36,1	35,3	26,7	23,8	25,0	25,2
N <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + P <sub>90</sub>	34,3	35,6	35,9	35,3	27,0	24,9	23,0	25,0
N <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + P <sub>120</sub>	34,8	35,8	37,4	36,0	28,1	25,7	23,9	25,9
Фон - N <sub>60</sub> P <sub>60</sub>	34,5	35,3	35,8	35,2	25,9	24,7	22,1	24,2
Фон + K <sub>30</sub>	34,5	35,4	36,0	35,3	26,8	23,1	23,3	24,4
Фон + K <sub>60</sub>	34,5	35,4	36,1	35,3	26,7	23,8	25,0	25,2
Фон + K <sub>90</sub>	34,4	35,7	37,1	35,7	27,9	23,7	23,5	25,0
Фон + K <sub>120</sub>	34,7	36,1	36,8	35,9	28,0	23,7	24,0	25,2
HCP <sub>05</sub>	0,9	0,7	1,3		1,3	1,0	1,0	

Важным показателем эффективности применения минеральных удобрений под яровую пшеницу служит их окупаемость с экономической точки зрения. Экономическая эффективность использования удобрений приведена в таблице 3.

При расчёте экономической эффективности использовали следующие расценки. Стоимость суперфосфата двойного – 18,6 руб/кг, калия хлористого – 18,0, аммонийной селитры – 13,3 руб/кг. Внесение минеральных удобрений – 0,39 руб/кг, доставка к месту внесения (кг/км) – 0,12 руб. Затраты на уборку и транспортировку дополнительного урожая зерна яровой пшеницы – 1,19 руб/кг. Цена реализации 1 т зерна: яровой пшеницы семенной – 14 тыс. руб., товарной – 12 тыс. руб. (стоимость удобрений и продукции указана на момент расчёта). В среднем за три года исследований наблюдался положительный экономический эффект от применения удобрений, за исключением варианта без внесения азота. Максимальная рентабельность была достигнута в вариантах N<sub>60</sub>K<sub>60</sub>, N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>, N<sub>60</sub>P<sub>30</sub>K<sub>60</sub>, N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> и N<sub>120</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>, что обусловлено, в первую очередь, относительно невысокими ценами на аммонийную селитру,

а также в варианте N<sub>60</sub>P<sub>120</sub>K<sub>60</sub> за счет повышенной прибавки урожайности.

## 3. Экономическая эффективность применения удобрений

Вариант опыта	Прибавки урожая, ц/га				Рентабельность, %			
	2015 г.	2016 г.	2017 г.	Средняя	2015 г.	2016 г.	2017 г.	Средняя
Фон - P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	3,0	1,2	4,4	2,9	-11,5	-68,1	-7,6	-29,1
Фон + N <sub>30</sub>	5,3	4,1	8,0	5,8	20,4	-18,2	27,6	9,9
Фон + N <sub>60</sub>	6,5	4,9	9,9	7,1	22,1	-19,0	28,2	10,4
Фон + N <sub>90</sub>	9,1	7,6	12,1	9,6	43,1	4,5	31,3	26,3
Фон + N <sub>120</sub>	9,7	9,4	12,6	10,6	34,2	11,8	20,0	22,0
Фон - N <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	6,7	4,0	8,0	6,2	88,4	3,0	60,4	50,6
Фон + P <sub>30</sub>	7,5	4,7	8,8	7,0	66,1	-5,8	38,9	33,1
Фон + P <sub>60</sub>	6,5	4,9	9,9	7,1	22,1	-19,0	28,2	10,4
Фон + P <sub>90</sub>	8,4	8,4	9,1	8,6	31,8	12,8	2,5	15,7
Фон + P <sub>120</sub>	11,7	11,4	9,2	10,8	55,0	29,7	-9,4	25,1
Фон - N <sub>60</sub> P <sub>60</sub>	7,1	3,8	8,0	6,3	76,6	-12,8	35,1	33,0
Фон + K <sub>30</sub>	5,3	4,6	7,9	5,9	16,9	-12,0	18,0	7,6
Фон + K <sub>60</sub>	6,5	4,9	9,9	7,1	22,1	-19,0	28,2	10,4
Фон + K <sub>90</sub>	8,1	5,8	8,2	7,4	32,0	-16,2	-1,2	4,9
Фон + K <sub>120</sub>	9,8	6,8	10,0	8,9	40,9	-13,0	7,4	11,8

**Выводы.** 1. Все изучаемые в опыте дозы удобрений достоверно увеличивали урожайность яровой пшеницы относительно контроля. Однако ведущая роль в повышении урожая яровой пшеницы на дерново-подзолистых почвах региона принадлежит фосфору. Максимальная урожайность всего опыта за три года исследований для варианта N<sub>60</sub>P<sub>120</sub>K<sub>60</sub> составила 41,4 ц/га. Азотные удобрения обеспечили максимальную урожайность в дозах N<sub>90</sub> и N<sub>120</sub> на фоне P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> (40,3 и 41,2 ц/га), калийные – в дозе K<sub>120</sub> на фоне N<sub>60</sub>P<sub>60</sub> (39,5 ц/га).

2. Применение минеральных удобрений положительно влияло на качество зерна пшеницы. Хлебопекарные свойства зерна изменялись от применения минеральных удобрений. Накопление белка стабильно увеличивалось с возрастанием доз азотных удобрений выше 60 кг д.в./га.

3. Окупаемость минеральных удобрений прибавкой урожая зерна в 2015-2017 гг. оказалась наибольшей для азотных удобрений на фоне фосфора и калия в дозе 60 кг д.в./га. Калийные удобрения в максимальных дозах, в отличие от азотных и фосфорных, в меньшей степени способствовали росту окупаемости их прибавками урожая зерна.

## Литература

- Минеев В.Г., Сычев В.Г., Гамзиков Г.П. и др. Агрохимия. - М.: Изд-во ВНИИА, 2017. – С. 611-621.
- Кидин В.В. Система удобрения. - М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2012. – 188 с.
- Нормативы для определения потребности сельского хозяйства в минеральных удобрениях. - М.: ВИАУ, 1980. – 240 с.
- Сычев В.Г., Шафран С.А. Агрохимические свойства почв и эффективность минеральных удобрений. - М.: ВНИИА, 2013. – 296 с.
- Сычев В.Г. Основные ресурсы урожайности сельскохозяйственных культур и их взаимосвязь. - М.: Изд-во ЦИНАО, 2003. – 228 с.
- Булгакова Н.Н., Нилова Н.Т. Биологические аспекты оптимизации минерального питания пшеницы. - М.: ВНИИА, 2006. – 224 с.
- Семенова Е.А., Афанасьев Р.А. Эффективность применения удобрений под яровую пшеницу в условиях Уральского региона // Плодородие. - № 6 (105). - 2018. – С. 2-4.

## INFLUENCE OF MINERAL FERTILIZERS ON THE YIELD AND QUALITY OF SPRING WHEAT UNDER CONDITIONS OF NON-CHERNOZEM ZONE

R.A. Afanasev, V.A. Ivanchik

Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Pryanishnikova ul. 31A, 127434 Moscow, Russia, e-mail: rafail-afanasev@mail.ru

*The results of a three-year field experiment conducted on sod-podzolic loamy soil of the Central region of the Russian Federation are considered. The scheme of the field experiment provides for the study of the effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers in increasing doses from 30 to 120 kg of nutrients. with their various combinations for yield, quality and agro-economic indicators of spring wheat grain production. It was shown that all the doses and combinations of fertilizers studied in the experiment increased the yield of the crop, but the maximum grain harvest for an average of 3 years 4.14 t/ha and the payback of fertilizers with an increase in yield were obtained in experiment version N60P60K60. However, a steady increase in the protein content in the grain was noted with increasing doses of nitrogen against a background of PK over 60 kg/ha.*

*Key words: Non-Chernozem zone, spring wheat, mineral fertilizers, yield, quality, effectiveness.*

УДК 57.045:581.1:631.81

## **ВЛИЯНИЕ СЕЛЕНА И КРЕМНИЯ НА РЕАЛИЗАЦИЮ АДАПТИВНОГО ПОТЕНЦИАЛА ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ ПРИ ДЕЙСТВИИ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА**

*Л.В. Осипова<sup>1</sup>, д.б.н., И.В. Верниченко<sup>2</sup>, д.б.н., Л.В. Ромодина<sup>2</sup>, к.б.н., Т.Л. Курносова<sup>1</sup>, к.б.н.,  
И.А. Быковская<sup>1</sup>, А.А. Лапушкина<sup>2</sup>,*

*<sup>1</sup>ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова,  
127550, Москва, ул. Прянишникова, 31а, legos4@yandex.ru*

*<sup>2</sup>Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева,  
127550, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49*

**Работа выполнена по госзаданию № 0572-2019-0014**

*В условиях лабораторных и вегетационных опытов выявлены общие и специфические особенности реакции растений ячменя на окислительные стрессы, индуцированные повышенным содержанием в почве алюминия и почвенной засухой. Предпосевная обработка семян (ПОС) биогенными элементами подготавливала растения ячменя к возможным стрессовым воздействиям, способствуя снижению содержания малонового диальдегида (МДА) в растениях, стимулированию поглотительной активности корневой системы и возрастанию содержания хлорофилла b и каротиноидов, а также сокращению периода, когда азотный обмен был подавлен. Это в итоге снижало потери продуктивности ячменя в условиях окислительного стресса, особенно индуцированного засухой.*

*Ключевые слова: яровой ячмень, селен, кремний, предпосевная обработка семян, продуктивность, почвенная засуха, алюминиевая токсичность, окислительный стресс, малоновый диальдегид, фотосинтетические пигменты, меченый азот.*

DOI: 10.25680/S19948603.2019.111.04

Проблема устойчивости зерновых культур к стрессовым факторам в последние годы приобрела исключительную актуальность из-за усиливающегося негативного воздействия последних на формирование продуктивности, что связано с продовольственным обеспечением безопасности страны [1].

В многочисленных исследованиях адаптации растений к различным стрессорам установлено наличие единого механизма развития повреждений и защиты при любых абиотических стрессах [2, 3]. Существование универсального ответа на различные стресс-факторы позволяет предположить возможность одним способом повысить устойчивость к широкому диапазону погодно-климатических ситуаций.

Исследования, проведенные в последние десятилетия, показали, что селен и кремний справедливо могут быть отнесены к биогенным элементам, необходимым для растений. Однако, многие вопросы, освещающие механизмы действия этих элементов, их роль в стрессоустойчивости, остаются нерешенными.

Зерновые культуры в течение вегетации подвергаются действию стрессов различной природы, которые снижают реализацию генетически обусловленного потенциала продуктивности растений. Одним из наиболее распространенных стрессов является токсичное действие алюминия.

Цель исследований - изучить влияние селена и кремния на формирование продуктивности ярового ячменя при действии абиотических стрессов, индуцированных засухой и алюминием.

**Методика.** Опыты проводили с яровым ячменем (*Hordeum vulgare* L.) сорта Надежный. Изучали способы предпосевной обработки семян: 1 – 0,01%-ным раствором  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ , 2 – 0,15%-ным раствором  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , 3 – раствором солей  $\text{Na}_2\text{SeO}_3 + \text{Na}_2\text{SiO}_3$ , взятых в одинаковых соотношениях в количестве раствора для обработки, равном 5% от массы семян.

В лабораторных экспериментах растения выращивали на растворах стрессоров в рулонной культуре в термокамере при постоянном поддержании температуры и влажности. Стрессы моделировали, используя растворы сахарозы 3,8-5,8% и  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  – 4-12 мг/100 мл.

Вегетационные опыты проводили в почвенной культуре на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве со следующей агрохимической характеристикой: гумус – 2,1%,  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  4,5,  $\text{H}^+$  – 4,2 мг-экв/100 г почвы; S – 12, T – 13,2 мг-экв/100 г почвы; V – 74%;  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 93 мг/кг сухой почвы;  $\text{K}_2\text{O}$  – 82, Al – 10,0 мг/кг сухой почвы.

Питательные вещества вносили при закладке опытов: NPK – 100 и 150 мг/кг почвы. В течение вегетации поддерживали оптимальный уровень водообеспеченности – 70% ПВ.