

КОНЦЕНТРАЦИОННЫЕ ОТНОШЕНИЯ КРАХМАЛА И АМИЛАЗЫ В ЗЕРНЕ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТАХ ВЫРАЩИВАНИЯ

Н. П. Бакаева, О. Л. Салтыкова, Е. Х. Нечаева

Самарский государственный аграрный университет,
446442, пгт Усть-Кинельский, ул. Учебная, д. 2;
E-mail: bakaevanp@mail.ru; saltykova_o_l@mail.ru

Поступила в редакцию 26 ноября 2020 г., принята к печати 25 февраля 2021 г.

В работе представлены результаты исследований накопления крахмала и концентрационных отношений крахмала и фермента амилазы в зерне озимой пшеницы, возделываемой по различным предшественникам, а также при одно- и двукратном внесении азотных подкормок. Полевые исследования проводились на опытном поле лаборатории «Агроэкология» Самарского ГАУ (Самарская область). Опыт заложен на черноземе типичном среднегумусном среднемощном тяжелосуглинистом. Результаты исследований показали, что выращивание озимой пшеницы по чистому пару способствовало лучшей всхожести семян озимой пшеницы. При размещении пшеницы по чистому пару и двукратном применении азотных удобрений зафиксированы: наиболее высокие показатели структурности урожая (высота растений, число зерен в колосе и масса 1000 зерен), максимальная урожайность зерна (25,4 ц га⁻¹), наиболее высокое содержание крахмала (68,4%), наибольшие величины активности амилолитических ферментов зерна (224,26 и 199 мг крахмала г⁻¹ зерна мин⁻¹, соответственно), наиболее высокие показатели концентрационного содержания крахмала, ферментативной активности амилолитических ферментов, разрушающих крахмальные зерна и гидролизующих молекулы крахмала, α-амилаз, β-амилаз и их суммарной активности. Полученные коэффициенты корреляции между изученными показателями урожайности зерна (содержание крахмала, суммарная ферментативная активность, активность α-амилаз и β-амилаз в зерне озимой пшеницы) позволяют сделать вывод, что связь между ними была сильной, прямой и высокой или весьма высокой ($r = 0,82-0,99$), что свидетельствует о том, что при возрастании одной изученной величины другая также проявляет тенденцию к возрастанию по линейному закону.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., урожайность, крахмал, α-амилаза, β-амилаза, α+β-амилазы.

CONCENTRATION RATIOS OF STARCH AND AMYLASE IN WINTER WHEAT GRAIN UNDER VARIOUS CULTIVATION CONDITIONS

N. P. Bakaeva, O. L. Saltykova, E. Kh. Nechaeva

Samara State Agrarian University,
2, Uchebnaya St., Ust-Kinelskiy, 446442, Russia;
E-mail: bakaevanp@mail.ru; saltykova_o_l@mail.ru

The paper presents the results of studies of starch accumulation and concentration ratios of starch and amylase enzyme in grain of winter wheat cultivated after various predecessors, as well as with one- and two-fold application of nitrogen fertilizer. The studies were conducted on the experimental field of the Agroecology laboratory of the Samara State Agrarian University (Samara Region). The experiment was based on a typical medium-humus, medium-thick, heavy-clay chernozem. The research results have shown that growing winter wheat on a fallow field contributed to better germination of winter wheat seeds. Wheat growing on a fallow field with two-fold application of nitrogen fertilizer resulted in the following: the highest indicators of crop structure (plant height, number of grains per ear and weight of 1000 grains), the maximum grain yield (25.4 kg ha⁻¹), the highest starch content (68.4%), the highest values of the amylolytic enzyme activity of grain (224.26 and 199 mg starch g⁻¹ grain·min⁻¹, respectively), the highest indicators of starch concentration and enzymatic activity of amylolytic enzymes (that destroy starch grains and hydrolyze starch molecules), activity of α- amylases, β-amylases and their total activity. The obtained coefficients of correlation for the studied characteristics of grain (starch content, total enzymatic activity, activity of α-amylases and β-amylases in winter wheat grain) have shown that the relationships between the parameters were strong, direct and significant ($r = 0.82-0.99$), which indicates the fact that when one of the studied values increases, the others also tend to increase linearly.

Key words: *Triticum aestivum* L., yield, starch, α-amylase, β-amylase, α+β-amylases.

ВВЕДЕНИЕ

Крахмал является запасным веществом, определяющим питательную ценность зерна пшеницы. Он накапливается в мучнистой части эндосперма и представлен индивидуальными крахмальными зёрнами диаметром от 5 до 50 мкм. Крахмал служит энергетическим материалом для прорастания семян и всходов растений, а также источником энергии для человека (при употреблении в пищу продуктов переработки зерна) и животных (при использовании зернофуражных культур в качестве корма). По химической природе крахмал – полисахарид, полимерные цепи которого представлены растворимой в воде линейной амилозой (до 20%) и нерастворимым разветвленным амилопектином (до 80%) (James, 2003; Третьяков и др., 2005).

В зерне пшеницы содержится от 67 до 72% крахмала. Для реализации потенциальных возможностей растительного организма и его сортовых особенностей, заложенных в генотипе, важно подобрать оптимальные климатические условия для выращивания сельскохозяйственных культур (Нуркман и др., 2003; Третьяков и др., 2005; Копусь и др., 2009). В исследованиях аграрного направления применяются разные агротехнологические приемы и изучается влияние различных факторов (Бакаева и др., 2007, 2017). Определение влияния агротехнологических приемов, элементов и факторов на изменение химического состава растений и закономерностей синтеза и накопления запасных веществ в зерне позволяет выявить значимые внешние факторы и исходя из этого увеличить как продуктивность пшеницы, так и содержание в ее зерне белка и крахмала (Третьяков и др., 2005; Бакаева, Салтыкова, 2007; Кошелев, 2019; Бесалиев, 2020).

Ферментативный гидролиз крахмала осуществляется группой амилолитических ферментов, к которой относятся α - и β -амилазы, глюкоамилаза, изоамилаза и другие (Кабачный, Кортунова, 1988; James et al., 2003; Дей, 2010; Буторина и др., 2018).

Фермент α -амилаза (НФ 3.2.1.1), или α -1,4-глюкангидролаза, гидролизует α -1,4-глюкановые связи крахмала до образования низкомолекулярных декстринов и частично мальтозы. α -амилаза при воздействии на крахмальное зерно разрушает его поверхность: вначале образуются трещины и углубления, а затем зерно разделяется на отдельные части (Ленинджер, 1985; Grabb, 1997; Song, 2008; Давидянц, 2011; Бакаева, Коржавина, 2019).

Фермент β -амилаза (НФ 3.2.1.2), или α -1,4-глюканмальтогидролаза, гидролизует α -1,4-глюкановые связи крахмала, последовательно действуя на концы полимерных звеньев и отделяя остатки молекул мальтозы в виде β -мальтозы (Ленинджер, 1985; Grabb, 1997; Давидянц, 2011).

Цель проведенных исследований заключалась в изучении физиологических показателей роста и развития растений озимой пшеницы, накопления в зерне крахмала и проявления активности амилаз, а также концентрационных отношений крахмала и амилаз при различных вариантах выращивания.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на опытном поле Самарского ГАУ, расположенном в центральной зоне Самарской области (южная часть лесостепи Заволжья). Опыт заложен на черноземе типичном среднемощном тяжелосуглинистом с близкой к нейтральной реакцией среды и средним содержанием гумуса. Агротехника соответствовала традиционной системе обработки почвы (Салтыкова, Зудилин, 2020). Посевная площадь деланки составляла 780 м², повторность – трехкратная, размещение деланок – систематическое. Объектом исследований являлись посевы озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) районированного краснозерного сорта Малахит (разновидность эритроспермум, *erythrospermum*), отличающегося крупным зерном овально-удлиненной формы и соответствующего по качеству требованиям к ценной пшенице. Опыт двухфакторный. Озимая пшеница возделывалась по чистому и занятому пару, где в качестве сидерата использовался горох. Опыт проводился в следующих вариантах: 1) контрольный вариант – удобрения не вносились; 2) однократное внесение удобрений – прикорневая подкормка аммиачной селитрой в фазу весеннего кущения (N₃₀); 3) двукратное внесение удобрений – прикорневая подкормка аммиачной селитрой в фазу кущения и некорневая подкормка мочевиной под налив зерна (N₃₀+N₃₀).

В соответствии с методическими рекомендациями по госсортоиспытанию сельскохозяйственных культур проводились закладка опытных деланок, наблюдения и оценка по всем вариантам опыта, которая включала изучение фенологических фаз роста и развития растений, определение массы 1000 зерен и учет урожая путем сплошной уборки деланок комбайном. Определялись полевая всхожесть, густота стояния, высота растений на закрепленных площадках 1 м². С тех же площадок отбирались снопы для проведения структурного анализа количества сохранившихся к уборке растений, продуктивных стеблей и зёрен в колосе. Повторность опыта – трехкратная. Урожай приводился к 100% чистоте и 14% влажности.

Определение содержания крахмала.

Определение содержания крахмала проводилось по реакции крахмального комплекса с йодом в кислой среде колориметрическим методом (Починок, 1976). Оптическая плотность полученного синего раствора определялась при 610 нм, концентрация крахмала в растворе устанавливалась по калибровочному графику, который был получен в ходе специальных исследований. Вычисление результатов проводилось по формуле:

$$X = \frac{50 \cdot b \cdot C}{10000 \cdot b_1 \cdot H},$$

где X – содержание крахмала, %; b – общий объем исследуемого раствора, мл; b₁ – объем исследуемого раствора, взятый для осаждения крахмала йодом, мл; C – концентрация крахмала в колориметрируемом растворе, мкг мл⁻¹; 50 – объем окрашенного колориметрируемого раствора, мл; 10000 – коэффициент для перевода микрограммов крахмала в

граммы и проценты; n – навеска растительного материала, г.

Определение ферментативной активности.

Метод основан на извлечении амилаз из растений раствором хлористого натрия и определении количества негидролизованного крахмала колориметрическим способом (Плешков, 1985). Определение суммарной активности амилаз и активности α -амилазы проводилось по формуле:

$$A = \frac{E_k - E_0}{E_0} \cdot C,$$

где A – активность амилазы в 1 мг гидролизованного крахмала за 1 ч на 1 мл ферментного раствора (так как время инкубации составляло 30 мин, полученный результат умножался на 2, а количество взятого для анализа ферментного раствора приводилось к 1 мл); E_k – оптическая плотность контрольного раствора; E_0 – оптическая плотность опытного раствора; C – количество внесенного крахмала в мг (3 мл 2% раствора крахмала = 60 мг).

Для расчета удельной активности определялось содержание белка в ферментном растворе (в мг). Активность A выражалась в мг гидролизованного крахмала на 1 мг белка за 1 минуту. Активность β -амилазы определялась по разности между суммарной активностью амилаз и активностью α -амилазы.

Все наблюдения по фазам роста и развития, определения структуры урожая, учёт урожая и другие сопутствующие исследования проводились по методике Госкомиссии по сортоиспытанию (1971).

Отдельные свойства зерна определялись по методикам, изложенным в следующих ГОСТах: ГОСТ ISO 520-2014 Зерновые и бобовые. Определение массы 1000 зерен; ГОСТ 10987-76 Зерно. Статистическая обработка полученных данных осуществлялась методом дисперсионного анализа (Доспехов, 1985) с помощью пакета статистических программ Excel 7.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что крахмал является основным запасным углеводом зерновки озимой пшеницы. При возделывании данной культуры первостепенное внимание уделяется созданию условий, необходимых для накопления крахмала, от содержания которого в первую очередь будут зависеть качество зерна и возможность его использования в дальнейшем в

качестве посевного материала для получения высоких урожаев.

В проводимых исследованиях влияния условий выращивания на накопление крахмала определялись полевая всхожесть семян и сохранность растений (по возобновлению вегетации весной).

Так, результаты определения полевой всхожести семян озимой пшеницы за три года исследований показали, что в среднем более высокие значения получены при выращивании растений по чистому пару по сравнению с занятым (на 6–7%). Полевая всхожесть в зависимости от предшественников варьировалась по годам исследования от 74 до 92%. В пределах отдельного года исследований полевая всхожесть различалась незначительно, коэффициент вариации составил $V = 13$ –17%. В то же время в целом по годам установлена более сильная изменчивость ($V = 23$ %). Изучаемые предшественники оказали незначительное влияние на перезимовку растений пшеницы. Так, занятый пар оказался незначительно эффективнее незанятого: сохранность растений была выше на 3,3%. В пределах отдельного года сохранность растений по каждому из предшественников характеризовалась средними значениями, различия составляли $V = 16$ –19%. В целом по годам была выявлена более сильная изменчивость ($V = 21$ %). Колебания показателей являлись существенными, но допустимыми в рамках проводимых опытов.

При возобновлении вегетации весной в период от отрастания до фазы колошения рост растений пшеницы был весьма интенсивным, а в последующие фазы заметно снижался. Растения пшеницы, выращиваемые по занятому пару, отставали по высоте на 7–9 см по сравнению с размещенными по чистому пару (табл. 1). Азотные подкормки оказали положительное влияние на рост растений: к фазе полной спелости высота растений по чистому пару в среднем составила 82 см, а по занятому – 74 см. По сравнению с контрольным вариантом высота растений увеличилась на 5% по чистому пару и на 12% по занятому. Коэффициенты вариации высоты растений как в пределах одного года ($V = 17$ –19%), так и по трем годам ($V = 16$ %) показывают, что изменчивость значений является средней, что свидетельствует о ее допустимой однородности по данному показателю.

Таблица 1. Структура урожая озимой пшеницы (в среднем за годы изучения)

Предшественник	Удобрения	Фаза полной спелости					
		высота растений см	V , %	число зерен в колосе шт.	V , %	масса 1000 зерен г	V , %
Чистый пар	контроль	78±2	20	20,5±0,9	7	36,6±0,56	8
	N ₃₀	80±1	18	21,0±0,9	3	37,8±0,43	9
	N ₃₀ +N ₃₀	82±1	19	21,9±0,8	5	38,6±0,37	10
	среднее	89	–	20,9	–	37,7	–
V , %	–	–	19	–	7	–	9
Занятый пар	контроль	66±6	14	19,7±1,1	4	36,7±0,64	7
	N ₃₀	69±4	18	19,9±1,1	4	37,3±0,53	7
	N ₃₀ +N ₃₀	74±3	17	20,3±1,0	8	38,1±0,62	10
	среднее	70	–	20,0	–	37,4	–
V , %	–	–	16	–	6	–	9

Число зерен в колосе и масса 1000 зерен – это показатели, определяющие урожайность зерна. За период исследований существенных различий в зависимости от предшественника не выявлено. Применение азотных удобрений оказало более значительное влияние на данные показатели: они увеличились на 3–7% по сравнению с контролем. Незначительные изменения показателей подтверждаются коэффициентами вариации, величина которых не превышала 10%.

Показатели структуры урожая, такие как полевая всхожесть семян, сохранность растений, число зерен в колосе, масса 1000 зерен и другие, определяют величину урожая зерна. Данные об урожайности зерна

озимой пшеницы в зависимости от предшественников и применения азотных удобрений представлены в табл. 2. Наибольшее количество зерна было получено при выращивании растений по чистому пару и двукратном применении удобрений. Однократное внесение азота обеспечило несколько большую прибавку урожая зерна по сравнению с двукратным (от 11,5% до 13,3%) в вариантах как с чистым, так и занятым паром. Коэффициенты вариации показателей урожайности как по каждому году исследований, так и по годам в целом имели значения от 15 до 25%. Это означает, что разброс величин является средним и значительным, но допустимым в рамках проводимых опытов.

Таблица 2. Влияние предшественников и азотных удобрений на урожайность и содержание крахмала в зерне озимой пшеницы (в среднем за годы изучения)

Предшественник (фактор А)	Удобрения (фактор В)	Урожайность		Крахмал	
		ц га ⁻¹	V, %	%	V, %
Чистый пар	контроль	23,7	31	64,0±1,1	21
	N ₃₀	25,5	28	66,3±1,2	25
	N ₃₀ +N ₃₀	25,9	24	68,4±1,3	24
В среднем по чистому пару		25,0	–	66,2	–
V, %		–	28	–	23
Занятый пар	контроль	14,8	30	62,5±1,2	26
	N ₃₀	17,1	28	65,1±1,2	21
	N ₃₀ +N ₃₀	18,6	28	67,9±1,1	21
В среднем по занятому пару		16,8	–	65,1	–
V, %		–	29	–	23
НСР ₀₅ общая		0,95 ц га ⁻¹			
НСР ₀₅ фактора А		0,15 ц га ⁻¹			
НСР ₀₅ фактора В		0,26 ц га ⁻¹	–		

Качество зерна можно определить по углеводной составляющей – крахмалу. Известно, что чем больше величина урожая, тем более высоким будет содержание крахмала в зерне. В рамках проводимых исследований была установлена аналогичная зависимость. В варианте с размещением пшеницы по чистому пару отмечено более высокое содержание крахмала по сравнению с занятым (на 2%). Азотная прикорневая подкормка способствовала увеличению содержания крахмала до 4%, а азотные

подкормки в фазу кущения и под налив зерна — до 7% по сравнению с контролем в вариантах как с чистым, так и занятым паром. Коэффициенты вариации содержания крахмала в зерне составили 21–26% — значения выше средних, что характерно для биохимических показателей качества зерна.

Для определения концентрационных отношений крахмала и гидролизующих его ферментов была рассчитана суммарная активность амилаз, α-амилаз и β-амилаз (табл. 3).

Таблица 3. Активность амилазических ферментов (мг крахмала/г зерна·мин).

Предшественник	Удобрения	Суммарная активность амилаз	α-амилаза	β-амилаза
Чистый пар	контроль	189,7±1,30	22,18±0,61	167,5±1,20
	N ₃₀	211,9±1,25	25,16±0,55	186,7±1,20
	N ₃₀ +N ₃₀	224,5±1,29	25,95±0,68	198,5±1,28
В среднем по чистому пару		208,7	24,4	184,3
Занятый пар	контроль	181,5±1,25	21,54±0,56	159,9±1,22
	N ₃₀	203,2±1,28	23,26±0,55	179,9±1,24
	N ₃₀ +N ₃₀	208,9±1,28	23,89±0,61	185,1±1,25
В среднем по занятому пару		197,9	22,9	175,0

При размещении пшеницы по чистому пару выявлена более высокая суммарная активность амилаз, α-амилаз и β-амилаз в зерне озимой пшеницы по сравнению с занятым (на 5–6%). Азотная прикорневая

подкормка способствовала увеличению суммарной активности амилаз, α-амилаз и β-амилаз до 3–6%, а азотные подкормки в фазу кущения и под налив зерна

– до 13–18% по сравнению с контролем в вариантах как с чистым, так и занятым паром.

На рис. представлены изменения показателей содержания крахмала и ферментативной активности амилаз в зерне озимой пшеницы в зависимости от предшественников (чистый и занятый пар) и различных доз азотных удобрений. Из рисунка видно, что на содержание крахмала оказали влияние как предшественники, так и азотные удобрения. Абсолютные значения содержания крахмала были выше при размещении растений пшеницы по чистому пару по сравнению с занятым и при двукратном внесении азота в почву. Крахмал является запасным веществом зерна, и при намокании семени активируются присутствующие в зерне ферменты, в результате чего происходит его гидролиз. α -амилаза, разрушая зерно крахмала, обнажает отдельные полимерные цепи и предоставляет β -амилазе возможность для проведения реакции. Общий

характер гидролиза крахмальных зерен проявляется в суммарной активности амилаз. По представленным на рисунке показателям активности α -амилаз, β -амилаз и их суммарной активности четко прослеживаются изменения концентрационного содержания крахмала в зерне пшеницы и принимающих участие в его гидролизе ферментов. Так, произошло увеличение содержания крахмала на 1,7% в варианте с чистым паром по сравнению с занятым, а также до 7% при однократном и до 8% при двукратном внесении азотных удобрений по сравнению с контрольным вариантом. Аналогичные изменения характерны для показателей активности α -амилаз, β -амилаз и их суммарной активности: произошло их увеличение на 6% в варианте с чистым паром по сравнению с занятым, а также до 12% при однократном и до 18% при двукратном применении азотных удобрений по сравнению с контролем.

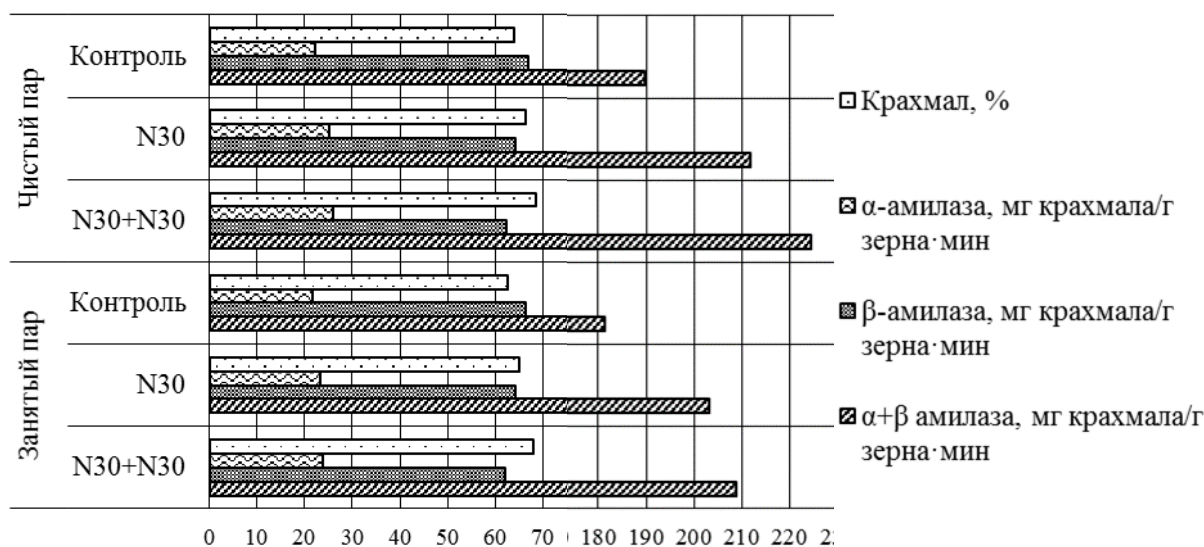


Рис. Содержание крахмала (%) и показатели активности амилолитических ферментов (мг крахмала г⁻¹ зерна·мин⁻¹)

Таким образом, изменения концентрационного содержания крахмала в зерне пшеницы, а также показателей активности ферментов, разрушающих крахмальные зерна и гидролизующих молекулы крахмала, α -амилаз, β -амилаз и их суммарной активности имеют общий характер.

Для определения тесноты взаимосвязи между исследуемыми показателями были рассчитаны коэффициенты корреляции, степень зависимости и уравнения регрессии (табл. 4).

Таблица 4. Коэффициенты корреляции, степень зависимости и уравнения регрессии

Признаки	Коэфф. корреляции	Степень зависимости	Уравнение регрессии
Урожайность-крахмал	$r = 0,96$	сильная, прямая	$y = 2,21x + 19,56$
Крахмал- α -амилаза	$r = 0,99$	сильная, прямая	$y = 0,96x + 42,91$
Крахмал- β -амилаза	$r = 0,82$	сильная, прямая	$y = 5,56x + (-292,3)$
Крахмал- $\alpha+\beta$ -амилазы	$r = 0,97$	сильная, прямая	$y = 2,4x + (-422,14)$

Представленные в табл. 4 коэффициенты корреляции свидетельствуют о том, что связь между урожайностью и содержанием крахмала является сильной и прямой (коэффициент корреляции $r = 0,96$). Коэффициент корреляции характеризует степень тесноты только линейной связи, когда при возрастании

одной случайной величины другая проявляет тенденцию к возрастанию (или убыванию) по линейному закону. Данная тенденция к линейной зависимости может быть более или менее ярко выраженной, т.е. зависимость может более или менее приближаться к функциональной. В общем случае,

когда величины x и y связаны произвольной вероятностной зависимостью, линейный коэффициент корреляции принимает значение в пределах $-1 < r_{xy} < 1$, тогда качественная оценка тесноты связи величин x и y может быть проведена на основе шкалы Чеддока. Теснота прямой связи имеет следующие градации: слабая (0,1–0,3), умеренная (0,3–0,5), заметная (0,5–0,7), высокая (0,7–0,9), весьма высокая (0,9–0,99). Согласно полученным результатам, зависимость между урожайностью и содержанием крахмала была весьма высокой ($r = 0,96$). Зависимость между содержанием крахмала и суммарной ферментативной активностью, а также между содержанием крахмала и α -амилазной активностью была сильной, прямой, весьма высокой и практически одинаковой (на уровне $r = 0,97–0,99$). Зависимость между содержанием крахмала и β -амилазной активностью была сильной, прямой и высокой ($r = 0,82$).

Таким образом, зависимость между содержанием крахмала и суммарной ферментативной активностью, а также активностью α -амилаз и β -амилаз в зерне озимой пшеницы была сильной, прямой и высокой или весьма высокой ($r = 0,82–0,99$). Это свидетельствует о том, что при возрастании одной изученной величины другая проявляет тенденцию к возрастанию по линейному закону.

ВЫВОДЫ

Результаты проведенных исследований показали, что выращивание озимой пшеницы по чистому пару способствовало лучшей всхожести семян озимой пшеницы, а по занятому — лучшей сохранности растений к весне. Показатели структурности урожая (высота растений, число зерен

в колосе и масса 1000 зерен) имели наиболее высокие значения при размещении пшеницы по чистому пару по сравнению с занятым и при двукратном применении азотных удобрений по сравнению с однократным и контрольным вариантом. Максимальная урожайность зерна (25,4 ц га⁻¹) и наиболее высокое содержание крахмала (68,4%) зафиксированы в варианте с размещением растений по чистому пару и двукратным применением удобрений. Данный вариант агротехнологии возделывания озимой пшеницы в условиях Среднего Поволжья оказался наиболее оптимальным за период исследования. Показатели суммарной ферментативной активности, а также активности α -амилаз и β -амилаз в зерне озимой пшеницы были наиболее высокими при размещении посевов пшеницы по чистому пару и двукратном применении азотных удобрений (224, 26 и 199 мг крахмала г⁻¹ зерна мин⁻¹ соответственно).

Изменения показателей содержания крахмала, активности амилолитических ферментов, разрушающих крахмальные зерна и гидролизующих молекулы крахмала, α -амилаз, β -амилаз и их суммарной активности имели общий характер в вариантах с размещением культуры по разным предшественникам (чистому и занятому пару) и применением различных доз азотных удобрений.

Полученные коэффициенты корреляции показывают, что зависимость между содержанием крахмала и суммарной ферментативной активностью, а также активностью α -амилаз и β -амилаз в зерне озимой пшеницы была сильной, прямой и высокой или весьма высокой ($r = 0,82–0,99$), что свидетельствует о том, что при возрастании одной изученной величины другая проявляет тенденцию к возрастанию по линейному закону.

Список литературы

- Бакаева Н.П., Коржавина Н.Ю. Влияние ранневесенней подкормки озимой пшеницы различными видами азотных удобрений на использование азота минеральных удобрений, урожайность и углеводно-амилазный комплекс зерна // *Агрохимия*. 2019. № 9. С. 47–52.
- Бакаева Н.П., Салтыкова О.Л., Коржавина Н.Ю. Состояние углеводно-амилазного комплекса зерна озимой пшеницы разных сортов в зависимости от обработки микроудобрениями ЖУСС в сочетании с азотными удобрениями // *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2017. № 1. С. 30–34.
- Бакаева Н.П., Салтыкова О.Л. Влияние предшественников, способов основной обработки почвы и удобрений на урожайность и биохимические показатели качества зерна озимой и яровой пшеницы в условиях лесостепи Среднего Поволжья // *Успехи современного естествознания*. 2007. № 12. С. 5–10.
- Бесалиев И.Н., Панфилов А.Л., Тимошенкова Т.А., Абдрашитов Р.Р. Влияние фонов возделывания на показатели качества зерна сортов яровой пшеницы в Оренбургском Приуралье // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020. № 5(85). С. 22–27.
- Буторина Н.В., Подшивалова А.К., Сидорова Н.С. Изучение активности α - и β -амилаз в злаковых культурах // *Актуальные вопросы аграрной науки*. 2018. № 6. С. 5–12.
- Давидянц Э.С. Влияние тритерпеновых гликозидов на активность α - и β -амилаз и содержание суммарного белка в проростках пшеницы // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2011. Т. 47. № 5. С. 530–536.
- Дэй Ж. Активность ферментов, участвующих в синтезе крахмала, в семенах сортов пшеницы, различающихся по содержанию крахмала // *Физиология растений*. 2010. Т. 57. № 1. С. 81–85.
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
- Кабачный П.И., Кортунова Т.В. Ферменты амилолитического комплекса в прорастающих семенах пшеницы // *Химия природных соединений*. 1988. № 5. С. 749–750.

- Копусь М.М., Игнатъева Н.Г., Васюшкина Н.Е., Кравченко Н.С., Копусь Е.М. Генетический полиморфизм амилолитических ферментов зерна пшеницы и генетика ферментов биосинтеза крахмала // *Зерновое хозяйство России*. 2009. № 4. С. 22–26.
- Кошеляев В.В., Сальников В.И., Кошеляева И.П. Содержание белка в зерне сортов озимой пшеницы при различных уровнях минерального питания // *Нива Поволжья*. 2019. № 4(53). С. 23–28.
- Ленинджер А. Основы биохимии. М.: Мир, 1985. 367 с.
- Плешков Б.П. Практикум по биохимии растений. М.: Агропромиздат, 1985. 255 с.
- Починок Х.Н. Методы биохимического исследования растений. Киев, 1976. 297 с.
- Салтыкова О.Л., Зудилин С.Н. Возделывание озимой пшеницы для получения зерна высокой белковости в условиях Среднего Поволжья // *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020. № 1. С. 3–9.
- Третьяков Н.Н., Кошкин Е.И., Макрушин Н.М. и др. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений. М.: Колос С, 2005. 656 с.
- Grabb W. D., Mitchinson C. Enzymes involved in the processing of starch to sugars // *Trends Biotechnology*, 1997, v. 15, pp. 349–352.
- Hurkman W. J., McCue K. F., Altenbach S. B., Korn A., Tanaka C. K., Kothari K. M. Effect of Temperature on Expression of Genes Encoding Enzymes for Starch Biosynthesis in Developing Wheat Endosperm // *Plant Science*, 2003, v. 164, pp. 873–881.
- James M., Denyer K., Myers A. Starch synthesis in the cereal endosperm. // *Current Opinion in Plant Biology*, 2003, v. 6, pp. 215–222.
- Song J. M., Liu A. F., Li H. S., Dai S., Liu J. J., Zhao Z. D., Liu G. T. Relationship between Starch Physicochemical Properties of Wheat Grain and Noodle Quality // *Sci. Agric. Sinica*, 2008, v. 41, pp. 272–279.

References

- Bakayeva N.P., Korzhavina N.Yu. Vliyaniye rannevesenney podkormki ozimoy pshenitsy razlichnymi vidami azotnykh udobreniy na ispol'zovaniye azota mineral'nykh udobreniy, urozhaynost' i uglevodno-amilaznyy kompleks zerna [The effect of early spring fertilization of winter wheat with various types of nitrogen fertilizers on the use of nitrogen fertilizers, yield and carbohydrate-amylase complex of grain] // *Agrokimiya*, 2019, no. 9, pp. 47–52.
- Bakayeva N.P., Saltykova O.L., Korzhavina N.Yu. Sostoyaniye uglevodno-amilaznogo kompleksa zerna ozimoy pshenitsy raznykh sortov v zavisimosti ot obrabotki mikroudobreniyami ZhUSS v sochetanii s azotnymi udobreniyami [The state of the carbohydrate-amylase complex of winter wheat grain of different varieties depending on the treatment with microfertilizers ZhUSS in combination with nitrogen fertilizers] // *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*, 2017, no. 1, pp. 30–34.
- Bakayeva N.P., Saltykova O.L. Vliyaniye predshestvennikov, sposobov osnovnoy obrabotki pochvy i udobreniy na urozhaynost' i biokhimicheskiye pokazateli kachestva zerna ozimoy i yarovoy pshenitsy v usloviyakh lesostepi Srednego Povolzh'ya [The influence of predecessors, methods of basic tillage and fertilizers on the yield and biochemical indicators of grain quality of winter and spring wheat in the conditions of the forest-steppe of the Middle Volga region] // *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya*, 2007, no. 12, pp. 5–10.
- Besaliyev I.N., Panfilov A.L., Timoshenkova T.A., Abdrashitov R.R. Vliyaniye fonov vozdeleyvaniya na pokazateli kachestva zerna sortov yarovoy pshenitsy v Orenburgskom Priural'ye [Influence of cultivation backgrounds on indicators of grain quality of spring wheat varieties in the Orenburg Urals] // *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2020, no. 5(85), pp. 22–27.
- Butorina N.V., Podshivalova A.K., Sidorova N.S. Izucheniye aktivnosti α - i β -amilaz v zlakovykh kulturakh [Study of the activity of α - and β -amylases in cereals] // *Aktual'nyye voprosy agrarnoy nauki*, 2018, no. 26, pp. 5–12.
- Davidyants E.S. Vliyaniye triterpenovykh glikozidov na aktivnost' α - i β -amilaz i sodержaniye summarnogo belka v prorostkakh pshenitsy [Effect of triterpene glycosides on the activity of α - and β -amylases and total protein content in wheat seedlings] // *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 2011, vol. 47, no. 5, pp. 530–536.
- Dey Zh. Aktivnost' fermentov, uchastvuyuschikh v sinteze krakhmala, v semenakh sortov pshenitsy, razlichayuschikhsya po sodержaniyu krakhmala [The activity of enzymes involved in the synthesis of starch in the seeds of wheat varieties that differ in starch content] // *Fiziologiya rasteniy*, 2010, v. 57, no. 1, pp. 81–85.
- Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta* [Methodology of field experience]. Moscow: Agropromizdat, 1985, 351 p.
- Egorova E.V. *Otzyvchivost' sortov ozimoy pshenitsy na raznyye urovni vnoseniya azota v usloviyakh Tsentralnogo Nechernozem'ya*. Avtoref. diss. kand. s.-kh. nauk [Responsiveness of winter wheat varieties to different levels of nitrogen nutrition in the Central non-Chernozem region. Cand. of agric. sci. abst. diss.]. NIISKH CRNZ, Nemchinovka, 2002.
- Kabachnyy P.I., Kortunova T.V. Fermenty amiloliticheskogo kompleksa v prorostayuschikh semenakh pshenitsy [Amylolytic complex enzymes in sprouting wheat seeds] // *Khimiya prirodnykh soyedineniy*, 1988, no. 5, pp. 749–750.
- Kodanov I.M. *Agrotekhnika i kachestvo zerna* [Agrotechnics and grain quality]. Moscow: Kolos, 1972, 232 p.
- Kodanov I.M. *Povysheniye kachestva zerna* [Improving grain quality]. Moscow: Kolos, 1976, 304 p.
- Kopus M.M., Ignat'yeva N.G., Vasyushkina N.E., Kravchenko N.S., Kopus E.M. Geneticheskiy polimorfizm amiloliticheskikh fermentov zerna pshenitsy i genetika fermentov biosinteza krakhmala [Genetic polymorphism of amylolytic enzymes of wheat grain and genetics of starch biosynthesis enzymes] // *Zernovoye khozyaystvo Rossii*, 2009, no. 4, pp. 22–26.

- Kochetov G.A. *Prakticheskoye rukovodstvo po enzimologii* [Practical guide to enzymology]. Moscow: Higher school, 1971, 270 p.
- Koshelyayev V.V., Sal'nikov V.I., Koshelyayeva I.P. Soderzhaniye belka v zerne sortov ozimoy pshenitsy pri razlichnykh urovnyakh mineral'nogo pitaniya [The protein content in the grain of winter wheat varieties at different levels of mineral nutrition] // *Niva Povolzh'ya*, 2019, no. 4(53), pp. 23–28.
- Lenindzher A. *Osnovy biokhimii* [Fundamentals of biochemistry]. Moscow: Mir, 1985, 367 p.
- Pleshkov B.P. *Praktikum po biokhimii rasteniy* [Practicum on plant biochemistry]. Moscow: Agropromizdat, 1985, 255 p.
- Pochinok H.N. *Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy* [Methods of biochemical research of plants]. Kiev, 1976, 297 p.
- Saltykova O.L., Zudilin S.N. Vozdelyvaniye ozimoy pshenitsy dlya polucheniya zerna vysokoy belkovosti v usloviyakh Srednego Povolzh'ya [Cultivation of winter wheat for high protein content in grain in the Middle Volga region] // *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*, 2020, no. 1, pp. 3–9.
- Tret'yakov N.N., Koshkin E.I., Makrushin N.M., etc. *Fiziologiya i biokhimiya sel'skokhozyaystvennykh rasteniy* [Physiology and biochemistry of agricultural plants]. Moscow: KolosS, 2005, 656 p.
- Grabb W. D., Mitchinson C. Enzymes involved in the processing of starch to sugars // *Trends Biotechnology*, 1997, v. 15, pp. 349–352.
- Hurkman W. J., McCue K. F., Altenbach S. B., Korn A., Tanaka C. K., Kothari K. M. Effect of Temperature on Expression of Genes Encoding Enzymes for Starch Biosynthesis in Developing Wheat Endosperm // *Plant Science*, 2003, v. 164, pp. 873–881.
- James M., Denyer K., Myers A. Starch synthesis in the cereal endosperm. // *Current Opinion in Plant Biology*, 2003, v. 6, pp. 215–222.
- Song J. M., Liu A. F., Li H. S., Dai S., Liu J. J., Zhao Z. D., Liu G. T. Relationship between Starch Physicochemical Properties of Wheat Grain and Noodle Quality // *Sci. Agric. Sinica*, 2008, v. 41, pp. 272–279.

УДК 633.1 633.16

DOI: 10.25695/AGRPH.2021.01.05

ИЗМЕНЕНИЕ ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ ЯРОВЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ

О. А. Юсова, П. Н. Николаев, Ю. Ю. Паршуткин, В. С. Юсов

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Омский аграрный научный центр»,
644012, г. Омск, пр. Королева, д. 26*

E-mail: ksanajusva@rambler.ru; nikolaevpetr@mail.ru; parshutkin.yuriy@mail.ru; vs_ysov@rambler.ru

Поступила в редакцию 28 октября 2020 г., принята к печати 25 февраля 2021 г.

Яровой ячмень является второй по значимости и распространению (после пшеницы) зерновой культурой в России. Зерно ячменя повсеместно широко используется для кормовых (более 75%), продовольственных (15%) и пивоваренных (8%) целей. Твердая пшеница в настоящее время считается незаменимым сырьем в продовольственной промышленности. Особой популярностью пользуются такие крупы, как кус-кус и булгур, которые изготавливаются из зерна данной культуры. В статье представлены результаты анализа формирования урожайности и качества зерна яровой твёрдой пшеницы и ярового ячменя в условиях южной лесостепи Западной Сибири. Объектами исследований являлись сорта яровой твёрдой пшеницы (Жемчужина Сибири и Омский корунд) и ярового ячменя (Омский 90 и Беатрис). Посев проведен 7, 14, 21, 28 мая и 4 июня. Биохимическая оценка качественных показателей зерна включала определение содержания в зерне сырой клейковины, белка, крахмала, сырого жира, стекловидности, натуре. При посеве яровой твёрдой пшеницы по пару 7 мая отмечены повышенные показатели массы 1000 зерен, стекловидности, содержания клейковины, белка и цвета сухих макарон; при посеве по зерновым с 14 по 28 мая – урожайности, натуре зерна и цвета сухих макарон. При посеве ярового ячменя 14 мая наблюдалось увеличение урожайности и содержания белка; при посеве 4 июня – содержания белка и масличности зерна. Посев по пару способствовал повышению урожайности и качества зерна как сортов яровой твёрдой пшеницы, так и сортов ярового ячменя.

Ключевые слова: твёрдая пшеница, ячмень, срок посева, урожайность, качество.

**CHANGE OF ECONOMICALLY VALUABLE CHARACTERISTICS OF SPRING GRAIN CROPS
DEPENDING ON CULTIVATION CONDITIONS**

O. A. Yusova, P. N. Nikolaev, Yu. Yu. Parshutkin, V. S. Yusov

Omsk Agrarian Scientific Center

26, Koroleva pr., Omsk, Russia, 644012

E-mail: ksanajusva@rambler.ru; nikolaevpetr@mail.ru; parshutkin.yuriy@mail.ru; vs_ysov@rambler.ru

Spring barley is the second (after wheat) most important and widespread grain crop in Russia. Barley grain is widely used everywhere for feed (over 75%), food (15%) and brewing (8%) purposes. Durum wheat is currently considered as an indispensable raw material in the food industry. Especially popular are such cereals as couscous and bulgur, which are made of this crop grain. The paper presents the results of the analysis of yield formation and grain quality of spring durum wheat and spring barley in the conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia. The objects of the study were varieties of spring durum wheat (Zhemchuzhina Sibiri and Omskiy korund) and spring barley (Omskiy 90 and Beatris). Sowing was conducted on May 7, 14, 21, 28 and June 4. Biochemical assessment of the grain quality indicators included