

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.5.437-446>

УДК 633.11:581.1.:581.142



Влияние метеоусловий превегетации на урожайность и урожайные качества семян мягкой яровой пшеницы

© 2019. О. С. Амунова ✉

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

В серии полевых и лабораторных опытов 2014...2018 гг. изучали 11 генотипов мягкой яровой пшеницы. Лабораторная часть включала учет всхожести семян и оценку физиологических параметров проростков (число зародышевых корней, массу сухого вещества корней и ростков и их соотношение (индекс RSR)). Полевая часть исследования включала фенологические наблюдения, оценку генотипов по продуктивности и урожайности. Средняя урожайность пшеницы в годы исследования составила 1,93...4,92 т/га и зависела от метеоусловий в период налива зерна. Признак «масса 1000 семян» формировался под влиянием генотипа (68,1%), доля влияния метеоусловий составила 11,8%. Установлено, что продолжительность репродуктивного периода мягкой яровой пшеницы в Кировской области должна составлять не менее 40 суток. Сокращение продолжительности репродуктивного периода приводит к снижению всхожести семян. Семена, формирование и развитие которых проходило при оптимальной температуре (16 °C), большую часть запасных веществ семени при прорастании направляли на развитие надземной части (индекс RSR = 0,70). В этих условиях сорта с более низким значением корневого индекса характеризовались высокими значениями элементов структуры продуктивности. При повышенной (на 2...4 градуса) среднесуточной температуре воздуха на материнских растениях формировались семена, способные прорастать значимо большим (на 6,6...9,0%) числом зародышевых корней. При прорастании таких семян пластические вещества распределялись между ростком и зародышевыми корнями равномерно (индекс RSR = 0,94...0,98). Усиление притока ассимилятов в корневую систему проростка мы связываем с тем, что процесс формирования семян на материнских растениях проходил в близких к стрессовым условиям, и адаптированные семена больше запасных веществ направляли на развитие корней.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., урожайность, всхожесть, масса 1000 семян, метеорологические условия, превегетация, проросток, индекс RSR, элементы структуры продуктивности

Благодарности: работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (тема № 0767-2019-0093).

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Амунова О. С. Влияние метеоусловий превегетации на урожайность и урожайные качества семян мягкой яровой пшеницы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20(5):437-446. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.5.437-446>

Поступила: 06.06.2019

Принята к публикации: 27.09.2019

Опубликована онлайн: 18.10.2019

Influence of weather conditions during the pre-vegetation period on productivity and yield qualities of soft spring wheat seeds

© 2019. Oksana S. Amunova ✉

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

Eleven genotypes of soft spring wheat were studied in a series of field and laboratory experiments in 2014 - 2018. The laboratory test included accounting for seed germination and assessing the physiological parameters of seedlings (number of seminal roots, dry matter mass of roots and shoots and their ratio (RSR index)). The field tests included phenological observations, assessment of genotypes by productivity and average yield. The average yield of wheat during the years of study was 1.93-4.92 t/ha and depended on weather conditions during the period of grain formation. The trait "1000-grain mass" was formed under the influence of the genotype (68.1%), the portion of influence of weather conditions was 11.8%. It has been established that the duration of the reproductive period of soft spring wheat in the Kirov region should be at least 40 days. Reducing the duration of the reproductive period leads to a decrease in seed germination capacity. Seeds the formation and development of which took place at the optimum temperature of 16 °C, by germination spent the most part of seed reserve substances for the development of the aboveground part of the plant (RSR index = 0.70). Under these conditions, the varieties with a lower root index were characterized by high values of the elements of yield structure. At the increased average daily air temperature (by 2-4 °C), seeds that could germinate with a significantly higher number of seminal roots (6.6-9.0%) developed on the maternal plants. During the germination of such seeds, the plastic substances distributed evenly between the shoots and

seminal roots (RSR index = 0.94-0.98). The increased influx of assimilates to root system of seedlings could be explained by the fact that the process of seed formation on the maternal plants took place under conditions close to stressful and the adapted seeds spent more reserve substances for root development.

Key words: *Triticum aestivum* L., yield, germination capacity, 1000-grain mass, weather conditions, pre-vegetation, seedling, RSR index, productivity structure components

Acknowledgement: The research was carried out within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky (theme No. 0767-2019-0093).

Conflict of interest: the author stated that there was no conflict of interest.

For citation: Amunova O. S. Influence of weather conditions during the pre-vegetation period on productivity and yield qualities of soft spring wheat seeds. *Agrarnaya nauka Evro Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019;20(5):437-446. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.5.437-446>

Received: 06.06.2019

Accepted for publication: 27.09.2019

Published: 18.10.2019

Тысячелетняя практика земледельцев свидетельствует о влиянии условий репродукции семян на их урожайные качества. Исследованиями установлено [1, 2], что в каждой экологической зоне при выращивании растений одного и того же генотипа формируются разные по урожайным качествам семена. Качество посевного материала зависит от условий формирования семян на материнском растении – с момента оплодотворения и первых клеточных делений образовавшейся зиготы до созревания¹ [3]. Семена с наилучшими урожайными качествами формируются в благоприятных условиях роста и развития материнских растений. Регламентируют развитие растений – погодные условия.

Яровая мягкая пшеница – одна из наиболее ценных сельскохозяйственных культур, возделываемых в Волго-Вятском регионе. В структуре зернового клина, по данным Департамента сельского хозяйства Кировской области, она занимает 10...12%. Яровая пшеница предъявляет высокие требования к уровню плодородия и кислотности почв, активно реагирует на изменения экологических условий в рамках агроландшафта [4]. В Кировской области преобладают малоплодородные подзолистые и дерново-подзолистые почвы. Они отличаются повышенной кислотностью, малым содержанием гумуса и низкой обеспеченностью микроэлементами [5]. Погодные условия области характеризуются неравномерным распределением тепло- и влагоресурсов как по годам, так и в течение вегетационного периода. В последние годы отмечена тенденция к увеличению частоты и продолжительности засух как ранневесенних, так и устойчивых. Обеспеченность питательными элементами, обводненность территории, температура почвы и воздуха, микробиологическая деятельность почвенной микрофлоры

создают условия для нарастания корневой и вегетативной массы растений [6, 7] и, в конечном итоге, играют важную роль в формировании урожайности.

Условия репродукции семян меняются каждый год, поскольку экологические факторы, действуя на материнские растения, модифицируют сам наследственный аппарат их семян [8]. Показано, что у растений существует групповая направленная изменчивость, индуцируемая агроэкологическими условиями выращивания, запоминаемая в семенах и передаваемая следующему поколению в виде репродуктивной памяти² [9]. Сигнальные макромолекулы, вызывающие модификацию урожайных качеств семян, возникают в корневой системе и передаются через стебель в меристемы, половые клетки и сохраняются в семенах [8]. Ткани, окружающие зародыш, формируют семенную оболочку и дополнительные семенные структуры, влияющие на прорастание семян, изменчивость генотипов в онтогенезе и их адаптационные возможности [10].

Гидротермические факторы, минеральное питание и прочие экологические факторы, при которых развивались материнские растения, существенно влияют на параметры последующего поколения, поэтому обычно экологические последствия изучают либо у проростков, либо у ювенильных растений [11, 12, 13]. Исследования влияния материнских фенотипических эффектов на потомственные растения последующих репродукций немногочисленны [11]. К тому же отсутствует единая точка зрения на степень и механизмы влияния условий преветации (вегетации растений предыдущего поколения) на адаптивность вегетирующих растений [14]. Этим и обусловлена актуальность подобных исследований.

¹Ступин А. С. Основы семеноведения. СПб: Лань, 2014. 384 с.

²Анци Дж. Сельскохозяйственная экология. М.: Изд-во иностранной литературы, 1958. 320 с.

Цель работы – выявить закономерности проявления материнского фенотипического эффекта у растений мягкой яровой пшеницы и особенности формирования урожайных качеств семян в метеоусловиях, отличных от оптимальных.

Материал и методы. Объектом для исследования были 11 генотипов мягкой яровой пшеницы селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Полевой опыт закладывали на опытном участке ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (с. Красное) в 2014...2018 гг. Почвы опытного поля дерново-подзолистые среднесуглинистые сформированы на элювии пермских глин. Содержание в почве подвижного фосфора – 166 мг/кг, обменного калия – 175 мг/кг, гумуса 2,02%. Предшественник – чистый пар. Посев проходил в оптимальные сроки, семена сеяли в физиологически спелую почву с нормой высева 6 млн всхожих зерен на 1 га. В период вегетации все наблюдения проводили в соответствии с Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур³. Структуру продуктивности сортов пшеницы анализировали по 20 растениям с учетных площадок.

Всхожесть семян определяли в лабораторных условиях. Лабораторная оценка генотипов пшеницы в фазу проростков (число зародышевых корней, сухая масса корней и ростков) включала учет физиологических параметров семян, репродуцированных в условиях разных лет (2015...2017 гг.). Параллельно оценивали «корневой индекс», или root-soot ratio (RSR), как соотношение сухой массы корней и ростков. Содержание белка в зерне определяли на приборе «Inframatic 8620».

Данные лабораторных и полевых опытов обрабатывали статистически с использованием пакетов программ Microsoft Office Excel 2007.

Результаты и их обсуждение. Вегетативный период онтогенеза злаковых культур характеризуется развитием вторичных корней, формированием стеблей и колоса. В этот период мягкая яровая пшеница сильно реагирует на температуру воздуха, обеспеченность влагой. Оптимальной температурой для развития растений в период от всходов до стеблевания считают 7...12 °С, в фазу колошения – 15...16 °С [15]. Недостаток влаги и высокая температура воздуха угнетают рост междоузлий, приводят к сокращению размера листьев и длины коло-

са, провоцируют образование в колосе недоразвитых и стерильных цветков.

Репродуктивный период начинается цветением и заканчивается спелостью зерновки. В этот период дифференцируется зародыш, в зерновку поступают пластические вещества. При созревании семян аминокислоты под влиянием соответствующих ферментов превращаются в белки. Если в этот период выпадают осадки, то в семенах усиливается синтез крахмала. Зерно, содержащее больше эндосперма, как известно, характеризуется высокой натурой. Оптимумом репродуктивного периода считают 16 °С. Более высокие значения температуры воздуха приводят к сокращению поступления в зерновку пластических веществ, в результате чего семена остаются шуплыми. При пониженных температурах процесс созревания зерновки затягивается.

Метеорологические условия в период проведения исследования характеризовались неравномерным температурным режимом и количеством атмосферных осадков (табл. 1). Данные о погодных условиях взяты с сайта Кировского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды⁴.

Сочетание параметров, характеризующих метеоусловия вегетации, привело к варьированию сроков наступления фаз онтогенеза и их продолжительности. В результате длительность вегетационного периода мягкой яровой пшеницы составила в разные годы 84...90 суток.

Высокая среднесуточная температура и сильнейший недостаток влаги в начале вегетации в 2014 г. отрицательно сказались на энергии кущения, часть растений погибла. Стеблевание пшеницы проходило при пониженных температурах и большом количестве атмосферных осадков, вызвавших появление дополнительных побегов (подгона). Низкая (относительно климатической нормы) температура воздуха и незначительное количество осадков, сопровождавшие репродуктивный период развития, замедлили налив зерна и созревание сортов всех групп спелости. Увеличение продолжительности периода «колошение – восковая спелость» отрицательно повлияло на качественные показатели зерна.

³Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. М., 1971. 248 с.

⁴Кировский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pogoda43.ru/статьи/климат.html> (дата обращения: 24.04.2019).

Таблица 1 – Характеристика метеоусловий вегетации мягкой яровой пшеницы (2014...2018 гг.) (г. Киров) /
Table 1 – Characteristic of weather conditions of growing season of soft spring wheat (2014...2018) (Kirov)

Показатель / Indicator	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.
<i>Вегетативный период / Vegetative period</i>					
Среднесуточная температура, °C / Daily air temperature, °C	16,8	16,8	15,0	11,4	15,1
Сумма осадков, мм / Sum of precipitation, mm	113,0	79,3	76,9	191,6	142,9
Сумма эффективных температур, °C / Sum of effective temperatures, °C	649,5	882,6	697,5	717,9	668,7
Число суток / Number of days	42	50	47	56	52
<i>Репродуктивный период / Reproductive period</i>					
Среднесуточная температура, °C / Daily air temperature, °C	17,0	15,9	19,3	17,8	19,6
Сумма осадков, мм / Sum of precipitation, mm	59,0	128,6	119,6	88,4	105,8
Сумма эффективных температур, °C / Sum of effective temperatures, °C	467,7	625,4	711,7	572,0	606,5
Число суток / Number of days	47	40	35	32	32
<i>Вегетационный период / Growing period</i>					
Число суток / Number of days	89	90	82	88	84

Высокая среднесуточная температура воздуха в сочетании с равномерной увлажненностью в вегетативный период онтогенеза пшеницы в 2015 г. способствовали кущению растений и закладке высокопродуктивного колоса. Генеративный период проходил в условиях избыточного увлажнения и пониженных температур. Увеличение продолжительности фазы налива и созревания зерна способствовало повышению массы 1000 зерен и общей урожайности, но отрицательно отразилось на свойствах белка.

Вегетация растений в 2016 г. проходила при повышенной (относительно средней многолетней) температуре воздуха и значительно сокращенном количестве осадков (выпадали, в основном, в виде ливней). Сумма эффективных температур на 35% превысила климатическую норму. Жаркая и сухая погода привела к недостаточной влагообеспеченности растений, что способствовало уменьшению числа зерен в колосе, прерыванию налива зерна и, как следствие, снижению урожайности пшеницы более чем на 30%.

Погодные условия 2017 г. характеризовались избыточным количеством осадков и недостатком тепла, особенно в первую половину вегетации. Это благоприятно отразилось на общей кустистости растений, однако спровоцировало распространение листовых болезней. Сильные ливни повлекли частичное полегание растений. Репродуктивный период проходил преимущественно в благоприятных условиях.

Метеоусловия вегетации в 2018 г. характеризовались оптимальным сочетанием тепла и влаги: отклонение суммы осадков от климатической нормы составило 6%, температуры воздуха +0,6 °C. Сумма эффективных температур на 11% превысила показатель многолетней средней.

Условия вегетации мягкой яровой пшеницы в 2014, 2015 и 2018 гг. можно оценить, в целом, как удовлетворительные для роста и развития растений, 2016 г. характеризовался засушливостью, 2017 г. – излишней увлажненностью.

Признак «урожайность» интегрирует действие всех факторов на растительный организм во время его развития, а величина урожая есть результат «компромисса» продуктивности и устойчивости к неблагоприятным факторам [16]. Общая характеристика 11 генотипов пшеницы по признаку «урожайность» (2014...2018 гг.) представлена на рисунке 1.

За пять лет наблюдений наибольшая средняя урожайность (38,9 ц/га) отмечена у селекционной линии С-65, при этом вариативность признака была ниже, чем у большинства исследованных генотипов. Это указывает на генетическую «гибкость» линии С-65 и наличие компенсаторной способности, потому что, как известно, чем выше показатель средней урожайности, тем выше степень соответствия между генотипом и различными средовыми факторами.

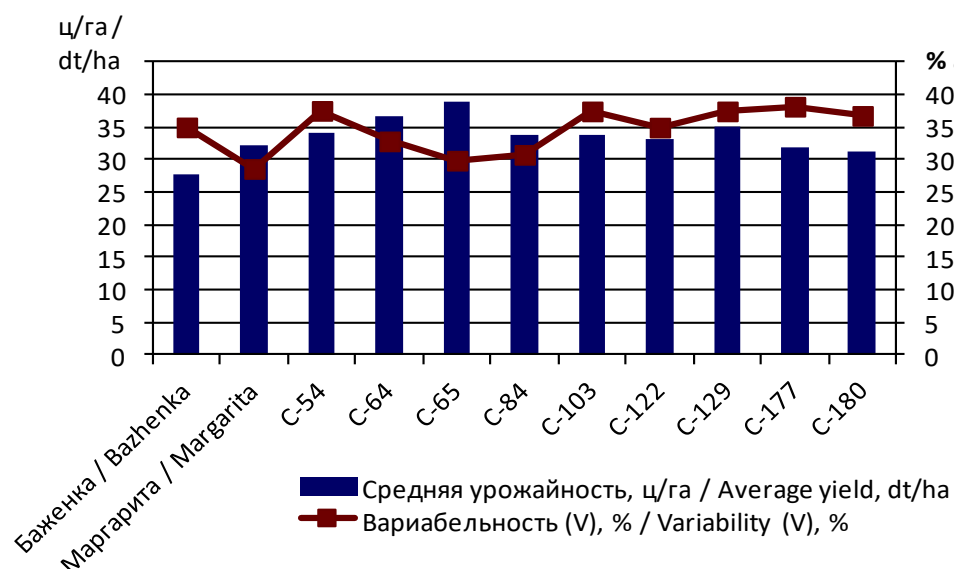


Рис. 1. Средняя урожайность сортов мягкой яровой пшеницы, ц/га /
Fig. 1. Average productivity of soft spring wheat varieties, dt/ha

Величина урожайности зависит от совокупности агроклиматических, эдафических, биотических и других факторов. Анализ парных корреляций между урожайностью мягкой яровой пшеницы и параметрами, характеризующими метеоусловия вегетации, позволил выявить их сопряженность. Урожайность исследованных сортов достоверно отрицательно коррелировала (при $p \leq 0,05$) со среднесуточной температурой

воздуха, сопровождавшей репродуктивный период развития растений ($r = -0,883$).

Наиболее урожайными были 2014, 2015 гг. – средняя урожайность изученных генотипов составила соответственно 49,4 и 42,3 ц/га, а масса 1000 зерен по выборке соответствовала значениям 43,7 и 46,3 г, при этом межсортная вариабельность признаков была незначительной (табл. 2).

Таблица 2 – Урожайность и крупнозерность сортов мягкой яровой пшеницы (2014...2018 гг.) /
Table 2 – Productivity and 1000-grain mass of soft spring wheat varieties (2014...2018)

Показатель / Indicator	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.
Урожайность, ц/га / Yield capacity, dt/ha	49,4±1,5	42,3±1,3	19,3±1,7	33,3±1,1	23,0±0,5
Максимальная урожайность, ц/га / Max yield capacity, dt/ha	55,0	50,2	26,1	40,1	25,1
Минимальная урожайность, ц/га Min yield capacity, dt/ha	41,4	33,5	12,5	27,1	20,0
V, %	9,8	10,3	21,7	11,0	7,0
Масса 1000 зерен, г / 1000-grain mass, g	43,7±1,0	46,3±1,0	41,6±1,2	38,5±0,8	38,4±1,1
Максимальная масса 1000 зерен, г / Max 1000-grain mass, g	48,8	51,8	49,0	43,2	45,6
Минимальная масса 1000 зерен, г / Min 1000-grain mass, g	36,2	40,8	35,0	34,3	32,0
V, %	7,9	7,0	9,9	7,2	9,7
r_{xy}	0,650*	0,743*	0,768*	0,715*	0,295

* – статистически значимо при $p \leq 0,05$ / * – significant at $p \leq 0.05$

Незначительная (7,0%) межсортная вариабельность по урожайности отмечалась в 2018 г. Величина признака варьировала в пределах 20,0...25,1 ц/га и была почти в два

раза ниже показателей, отмеченных в 2014 г. Неурожайным был 2016 год: средняя урожайность генотипов пшеницы в опыте составила 19,3 ц/га, при максимальном значении 26,1 ц/га

и минимальном – 12,5 ц/га. Изменчивость признака в условиях этого года была значительной, коэффициент вариации составил 21,7%.

Несмотря на низкую урожайность, в 2016 г. сформировалось достаточно крупное зерно – показатель «масса 1000 семян» имел значение 41,6 г и статистически значимо уступал только среднему значению, отмеченному в 2015 г. (табл. 2). В целом по годам изменчивость признака «масса 1000 семян» была незначительной ($V = 7,4\%$). Однофакторный дисперсионный анализ признака показал, что доля влияния условий среды в его формировании составила 11,8%, наибольший вклад внес генотип (68,1%).

Крупнозерность пшеницы сопряжена с урожайностью, однако сила связи между данными признаками в разные годы различна (табл. 2). Более тесная связь параметров выявлена в годы с нетипичными для Кировской области метеоусловиями. Например, в засушливом 2016 г. коэффициент корреляции урожайности с массой 1000 зерен имел максимальное в исследовании значение ($r = 0,768$), в излишне увлажненном 2017 г. связь между признаками также была сильной ($r = 0,715$).

Крупность зерна – один из признаков, по которому диагностируют урожайность сорта на следующий год. Коэффициенты корреляции между этими признаками действительно имеют положительные значения, но сила связи

различна. Так, урожайность пшеницы в 2015, 2017 гг. была достоверно (при $p \leq 0,05$) связана с параметром «масса 1000 семян», сформированным в условиях предыдущего года ($r = 0,876$ и $0,777$ соответственно). Наиболее высокой урожайностью в 2016 г. характеризовались те генотипы, которые в условиях превегетации синтезировали в зернах меньше белка ($r = -0,723$), а поскольку масса 1000 зерен отрицательно коррелировала с содержанием белка ($r = -0,709$), можно считать, что данный параметр косвенно связан с урожайностью. Сопряженность урожайности сортов в 2018 г. с массой 1000 семян и содержанием белка в зерне, репродуцированном в 2017 г., недостоверна.

Условия репродукции семян повлияли на их всхожесть. Репродуктивный период пшеницы в годы исследования длился 32...47 суток (табл. 1). Исследование показало, что лабораторная всхожесть выше у семян, которые сформировались в 2014, 2015 гг. В эти годы период налива зерна продолжался более 40 суток, и растения имели достаточно времени для накопления в семенах запасных веществ, витаминов, макро- и микроэлементов, от которых в значительной степени зависит протекание физиолого-биохимических процессов при их прорастании. На рисунке 2 отражена зависимость всхожести семян пшеницы от содержания белка и крупности зерновок (масса 1000 зерен).

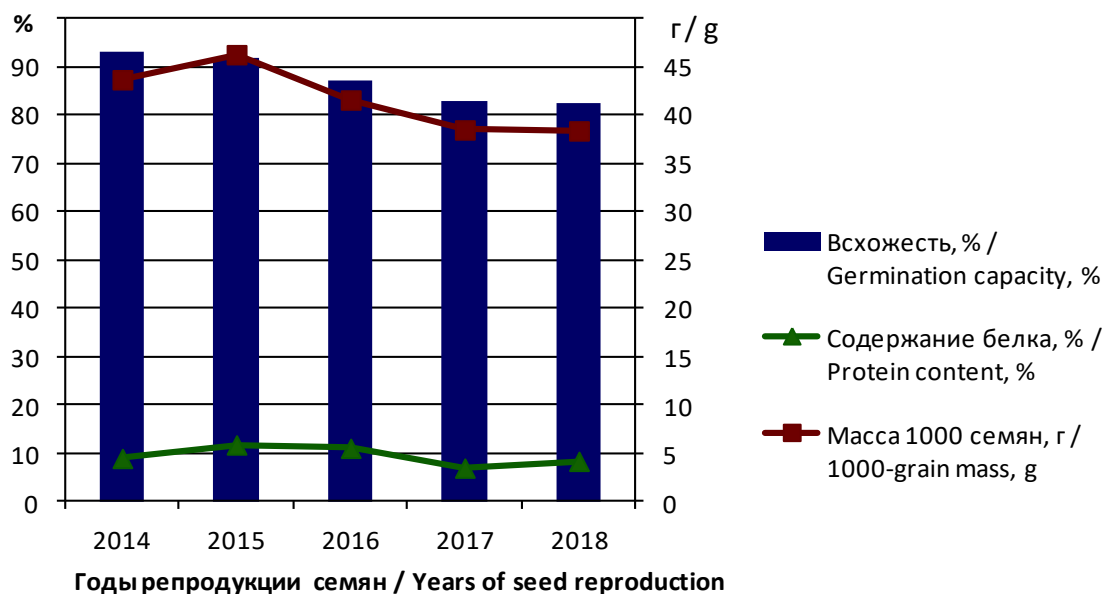


Рис. 2. Зависимость всхожести мягкой яровой пшеницы от крупности семян и содержания в них белка /
Fig. 2. Dependence of germination capacity of spring wheat on 1000-grain mass and protein content

Сокращение репродуктивного периода из-за преобладания высоких среднесуточных температур привело к преждевременной спелости и усыханию зерна, в результате чего отмечено снижение абсолютного веса зерновки и уменьшение в ней доли белка, что впоследствии привело к снижению всхожести семян. Коэффициент корреляции между продолжительностью репродуктивного периода материнских растений и лабораторной всхожестью семян достоверно высокий ($r = 0,955$).

Метеоусловия периода формирования и

созревания зерновок повлияли на параметры развития проростков пшеницы. Сравнительный анализ проростков, развившихся из семян 2015...2017 гг., позволил выявить некоторые особенности. Во-первых, семена 2015 г., налив которых проходил при оптимальной для данного периода температуре воздуха (16 °C) и достаточном увлажнении, сформировали мощные ростки (вес ростка статистически значимо превосходил значения других лет) и относительно слабую корневую систему (наименьшее в опыте число зародышевых корней и их сухой вес) (табл. 3).

*Таблица 3 – Ростковые показатели развития проростков пшеницы в перерасчете на одно растение /
Table 3 – Growth indicators of development of wheat seedlings per one plant*

<i>Показатель / Indicator</i>	<i>Год репродукции / Year of reproduction</i>	<i>Среднее в опыте / Average in test</i>	<i>Предел межсортного варьирования / Limit of intervarietal variation</i>	<i>V, %</i>
Число зародышевых корней, шт. / Number of seminal roots, pcs.	2015	4,36±0,09	3,85...4,84	6,7
	2016	4,79±0,09	4,28...5,31	6,5
	2017	4,62±0,09	4,21...5,19	6,7
Сухой вес зародышевых корней, мг / Dry mass of seminal roots, mg	2015	5,12±0,20	3,98...6,09	13,2
	2016	6,47±0,19	5,36...7,60	9,5
	2017	5,97±0,21	4,84...7,38	11,6
Сухой вес ростка, мг / Dry mass of a shoot, mg	2015	7,71±0,34	5,45...9,01	15,7
	2016	6,89±0,18	6,03...7,60	8,7
	2017	6,17±0,19	5,08...7,03	10,4
Сухой вес проростка, мг / Dry mass of a seedling, mg	2015	12,33±0,42	9,53...14,53	11,4
	2016	13,35±0,32	11,46...14,91	7,8
	2017	12,14±0,37	10,10...13,94	10,1
RSR (root-soot ratio)	2015	0,70±0,05	0,49...1,04	21,5
	2016	0,94±0,03	0,80...1,05	9,1
	2017	0,98±0,03	0,83...1,14	9,8

Во-вторых, более высокие температуры, сопровождавшие репродуктивный период вегетации пшеницы, спровоцировали закладку в зародыше семени дополнительных корешков. Семена, сформированные при среднесуточной температуре воздуха, на 2...4 градуса превышающей оптимальное значение, проросли значимо большим числом зародышевых корней (на 6,0...9,9% соответственно). Как следствие, проростки имели более мощную корневую систему, которая по весу на 16,6...26,4% превысила показатель 2015 г. Считается [17, 18], что при повышенных температурах воздуха усиливается передвижение из вегетативных органов в семена фосфора и витаминов группы В, стимулирующих впоследствии их прорастание. Хорошо сформированная корневая система и довольно мощный росток, развив-

шиеся из семян 2016 г. репродукции, статистически значимо увеличили вес проростка на 8,0...10,0% по сравнению с показателями двух других лет. При этом межсортная вариабельность признака «вес проростка» у генотипов пшеницы, вегетирующих в 2016 г., была незначительной ($V = 7,8\%$).

Отмечено, что вес сухого вещества корней достоверно коррелировал с температурой воздуха репродуктивного периода вегетации ($r = 0,997$). На массу ростков сильное влияние оказало количество осадков, выпавших в период налива и созревания зерна ($r = 0,998$).

Важное биологическое значение имеет процесс перераспределения ресурсов семени между надземной и подземной частями растения. Его оценивают из соотношения сухой

массы корней и ростков. Индекс root-shoot ratio (RSR) показывает интегрированный ответ растения на условия среды. Условия проращивания семян 2015...2017 гг. репродукции были одинаковыми – процесс проводили в лабораторных условиях (в термостате), однако индекс RSR имел разные значения (табл. 3). Наименьшее среднее по выборке значение индекса RSR отмечено у проростков 2015 г. репродукции. Обычно такое происходит при улучшении условий минерального питания, когда растению нет необходимости тратить много энергии на поиск необходимых элементов, и основная часть пластических веществ переносится в надземные органы. Распределение пластических веществ между корнями и ростками у проростков 2016, 2017 гг. репродукции происходило примерно поровну: значения индекса RSR имели близкие к единице значения. Усиление притока ассимилятов в корневую систему проростка, скорее всего, было связано

с тем, что формирование семян проходило при недостаточной влагообеспеченности материнских растений и семена, адаптированные к этим условиям, больше биомассы распределяли в сторону корневой системы.

Незначительная вариабельность индекса RSR у проростков, развившихся из семян 2016, 2017 гг. репродукции, указывает на схожую реакцию исследованных генотипов пшеницы на метеоусловия превегетации, что затрудняет их адекватную оценку. Значительная вариабельность корневого индекса (21,5%) у проростков, развившихся из семян 2015 г., позволила выявить специфическую реакцию сортов на метеоусловия. Так, у селекционной линии С-65 значительная часть ассимилятов зерновки была направлена на формирование ростка (RSR = 0,49). Это позволило растениям данного генотипа формировать в условиях 2016 г. максимальные значения элементов структуры продуктивности (табл. 4).

Таблица 4 – Характеристика элементов структуры продуктивности селекционных линий мягкой яровой пшеницы (2016 г.) /

Table 4 – Characteristic of productivity structure elements in breeding lines of soft spring wheat (2016)

<i>Элемент структуры продуктивности / The element of productivity structure</i>	<i>Среднее в опыте / Average in test</i>	<i>С-65</i>	<i>С-177</i>
Кустистость, шт. / Tilling capacity, pcs.	1,40	1,60	1,35
Продуктивная кустистость, шт. / Productive tilling capacity, pcs.	1,19	1,30*	1,15
Длина главного колоса, см / Length of the main ear, cm	7,97	8,80*	8,10
Масса главного колоса, г / Mass of the main ear, g	1,90	2,42*	1,68*
Число зерен главного колоса, шт. / Number of grains in the main ear, pcs.	35,31	42,25*	33,55*
Масса зерна главного колоса, г / Mass of grain in the main ear, g	1,47	1,93*	1,29*
Масса зерна с растения, г / Grain mass per plant, g	1,65	2,33*	1,41*
Масса 1000 зерен, г / 1000-grain mass, g	40,83	45,20*	37,50*

* – статистически значимо (при $p \leq 0,05$) / * – significant at $p \leq 0.05$

У линии С-177 пластические вещества семени во время прорастания поровну распределялись между надземной и подземной частями проростка (индекс RSR = 1,04). Анализ элементов структуры продуктивности растений этого генотипа показал, что большинство параметров были значимо ниже средних по опыту значений. Таким образом, генотипы пшеницы, прорастающие более мощными ростками, имеют более высокие значения элементов продуктивности растений. Это позволяет выделить их среди других селекционных образцов.

Выводы. Проведенные исследования показали, что метеоусловия превегетации существенно повлияли на урожайные качества

семян мягкой яровой пшеницы. Высокой всхожестью характеризовались семена, формирование и созревание которых длилось более 40 суток. За это время в зернах накопилось необходимое для развития последующего поколения растений количество питательных веществ. Сокращение репродуктивного периода пшеницы привело к снижению абсолютного веса зерновки, уменьшению в ней доли белка и, как следствие, снижению всхожести семян.

Метеоусловия, при которых проходило развитие материнских растений, а, в частности температурный режим в период формирования и созревания семян, существенно повлияли на параметры проростков. Развитие материнских растений в условиях повышенных сред-

несуточных температур предопределило способность семян равномерно распределять пластические вещества между надземной и подземной частями проростка, значимо увеличивая при этом число зародышевых корней. При оптимальной среднесуточной температуре

формировались семена, у которых значительная часть запасных веществ при прорастании расходовалась на развитие ростка. Сорта с более мощными ростками характеризовались высокими значениями элементов структуры продуктивности.

Список литературы

1. Алешенко П. И. Как повысить урожай и качество семян яровой пшеницы в засушливых условиях. Селекция и семеноводство. 1985;(4):48-49.
2. Киндрук Н. А., Сечняк Л. К., Слюсаренко О. К. Экологические основы семеноводства и прогнозирования урожайных качеств семян озимой пшеницы. Киев: Урожай, 1990. 181 с.
3. Захарова Н. Н. Урожайные свойства семян яровой мягкой пшеницы [Электронный ресурс]. Концепт: научно-методический электронный журнал. 2013;3:521-525. Режим доступа: <https://e-koncept.ru/2013/53106.htm> (дата обращения: 17.04.2019).
4. Медведев И. Ф., Сиренко Ф. В., Ефимова В. И., Деревягин С. С. Динамика развития корневой системы яровой пшеницы в условиях активного проявления засух и различной обеспеченности элементами питания растений. Достижения науки и техники АПК. 2013;(8):6-10. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20236854>
5. Сихова Л. Н., Егошина Т. Л. Тяжелые металлы в почвах и растениях Северо-Востока Европейской части России. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2004. 262 с.
6. Прокина Л. Н. Отзывчивость яровой пшеницы на внесение макро- и микроудобрений в условиях юга нечерноземной зоны. Достижения науки и техники АПК. 2011;(7):31-33. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16543408>
7. Nadew B. B. Effects of Climatic and Agronomic Factors on Yield and Quality of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Seed: A Review on Selected Factors. Advances in Crop Science and Technology. 2018;6(2):356. DOI: <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000356>
8. Бабицкий А. Ф. Режим влажности почвы при выращивании пшеницы модифицирует продуктивные качества ее семян. Культурные растения для устойчивого сельского хозяйства в XXI веке. 2011. Т. 4. Ч. 1. С. 373-380.
9. Кашулин П. А., Калачева И. В. Экологическое значение квазидвухлетних осцилляций в динамике наземных экосистем. Современная физиология растений: от молекул до экосистем: материалы докл. Междунар. конф. Ч. 3. Сыктывкар, 2007. С. 37-39.
10. Стефанова Н. А. Влияние материнского фенотипа на посевные качества семян яровой пшеницы. Доклады Российской академии с.-х. наук. 1998;(3):8-10.
11. Карпова Л. В. Посевные качества и урожайные свойства семян яровой твердой пшеницы. Аграрная наука. 2002;(3):13-15.
12. Гусакова Л. П., Лыкова Н. А. Определение оптимальных условий формирования семян в многофакторном эксперименте. Зерновое хозяйство. 2004;(4):14-16.
13. Лыкова Н. А., Попов А. И., Топаж А. Г., Хомяков Ю. В. Совершенствование методики сортоиспытания зерновых культур. В сб.: Регулируемая агроэкосистема в растениеводстве и экофизиологии: АФИ 75 лет. СПб., 2007. Ч. 4. С. 222-231.
14. Лыкова Н. А. Адаптивность злаков (*Poaceae*) в связи с условиями превегетации и вегетации. Сельскохозяйственная биология. 2008;43(1):48-54.
15. Пинчук Л. Г., Кондратенко Е. П., Коршиков Ю. А., Долгодворов В. Е. Продуктивность яровой пшеницы в условиях юго-востока Западной Сибири. Зерновое хозяйство. 2006;(5):13-17.
16. Бороевич С. Принципы и методы селекции растений. М.: Колос, 1984. 344 с.
17. Березкин А. Н., Малько А. М., Смирнова Л. А., Исламов М. Н., Горбачев И. В., Березкина Л. Л. Факторы и условия развития семеноводства в Российской Федерации. М.: РГАУ-МСХА, 2006. 302 с.
18. Захарова Н. Н., Захаров Н. Г. Посевные качества и полевая всхожесть семян яровой мягкой пшеницы. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2016;(4(36)):17-23. DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2016-4-17-23>

References

1. Aleshchenko P. I. *Kak povysit' urozhay i kachestvo semyan yarovoy pshenitsy v zasushlivykh usloviyakh*. [How to increase the yield and quality of spring wheat seeds in arid conditions]. *Selektsiya i semenovodstvo*. 1985;(4):48-49. (In Russ.).
2. Kindruk N. A., Sechnyak L. K., Slyusarenko O. K. *Ekologicheskie osnovy semenovodstva i prognozirovaniya urozhaynykh kachestv semyan ozimoy pshenitsy*. [Ecological basis of seed production and forecasting of yield qualities of winter wheat seeds]. Kiev: *Urozhay*, 1990. 181 p.
3. Zakharova N. N. *Urozhaynye svoystva semyan yarovoy myagkoy pshenitsy*. [Yielding properties of spring soft wheat seeds]. *Kontsept: nauchno-metodicheskii elektronnyy zhurnal*. 2013;3:521-525. (In Russ.). URL: <https://e-koncept.ru/2013/53106.htm> (accessed: 17.04.2019).

4. Medvedev I. F., Sirenko F. V., Efimova V. I., Derevyagin S. S. *Dinamika razvitiya kornevoy sistemy yarovoy pshenitsy v usloviyakh aktivnogo proyavleniya zasukh i razlichnoy obespechennosti elementami pitaniya rasteniy*. [Dynamics of development of spring wheat root system in highly drought conditions and by various supply of plants with nutrients]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2013;(8):6-10. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20236854>
5. Shikhova L. N., Egoshina T. L. *Tyazhelye metally v pochvakh i rasteniyakh Severo-Vostoka Evropeyskoy chasti Rossii*. [Heavy metals in soils and plants of the North-East of the European part of Russia]. Kirov: NIISKh Severo-Vostoka, 2004. 262 p.
6. Prokina L. N. *Otzyvchivost' yarovoy pshenitsy na vnesenie makro- i mikroudobreniy v usloviyakh yuga nechernozemnoy zony*. [Responsiveness of spring wheat to the application of macro- and micro fertilizers in the conditions of the south of the nonchernozem zone]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2011;(7):31-33. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16543408>
7. Nadew B. B. Effects of Climatic and Agronomic Factors on Yield and Quality of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Seed: A Review on Selected Factors. *Advances in Crop Science and Technology*. 2018;6(2):356. DOI: <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000356>
8. Babitskiy A. F. *Rezhim vlazhnosti pochvy pri vyrashchivanii pshenitsy modifitsiruet produktivnye kachestva ee semyan*. [The regime of soil moisture in wheat cultivation modifies the productive qualities of seeds]. *Kul'turnye rasteniya dlya ustoychivogo sel'skogo khozyaystva v XXI veke*. [Crops for sustainable agriculture in the twenty-first century]. 2011. T. 4. Ch. 1. pp. 373-380.
9. Kashulin P. A., Kalacheva I. V. *Ekologicheskoe znachenie kvazidvukhletnikh ostsillyatsiy v dinamike nazemnykh ekosistem*. [Ecological significance of quasi-biennial oscillations in the dynamics of terrestrial ecosystems]. *Sovremennaya fiziologiya rasteniy: ot molekul do ekosistem: materialy dokl. Mezhdunar. konf.* [Modern plant physiology: from molecules to ecosystems: Proceedings of the International Conference]. Ch. 3. Syktyvkar, 2007. pp. 37-39.
10. Stefanova N. A. *Vliyanie materinskogo fenotipa na posevnye kachestva semyan yarovoy pshenitsy*. [Influence of maternal phenotype on sowing qualities of spring wheat seeds]. *Doklady Rossiyskoy akademii s.-kh. nauk = Reports of the Russian Academy of agricultural sciences*. 1998;(3):8-10. (In Russ.).
11. Karpova L. V. *Posevnye kachestva i urozhaynye svoystva semyan yarovoy tverdoy pshenitsy*. [Sowing qualities and yielding properties of spring durum wheat seeds]. *Agrarnaya nauka = Agrarian science*. 2002;(3):13-15. (In Russ.).
12. Gusakova L. P., Lykova N. A. *Opredelenie optimal'nykh usloviy formirovaniya semyan v mnogofaktornom eksperimente*. [Determination of optimal conditions for seed formation in a multifactorial experiment]. *Zernovoe khozyaystvo*. 2004;(4):14-16. (In Russ.).
13. Lykova N. A., Popov A. I., Topazh A. G., Khomyakov Yu. V. *Sovershenstvovanie metodiki sortoispytaniya zernovykh kul'tur*. [Improving the methods of variety testing of grain crops]. *V sb.: Reguliruemaya agroekosistema v rastenievodstve i ekofiziologii: AFI 75 let*. [In the collection: Regulated agroecosystem in crop production and ecophysiology: API is 75 years]. Saint-Petersburg, 2007. Part. 4. pp. 222-231.
14. Lykova N. A. *Adaptivnost' zlakov (Poaceae) v svyazi s usloviyami prevegetatsii i vegetatsii*. [Adaptability of cereals (*Poaceae*) due to pre-vegetation and vegetation conditions]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2008;43(1):48-54. (In Russ.).
15. Pinchuk L. G., Kondratenko E. P., Korshikov Yu. A., Dolgodvorov V. E. *Produktivnost' yarovoy pshenitsy v usloviyakh yugo-vostoka Zapadnoy Sibiri*. [Productivity of spring wheat in the South-East of Western Siberia]. *Zernovoe khozyaystvo*. 2006;(5):13-17. (In Russ.).
16. Boroevich S. *Printsipy i metody selektsii rasteniy*. [Principles and methods of plant breeding]. Moscow: Kolos, 1984. 344 p.
17. Berezkin A. N., Mal'ko A. M., Smirnova L. A., Islamov M. N., Gorbachev I. V., Berezkina L. L. *Faktory i usloviya razvitiya semenovodstva v Rossiyskoy Federatsii*. [Factors and conditions of seed production development in the Russian Federation]. Moscow: RGAU-MSKhA, 2006. 302 p.
18. Zakharova N. N., Zakharov N. G. *Posevnye kachestva i polevaya vskhozhest' semyan yarovoy myagkoy pshenitsy*. [Sowing qualities and field germination of spring soft wheat seeds]. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy*. 2016;(4(36)):17-23. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2016-4-17-23>

Сведения об авторах:

✉ **Амунова Оксана Сергеевна**, кандидат биол. наук, научный сотрудник ФГБНУ "Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого", ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8560-840X>.

Information about the authors:

✉ **Oksana S. Amunova**, PhD in Biology, researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8560-840X>.

✉ - Для контактов / Corresponding author