

Физические, физиологические и генетические основы биологической продуктивности почвенно-растительного комплекса в естественных и регулируемых условиях

УДК 631.81.095.338:631.53.011.2:631.559

**ПРОЛОНГИРОВАННОЕ ВЛИЯНИЕ ДЕФИЦИТА ОСНОВНЫХ
МАКРОЭЛЕМЕНТОВ НА КАЧЕСТВО СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА И
УРОЖАЙНОСТЬ РАСТЕНИЙ СЛЕДУЮЩЕГО ПОКОЛЕНИЯ**

Е. В. Канааш, Л. П. Гусакова, М. В. Архипов, А. К. Виличко
ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»
195220, Санкт-Петербург, Гражданский проспект, д.14
E-mail: ykanash@yandex.ru; L-Gusakova@mail.ru

Поступила в редакцию 16 декабря 2016 г., принята к печати 16 февраля 2017 г.

Оптимизация режима минерального питания и использование высококачественных семян являются необходимыми условиями повышения урожайности сельскохозяйственных растений. В данной работе на примере яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum L.*) сортов Эстер и Красноуфимская-100 было определено влияние дефицита основных макроэлементов (азот, фосфор, калий) в период формирования семян на их посевные качества, морфометрические характеристики проростков и продуктивность растений следующего поколения. Семена были получены в естественных условиях от растений, выращенных на полигоне Агрофизического научно-исследовательского института (Меньково, Ленинградская область). В контрольном варианте для создания оптимального режима минерального питания перед посевом были внесены азот, фосфор и калий в дозах 180, 240 и 300 кг га⁻¹. В трех других вариантах один из макроэлементов не вносился, и семена были сформированы в условиях недостатка азота, фосфора или калия. Комплексная оценка качества семян, полученных в контроле и трех вариантах опыта, выполнена в лабораторных условиях. Оценка продуктивности растений следующего поколения проведена в условиях мелкоделяночного опыта. Установлено, что дефицит азота и фосфора приводит к формированию семян с пониженными посевными и урожайными свойствами. Достоверных изменений качества семян под влиянием дефицита калия не обнаружено. Выявлено, что лучшие из сформированных кондиционных образцов семенного материала получены при предпосевном внесении всех трех макроэлементов (азота, фосфора и калия). Сорты пшеницы Эстер и Красноуфимская-100 при сходной направленности ответной реакции различаются чувствительностью к дефициту азота и фосфора.

Ключевые слова: дефицит азота, фосфора и калия, качество семян, урожай растений следующего поколения.

**PROLONGED EFFECT OF MAIN MACRONUTRIENTS DEFICIENCY ON SEEDS
QUALITY AND YIELD OF NEXT GENERATION OF PLANTS**

E. V. Kanash, L. P. Gusakova, M. V. Arkhipov, A. K. Vilichko
Agrophysical Research Institute, 14, Grazhdanskiy pr., St. Petersburg, 195220
E-mail: ykanash@yandex.ru; L-Gusakova@mail.ru

Optimization of mineral nutrition regime and the use of high quality seeds are essential for increasing crop yields. In this paper, on the example of soft spring wheat (*Triticum aestivum L.*) cultivars Esther and Krasnoufimskaya-100 the effect of the main macronutrients (nitrogen, phosphorus, potassium) deficiency during the seeds formation on their sowing qualities, morphometric properties of seedlings and yield of next generation of plants was estimated. Seeds were harvested from plants grown at the lands of the Agrophysical Research Institute (Menkovo, Leningrad region). In order to provide optimal conditions of mineral nutrition nitrogen, phosphorus and potassium were introduced in rates of 180, 240 and 300 kg ha⁻¹, respectively, before sowing (control). In three other variants, one of macronutrients was not applied, and seeds were formed under conditions of nitrogen, phosphorus or potassium deficiency. Assessment of the seeds quality obtained in the control and three variants of the experiment was carried out in a laboratory. Productivity of next generation of plants was estimated in small-plot experiments. It was found that nitrogen and phosphorus deficiency led to the formation of seeds with lower sowing and yield properties. No significant changes in the quality of seeds, formed under conditions of potassium deficiency were detected. It was found that the best seeds were obtained when all the three macronutrients (nitrogen, phosphorus and potassium) were used. Wheat cultivars Esther and Krasnoufimskaya-100 have different sensitivity, but a similar response to nitrogen and phosphorus deficiency.

Key words: deficiency of nitrogen, phosphorus and potassium, sowing qualities of seeds, grain yield of next generation of plants.

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшими условиями повышения урожайности зерновых культур являются соблюдение оптимального режима питания и качественный посевной материал. Известно, что агроклиматические условия выращивания растений, а также формирования и созревания семян оказывают влияние на интенсивность начального роста, устойчивость к действию стрессовых факторов внешней среды и в итоге на продуктивность растений следующего поколения (Жученко, 1988; Ермаков и др., 2001).

Имеющие в литературе данные касаются, как правило, исследований прямого влияния удобрений на посевные качества и урожайные свойства материнских растений в год их репродукции (Сечняк и др., 1983; Гусакова, Лыкова, 2004; Бабаева, 2009). Количество представленных в доступной литературе данных о пролонгированном влиянии различных элементов минерального питания на урожайность растений следующего поколения весьма незначительно. Так, в работах Л. К. Сечняка с соавторами (1983, 1990) отмечается, что последствие удобрений на урожай озимой пшеницы проявляется не на всех сортах, а его направленность может быть как положительной, так и отрицательной.

В более поздних работах было выявлено, что пространственно-дифференцированное внесение удобрений, при котором учитывается неоднородность содержания питательных элементов в почве поля, позволяет повысить урожайность пшеницы на 25% и более (Воропаев и др., 2007; Матвеев и др., 2012). По мнению авторов, такая оптимизация питательного режима растений в посеве способствует также улучшению технологического качества получаемого зерна и увеличению содержания сырого белка на 9,6–23,6% (и, как следствие, сырой клейковины) до значений, соответствующих высшему классу качества. Было установлено (Матвеев и др., 2010), что существуют значительные различия в отзывчивости сортов пшеницы на удобрение. Например, для получения высококачественного зерна яровой пшеницы сорта Эстер требуется более высокий

уровень азотного питания в период вегетации по сравнению с сортами Ленинградская-97 и Красноуфимская-100. Вместе с тем влияние различных режимов минерального питания на посевные качества формирующихся семян остается выясненным не до конца.

В связи с этим целью данного исследования заключалась в том, чтобы изучить посевные качества семян материнских растений яровой пшеницы, сформированных при различных уровнях минерального питания, и оценить пролонгированное влияние дефицита основных макроэлементов (азот, фосфор, калий) на урожайные свойства растений следующего поколения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования служили семена яровой мягкой пшеницы двух сортов – Эстер и Красноуфимская 100 (Пшеница мягкая яровая. Электронный ресурс 2017 г.). Сорт Эстер внесен в Госреестр селекционных достижений с 2004 года. Сорт среднеспелый, высокопродуктивный с потенциалом продуктивности $8,0 \text{ т га}^{-1}$, с высоким выходом кондиционных семян, адаптирован к широкому диапазону условий возделывания. Азотные удобрения оказывают определяющее влияние на урожайность. Сорт Красноуфимская-100 внесен в Госреестр с 2003 года по Волго-Вятскому региону. Среднеспелый, максимальная урожайность – $7,0 \text{ т га}^{-1}$.

Семена на материнских растениях были сформированы в полевых условиях Меньковского филиала Агрофизического научно-исследовательского института (Ленинградская область, Гатчинский район) на участках поля, отличающихся по содержанию азота, фосфора и калия. При оптимальном режиме минерального питания азот, фосфор и калий были внесены перед посевом в количестве 180, 240 и 300 кг га^{-1} соответственно (вариант $N_{180}P_{240}K_{300}=NPK$). При дефиците азота ($N_0P_{240}K_{300}=PK$), фосфора ($N_{180}P_0K_{300}=NK$) и калия ($N_{180}P_{240}K_0=NP$) при предпосевном удобрении один из макроэлементов не вносился. В лабораторных условиях и в условиях мелкоделяночного опыта (повторность 3-кратная) было оценено

продолженное влияние дефицита азота, фосфора или калия на качество формирующихся семян и продуктивность растений следующего поколения. При комплексной оценке посевных и урожайных качеств семян, сформированных на разных фонах удобрений, определялся ряд показателей:

- масса 1000 семян;
- энергия прорастания и всхожесть;
- средние значения длины ростков и корешков и их масса на 7-й день проращивания (ранее полученные данные свидетельствуют, что партия семян, при прорастании которой формируются более длинные и крупные ростки и корешки, характеризующиеся большей массой, рассматривается как партия с более высокой потенциальной продуктивностью семян);
- распределение по длине и массе ростков и корней на 7-й день проращивания (чем большее число проростков характеризуется наибольшей длиной и

массой ростка и корней, тем выше потенциальная продуктивность партии семян);

– структура урожая дочерних растений, полученных из семян, сформированных при различных уровнях азота, фосфора и калия.

Качество семян оценивалось с использованием подходов, предложенных в «Методике комплексной оценки биологической и хозяйственной пригодности семенного материала» (Архипов и др., 2013). Всхожесть определялась в лабораторных условиях по ГОСТ 12038-84, масса 1000 семян – по ГОСТ 12042-80. При оценке урожайных свойств структура урожая дочерних растений анализировалась с помощью общепринятых методов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 приведены средние значения массы 1000 семян, сформированных растениями пшеницы сортов Эстер и Красноуфимская-100 в зависимости от режима минерального питания.

Таблица 1. Масса 1000 семян (г) растений пшеницы при различных режимах минерального питания

Сорт	Вариант опыта			
	$N_0P_{240}K_{300}$	$N_{180}P_0K_{300}$	$N_{180}P_{240}K_0$	$N_{180}P_{240}K_{300}$
Красноуфимская-100	33,4	27,2	35,4	35,2
Эстер	29,7	28,5	39,2	36,8

Как можно увидеть из таблицы, у сортов Эстер и Красноуфимская-100 самые мелкие семена образованы при дефиците фосфора. При дефиците азота отмечено небольшое уменьшение массы 1000 семян у сорта Красноуфимская-100 (5%) и значительное (20%) – у более требовательного к содержанию азота в почве сорта Эстер. Более информативной характеристикой отклика растений пшеницы на дефицит основных макроэлементов являются гистограммы распределения растений по массе 1000 семян (рис. 1 и 2), которые свидетельствуют, что предпосевное внесение азота, фосфора и калия способствует появлению растений с более крупными семенами. При внесении каждого из макроэлементов доля растений с наиболее крупными семенами увеличивается, но самые значительные изменения происходят при дополнительном внесении азота.

По показателям всхожести и энергии прорастания семена пшеницы сорта Красноуфимская-100, сформированные при высоком уровне минерального питания ($N_{180}P_{240}K_{300}$), незначительно отличались от тех, которые были сформированы при дефиците азота, фосфора или калия. Незначительное снижение всхожести семян (3 и 5%) наблюдалось у растений пшеницы сорта Эстер, выращенных при дефиците фосфора и азота соответственно. Энергия прорастания при дефиците данных макроэлементов снизилась соответственно на 11% и 17%.

Обнаружено, что дефицит макроэлементов в период формирования семян отразился на их качестве, что проявилось в изменении массы 1000 семян, длины ростков и корешков при проращивании (табл. 2, 3), а также массы органов (рис. 3).

Таблица 2. Распределение проростков по длине корней на 7-е сутки проращивания (% от общего числа измеренных).

Вариант	Красноуфимская-100			Эстер		
	длина корней, мм					
	>100	50–100	<50	>100	50–100	<50
N ₀ PK	76	22	2	42	47	12
NP ₀ K	30	68	2	51	44	5
NPK ₀	72	27	1	94	3	3
NPK	60	36	4	72	26	2

Таблица 3. Распределение проростков по длине ростка на 7-е сутки проращивания (% от общего числа измеренных).

Вариант	Красноуфимская-100				Эстер			
	длина ростков, мм							
	>150	100–150	50–100	0–50	<150	100–150	50–100	0–50
N ₀ PK	6	38	52	4	1	20	40	37
NP ₀ K	0	34	56	15	0	19	78	8
NPK ₀	9	49	29	3	0	72	25	3
NPK	10	44	42	4	2	75	18	5

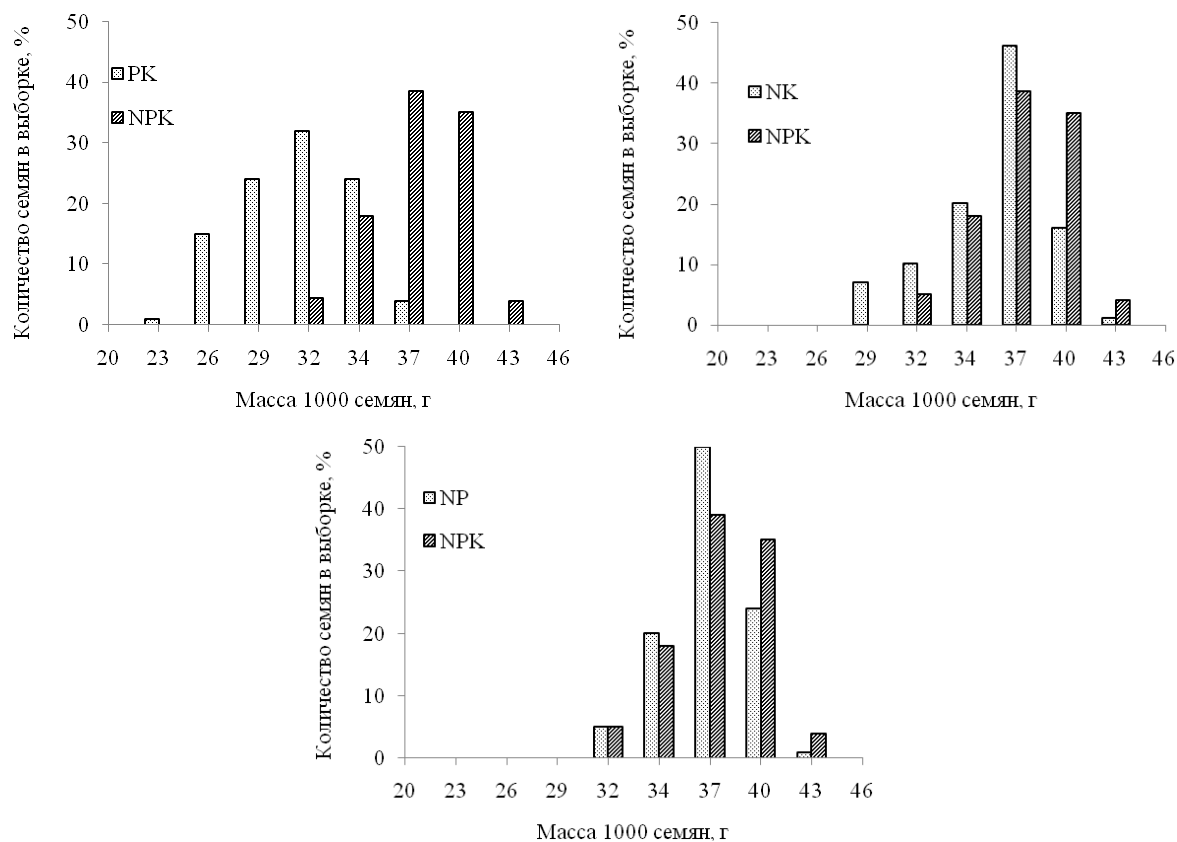


Рис. 1. Распределение по крупности зерен пшеницы сорта Эстер, сформированных при различных режимах минерального питания. Контроль – NPK (N₁₈₀P₂₄₀K₃₀₀) – растения не испытывали дефицита азота, фосфора и калия. Варианты дефицита основных макроэлементов: PK – азота; NK – фосфора; NP – калия. Ошибка определения не превышает 1,5%

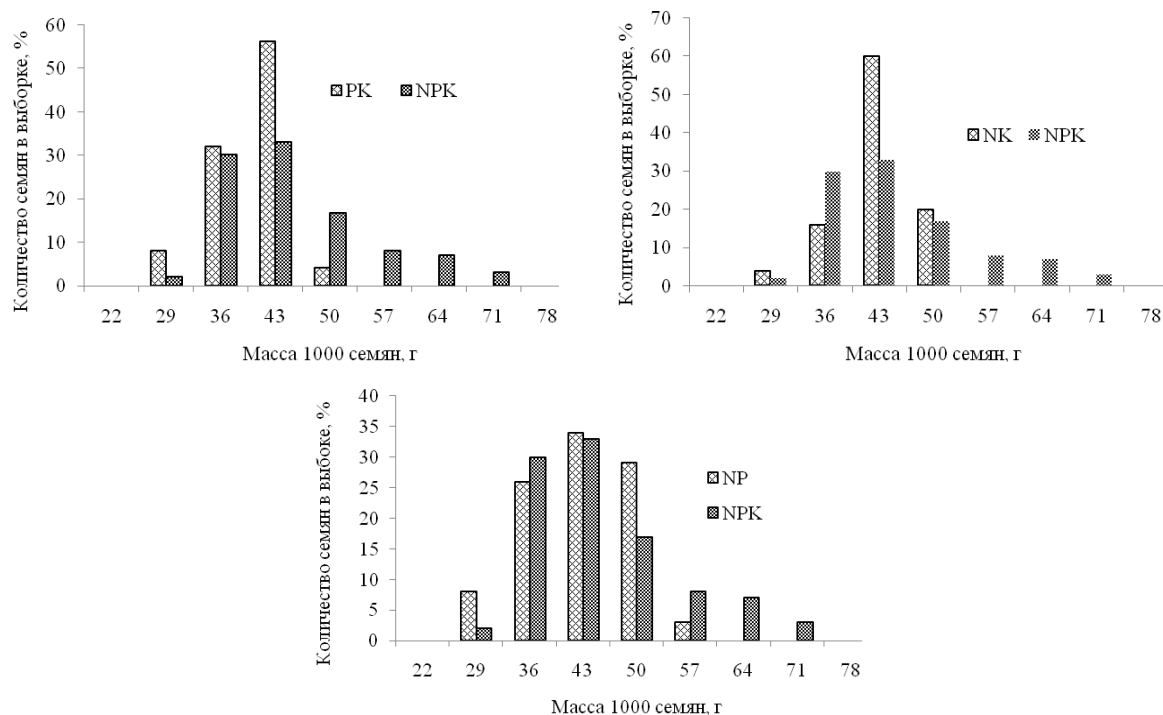


Рис. 2. Распределение по крупности зерен пшеницы сорта Красноуфимская-100, сформированных при различных режимах минерального питания. Контроль – NPK ($N_{180}P_{240}K_{300}$) – растения не испытывали дефицита азота, фосфора и калия. Варианты дефицита основных макроэлементов: PK – азота; NK – фосфора; NP – калия. Ошибка определения не превышает 1,7%.

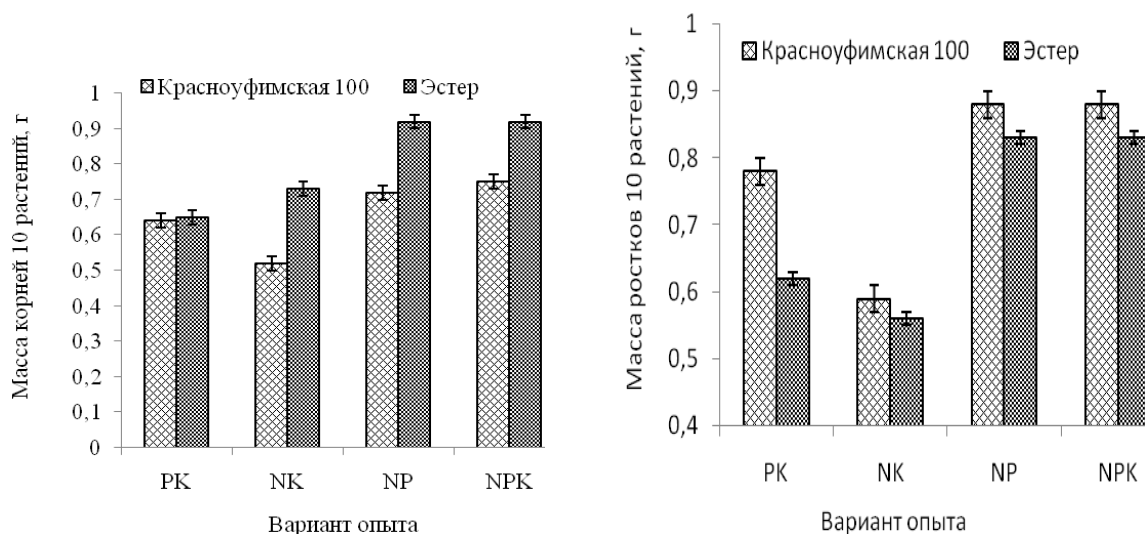


Рис. 3. Масса корней и ростков 7-дневных растений пшеницы сортов Красноуфимская-100 и Эстер в зависимости от режима минерального питания. Контроль – NPK ($N_{180}P_{240}K_{300}$) – растения не испытывали дефицита азота, фосфора и калия. Дефицит макроэлементов: PK – азота; NK – фосфора; NP – калия.

Качество семян растений пшеницы сортов Эстер и Красноуфимская-100 отличалось в зависимости от обеспеченности растений азотом, фосфором или калием в период формирования семян. Незначительное увеличение роста корней на 7-е сутки проращивания семян наблюдалось у сорта Красноуфимская-100 в вариантах

N_0PK и NPK_0 по сравнению с вариантом NPK, тогда как у сорта Эстер 94% проростков в варианте NPK_0 имели длину, превышающую 100 мм. Число проростков с максимальной длиной корешков у данного сорта было существенно меньше в варианте N_0PK , чем в контроле. У обоих сортов рост корней замедлялся при формировании семян

в условиях дефицита фосфора. Семена пшеницы сортов Эстер и Красноуфимская-100, сформированные при дефиците фосфора (NР₀К), при проращивании давали до 8% и 15% очень коротких ростков (0–50 мм), в то время как в варианте NPK лишь 4–5% проростков имели длину менее 50 мм. Большая часть проростков в варианте NPK имела длину ростка, равную 100–150 мм. Наиболее низкие показатели массы ростков и корней отмечались в том случае, когда семена были сформированы при дефиците фосфора (рис. 3). Низкими показателями биомассы данных органов характеризовались также растения, полученные из семян, сформированных при дефиците азота. Дефицит калия не привел к достоверному изменению качества семян.

Положительная направленность влияния оптимальных доз удобрений, выявленных при анализе семян материнских

растений, проявилась и в дочернем поколении (рис. 4). Наиболее существенное снижение урожайности наблюдалось у дочерних растений, полученных из семян, сформированных при дефиците азота, достоверное снижение установлено также при дефиците фосфора. Таким образом, пролонгированное действие неблагоприятного режима минерального питания проявляется не только на ранних этапах развития дочерних растений (замедление роста корней и ростков и уменьшение их биомассы), но и на поздних сроках вегетации. Дефицит азота и фосфора в период формирования семян в дальнейшем приводит к снижению урожайности дочерних растений пшеницы сортов Эстер и Красноуфимская-100. Дефицит калия не привел к достоверному изменению роста и урожайности растений пшеницы опытных сортов.

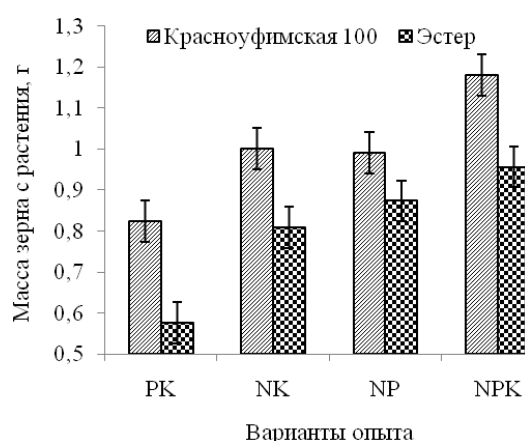


Рис. 4. Продуктивность растений пшеницы сортов Красноуфимская-100 и Эстер, полученных из семян, сформированных при различных режимах минерального питания. Контроль – NPK(N₁₈₀P₂₄₀K₃₀₀) - растения не испытывали дефицита азота, фосфора и калия. Дефицит макроэлемента: PK – азота; NK – фосфора; NP – калия.

Полученные результаты свидетельствуют, что несбалансированное минеральное питание в период формирования семян может существенно изменить их качество и стать причиной снижения урожайности полученных из них растений следующего поколения. Это согласуется с имеющимися в литературе данными (Гриценко, Калошина, 1972) о том, что под влиянием внесенных минеральных удобрений изменяется химический состав семян. Так, в частности, при внесении азотных удобрений отмечается увеличение

содержания белков альбумина и глобулина, которые обладают ферментативной активностью и играют важную роль в обменных процессах, происходящих как на начальном этапе прорастания, так и при последующем развитии растений. Также авторы отмечают положительное влияние фосфора на формирование и созревание семян. Лабильные углеводофосфаты используются для дыхания и синтеза белков и других соединений при прорастании семени и дальнейшем росте проростков. С другой стороны, фосфор устраняет вредное

влияние избытка азота. В связи с этим И. В. Мосолов (1979) отмечает, что на величину урожая и его качество оказывает влияние не только уровень минерального питания, но и соотношение между основными элементами, в частности, азотом и фосфором.

По мнению В. Н. Федоришева и др. (2001), самую значительную прибавку урожайности обеспечивает именно полное минеральное удобрение, поскольку при таком соотношении элементы удобрения используются наиболее продуктивно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненное в полевых и лабораторных условиях исследование на примере семян яровой мягкой пшеницы сортов Эстер и Красноуфимская-100 показало, что дефицит одного из основных макроэлементов приводит к формированию семян с пониженными посевными и урожайными свойствами, что определяет снижение урожайности растений следующего поколения. В результате комплексного анализа качества семян установлено, что в условиях дефицита азота и фосфора формируется семенной материал с пониженным ростовым потенциалом и более низкой потенциальной продуктивностью. Достоверных изменений посевных и урожайных качеств семян, сформированных при дефиците калия, не обнаружено. Выявлено, что лучшие из сформированных кондиционных образцов семенного материала получены при предпосевном внесении всех трех макроэлементов (азота, фосфора и калия). Сорты пшеницы Эстер и Красноуфимская-100 при сходной направленности ответной реакции на дефицит азота или фосфора различаются чувствительностью к их дефициту и отзывчивостью на внесение данных элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Архипов М. В., Гусакова Л. П., Великанов Л. П., Виличко А. К., Желудков А. Г., Алферов В. Б. Методика комплексной оценки биологической и хозяйственной пригодности семенного материала. СПб: АФИ, 2013. 52 с.
- Бабаева Н. Ю. Посевные качества и урожайные свойства семян яровой мягкой пшеницы в зависимости от условий минерального питания материнских растений в лесостепи Поволжья. Дисс... канд. с.-х. наук. Пенза. 2009. 148 с.
- Воропаев В. В., Лекомцев П. В., Якушева О. И. Управление продуктивностью и качеством зерна яровой пшеницы на фоне почвенной неоднородности // Методическое и экспериментальное обеспечение адаптивно-ландшафтных систем земледелия. СПб., 2007. С. 214–226.
- ГОСТ 12042-80. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения массы 1000 семян.
- ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести.
- ГОСТ Р 52325-2005. Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия. М.: Стандартиформ. 20 с.
- Гриценко В. В., Калошина З. М. Семеноведение полевых культур. М.: Колос, 1972. 216 с.
- Гусакова Л. П., Лыкова Н. А. Определение оптимальных условий формирования семян в многофакторном эксперименте // Зерновое хозяйство. 2004. № 4. С. 14–16.
- Ермаков Е. И., Савин В. Н., Канаш Е. В. Дифференциация сортов пшеницы по устойчивости и адаптационной способности в зависимости от температурных условий формирования семян // Сельскохозяйственная биология. 2001. № 3. С. 18–26.
- Жученко А. А. Адаптивный потенциал культурных растений. Кишинев: Штиинца, 1988. 768 с.
- Матвиенко Д. А., Ковтох С. Н., Конев А. В., Лекомцев П. В. Дифференцированное внесение азотных удобрений по результатам аэрофотосъемки посевов яровой пшеницы // Материалы международной конференции «Тенденции развития агрофизики в условиях изменяющегося климата» (к 80-летию Агрофизического НИИ). Санкт-Петербург, 20–21 сентября 2012 года. СПб, 2012. С. 527–530.
- Матвиенко Д. А., Воропаев В. В., Конев А. В., Лекомцев П. В., Петрушин А. Ф., Якушев В. В. Использование тестовых площадок для контактной и дистанционной оптической регистрации оптических характеристик растений и определения доз азотных подкормок в системе точного земледелия // Материалы координационного совещания Агрофизического института. Санкт-Петербург, 25–26 марта 2010 г. СПб, 2010. С. 45–50.
- Мосолов И. В. Физиологические основы применения минеральных удобрений. М.: Колос, 1979. 256 с.
- Пшеница мягкая яровая. Электронный ресурс 2017 г: <http://kursak.net/sorta-yarovoj-pshenicy/> и www.profermer.ru/zern_tehnolog_ayr_pshenica_ester.html
- Сечняк Л. К., Киндрук Н. А., Брединский А. А. Гидротермические и трофические факторы формирования высококачественных семян // Сельскохозяйственная биология. 1990. т. XV. № 6. С. 838–841.
- Сечняк Л. К., Киндрук Н. А., Слюсаренко О. К., Иващенко В. Г., Кузнецов Е. Д. Экология семян пшеницы. М.: Колос, 1983. 350 с.
- Федоришев В. Н., Каланчина А. С., Пешехонов В. С., Башлаков С. А. Реакция ячменя на технологические особенности возделывания // Агрехимический вестник. 2001. № 1. С. 18.

REFERENCES

- Arhipov M. V., Gusakova L. P., Velikanov L. P., Vilichko A. K., Zheludkov A. G., Alferov V. B. *Metodika kompleksnoj ocenki biologicheskoy i hozjajstvennoj prigodnosti semennogo materiala* [Technique of comprehensive evaluation of the biological and economical suitability of seeds]. St. Petersburg: Agrophysical institute Publishing, 2013. 52 p.
- Babaeva N. Ju. *Posevnye kachestva i urozhajnye svojstva semjan jarovoj mjagkoj pshenicy v zavisimosti ot uslovij mineral'nogo pitaniya materinskih rastenij v lesostepi Povolzh'ja* [Sowing qualities and fruitful properties of spring wheat seeds depending of maternal plants mineral nutrition in forest-steppe of the Volga region]. Diss... kandidata s.-h. nauk, Penza. 2009. 148 p.
- Voropaev V. V., Lekomtcev P. V., Jakusheva O. I. Upravlenie produktivnost'ju i kachestvom zerna jarovoj pshenicy na fone pochvennoj neodnorodnosti [Management of producing capacity and quality of spring wheat grains against the background of the soil heterogeneity]. V sb.: *Metodicheskoe i jeksperimental'noe obespechenie adaptivno-landshaftnyh system zemledelija*. St. Petersburg: 2007, pp. 214–226.
- GOST 12042-80. *Semena sel'skohozjajstvennyh kul'tur. Metody opredelenija massy 1000 semjan* [GOST 12042-80. Crop Seeds. Methods for mass of 1000 seeds determination].
- GOST 12038-84. *Semena sel'skohozjajstvennyh kul'tur. Metody opredelenija vshozhesti* [Crop Seeds. Methods for determination the seeds germinating capacity].
- GOST R 52325. *Semena sel'skohozjajstvennyh rastenij. Sortovye i posevnye kachestva. Obshhie tehnicheckie uslovija* [Crop Seeds. Varietal and sowing characteristics. General specifications]. Moscow: Standartinform, 2005. 20 p.
- Gricenko V. V., Kaloshina Z. M. *Semenovedenie polevyh kul'tur* [Seed studies of field crops]. Moscow: Kolos, 1972. 216 p.

- Gusakova L. P., Lykova N. A. Opredelenie optimal'nyh uslovij formirovanija semjan v mnogofaktornom eksperimente [Determination of the optimal conditions for the seeds formation in a multivariate experiment]. *Zernovoe hozjajstvo*, 2004, no. 4, pp. 14–16.
- Ermakov E. I., Savin V. N., Kanash E. V. Differenciacija sortov pshenicy po ustojchivosti i adaptacionnoj sposobnosti v zavisimosti ot temperaturnyh uslovij formirovanija semjan [Differentiation of wheat varieties for resistance and adaptive capacity, depending on the temperature conditions of seeds formation]. *Sel'skohozejstvennaja biologija*, 2001, no. 3, pp. 18–26.
- Zhuchenko A. A. Adaptivnyj potencial kul'turnyh rastenij [Adaptive capability of cultivated plants]. Kishinev: Shtiinca, 1988. 768 p.
- Matvienko D. A., Kovtjuh S. N., Konev A. V., Lekomcev P. V. Differencirovanoe vnesenie azotnyh udobrenij porezul'tatam ajerofotos'emki posevov jarovoj pshenicy. [Differentiated application of nitrogen fertilizer on the results of aerial photography of spring wheat crops]. *Materialy mezhdunarodnoi konferentsii «Tendentsii razvitiia agrofiziki v usloviakh izmeniaiushchegosia klimata (k 80-letiiu Agrofizicheskogo NII)»*. Sankt-Peterburg, 20–21 sentiabria 2012 g. [Materials of the international conference «Tendencies of development of agrophysics in the conditions of the changing climate (to the 80 anniversary of Agrophysical scientific research institute)». St. Petersburg, on September 20–21, 2012]. St. Petersburg, 2012, pp. 527–530.
- Matvienko D. A., Voropaev V. V., Konev A. V., Lekomcev P. V., Petrushin A. F., Jakushev V. V. Ispol'zovanie testovyh ploshhadok dlja kontaktnoj distancionnoj opticheskoi registracii opticheskikh harakteristik rastenij i opredelenija doz azotnyh podkormok v sisteme tochnogozemelidija. [The use of test areas for contact and remote optical detection of plants optical characteristics and determination of nitrogen application doses in precision farming system]. *Materialy koordinacionnogo soveshhanija Agrofizicheskogo instituta*. - Sankt-Peterburg, 25–26 marta 2010 g. [Materials of Agrophysical Institute Coordination Meeting, 25–26 March, 2010]. St. Petersburg: Agrophysical institute Publishing, 2010, pp. 45–50.
- Mosolov I. V. Fiziologicheskie osnovy primenenija mineral'nyh udobrenij. [Physiological basis for the use of mineral fertilizers]. Moscow: Kolos, 1979. 256 p.
- Pshenica mjagkaja jarovaja. Jelektronnyj resurs 2017 g. [Soft spring wheat. Electronic resources, 2017]: <http://kursak.net/sorta-yarovoj-pshenicy/> and www.profermer.ru/zern_tehnolog_ayr_pshenica_ester.html
- Sechnjak L. K., Kindruk N. A., Bredinskij A. A. 1990. Gidrotermicheskie i troficheskie faktor formirovanija vysokokachestvennyh semjan. [Hydrothermal and trophic factors of high quality seeds formation]. *Sel'skohozejstvennaja biologija*, 1990, t. XV, no. 6, pp. 838–841.
- Sechnjak L. K., Kindruk N. A., Sljusarenko O. K., Ivashhenko V. G., Kuznecov E. D. Jekologija semjan pshenicy. [Ecology of wheat seeds]. Moscow: Kolos, 1983. 350 p.
- Fedorishev V. N., Kalanchina A. S., Pesheonov V. S., Bashlakov S. A. Reakcija jachmenja na tehnologicheskie osobennosti vozdeljvanija. [Barley reaction to the technological features of cultivation]. *Agrohimicheskij vestnik*, 2001, no. 1, pp. 18.