

УДК 633.14:631.82

## ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТАЮЩИХ УРОВНЕЙ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ НА КАЧЕСТВО РАЗЛИЧНЫХ ФРАКЦИЙ ЗЕРНА ОЗИМОЙ РЖИ

© 2023 г. А. В. Пасынков<sup>1</sup>, Е. Н. Пасынкова<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства “Белогорка” – филиал Федерального исследовательского центра картофеля им. А.Г. Лорха  
188338 п. Белогорка, Гатчинский р-н, Ленинградская обл., Россия

\*E-mail: pasynkova.elena@gmail.com

Поступила в редакцию 01.10.2022 г.

После доработки 11.11.2022 г.

Принята к публикации 15.12.2022 г.

Представлены экспериментальные данные изменения основных показателей качества различных фракций зерна озимой ржи, выращенного на фоне возрастающих уровней минерального питания. Исследования показали отсутствие каких-либо статистически значимых зависимостей массы 1000 зерен определенной (конкретной) фракции зерна озимой ржи от уровня минерального питания. При этом зависимость массы 1000 зерен от толщины зерновки максимально точно (по величине  $R^2$ ) описывалась уравнением 2-го порядка. В отличие от массы 1000 зерен содержание белка и пентозанов, а также величина показателя “число падения” существенно зависели как от уровня минерального питания, так и от толщины зерновки. При этом максимально точно зависимости содержания белка и пентозанов от уровня минерального питания и толщины зерновки отражают уравнения 2-го, а показателя числа падения – 3-го порядка.

*Ключевые слова:* озимая рожь, уровень минерального питания, фракционирование, решетка, масса 1000 зерен, белок, число падения, пентозаны.

DOI: 10.31857/S0002188123030109, EDN: KOCLMK

### ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с государственным стандартом (ГОСТ Р 53049-2008. Рожь. Технические условия) наиболее важными показателями технологических качеств зерна озимой ржи служат “число падения” и натура. Хотя содержание белка и пентозанов, а также масса 1000 зерен не регламентируются ГОСТом Р 53049-2008, определяющим пригодность зерна озимой ржи для хлебопечения, данные показатели в большинстве случаев статистически значимо связаны с “числом падения” [1–7].

Одним из способов регулирования (повышения или снижения) показателей технологических качеств зерна озимой ржи может служить его фракционирование на стандартных решетках с продолговатыми отверстиями [8, 9].

Необходимо отметить, что выполненные ранее исследования [8–13] по выявлению эффективности фракционирования зерна озимой ржи для целей семеноводства и продовольственного использования проводились на одном уровне минерального питания. Не претендуя на полноту изложения данных, имеющих в научной литера-

туре по данному вопросу, было сделано предположение, что вопросы изменения урожайности и технологических качеств зерна озимой ржи при разделении его на фракции остаются малоизученными. Особенно для выяснения интервала варьирования технологических качеств и их изменений, происходящих под действием различных уровней минерального питания и изменяющихся гидротермических условий в период вегетации. Выяснение зависимостей урожайности и технологических качеств зерна озимой ржи от относительной доли фракций и уровня минерального питания позволит оптимизировать дозы минеральных удобрений и азотных подкормок в период вегетации [14].

Исследования по изучению изменения фракционного состава зерна озимой ржи, выращенного на фоне возрастающих уровней минерального питания, показали, что в контрастные по увлажнению годы изменение урожайности зерна происходило за счет перераспределения относительной доли фракций (%). При этом относительная доля фракций в урожае зерна озимой ржи в текущем (конкретном) году не зависела от уровня минерального питания. С увеличением толщины

зерновки от ее минимальных величин относительная доля фракции в урожае зерна возрастала, однако каждое последующее возрастание толщины зерновки замедляло темпы ее роста и, достигнув точки экстремума, она начинала снижаться. Урожайность (ц/га) всех фракций увеличивалась одновременно с возрастанием уровня минерального питания и толщины зерновки, однако темпы роста урожайности каждой фракции существенно различались в зависимости от размера зерновки. При этом минимальные прибавки урожая зерна по сравнению с предыдущей дозой минеральных удобрений отмечены у самой мелкой и самой крупной фракций, максимальные – у средней фракции зерна 2.2–2.4 мм [14].

Следующий этап исследований – изучение изменений качества различных фракций зерна озимой ржи, выращенного на фоне возрастающих уровней минерального питания. В результате проведения исследований появляется реальная возможность сознательно управлять в желаемом направлении величиной основных показателей качества зерна не только в период вегетации, регулируя уровень минерального питания применением удобрений и азотных подкормок, но и в послеуборочный период, т.к. известно, что различные фракции зерна озимой ржи существенно различаются по биохимическому составу и технологическим качествам [8, 9, 12, 13].

Цель работы – выявить изменения технологических качеств различных фракций зерна короткостебельного сорта озимой ржи, выращенного на фоне возрастающих уровней минерального питания.

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование по разделению зерна озимой ржи на фракции проведено с допущенным к использованию короткостебельным сортом Фаленская 4 (совместной селекции Зонального НИИСХ Северо-Востока и Фаленской государственной селекционной станции). Зерно озимой ржи было получено в лаборатории агрохимии Зонального НИИСХ Северо-Востока при проведении полевого опыта [15] на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве и внесении возрастающих доз минеральных удобрений. При фракционировании были использованы образцы зерна озимой ржи, полученные в 6-ти основных вариантах: без удобрений, (NPK)30, (NPK)60, (NPK)90, (NPK)120 и (NPK)150. При проведении полевого опыта фосфорно-калийные ( $P_{сд}$  и  $K_{кк}$ ) во всех вариантах и азотные удобрения ( $N_{аа}$ ) в дозах N30 и N60 вносили до посева, а в вариантах с внесением доз азота N90, N120 и N150 – дробно, в 2 срока: N90 (N60 до посева + N30 весной) и

N120 (N60 до посева + N60 весной) или в 3 срока: N150 (N60 до посева + N60 весной + N30 трубкавание). Более детально условия и методика проведения опыта, откуда отбирали образцы зерна озимой ржи для фракционирования и основные работы по разделению его на фракции, а также некоторые результаты по изменению фракционного состава зерна озимой ржи, выращенного на фоне возрастающих уровней минерального питания, опубликованы ранее в работах [14, 15].

Гидротермические условия в период посев–окончание осенней и в период возобновление весенней вегетации–трубкавание существенно не различались и характеризовались избыточным увлажнением (ГТК по Г.Т. Селянину 1.56–1.84 и 1.52–1.78 соответственно). Гидротермические условия, сложившиеся в период трубкавание–цветение, наоборот, существенно различались. В первый год этот период характеризовался избытком влаги (ГТК = 2.12), во второй – недостатком (ГТК = 1.01), а в третий – нормальным увлажнением (ГТК = 1.38). В репродуктивный период в первый и во второй годы сложились засушливые условия (ГТК = 1.02 и 1.14 соответственно), а в третий – наблюдали резкий недостаток влаги (ГТК = 0.75). Более подробно характеристика гидротермических условий межфазных и всего периода вегетации и их влияние на уровень урожайности и фракционный состав зерна озимой ржи представлены ранее в работе [14].

Определение массы 1000 зерен исходных образцов зерна озимой ржи и выделенных из них фракций проведено в соответствии с ГОСТ 10842-89 “Метод определения массы 1000 зерен или семян”, содержание белка – ГОСТ 10846-91 “Метод определения белка”, показателя “число падения” – ГОСТ 27676-88 “Метод определения “числа падения”, а содержание пентозанов – в соответствии с методом, опубликованным в работе [16]. Статистическая обработка экспериментальных данных проведена методом множественного регрессионного анализа (линейного, полинома половинной степени, 2-го и 3-го порядка) с использованием пакета статистических программ “Statistica 6” (Stat-Soft Inc., США). Основным критерием оценки точности полученных уравнений множественной регрессии принята величина коэффициента детерминации ( $R^2$ ) [17].

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведение 3-летних исследований по фракционированию зерна озимой ржи на стандартных решетках с продолговатыми отверстиями показало, что величина массы 1000 зерен различных фракций варьировала в сравнительно широких пределах: 11.2–42.9 г, содержание белка ( $N_{общ} \times 5.7$ )

**Таблица 1.** Масса 1000 зерен различных фракций зерна озимой ржи, г (среднее за 3 года)

Вариант	Фракция, мм						
	1.5–1.7	1.7–2.0	2.0–2.2	2.2–2.4	2.4–2.6	2.6–2.8	2.8–3.0
000	11.5	17.1	21.5	25.5	30.5	35.8	40.2
111	12.0	16.8	21.8	26.4	30.7	36.0	42.0
222	11.8	16.9	21.3	25.7	30.3	35.1	41.0
333	12.0	17.0	21.7	26.3	31.2	36.0	42.7
444	11.7	16.9	21.2	25.6	30.4	35.4	40.4
555	11.9	17.3	21.4	26.4	30.9	36.2	41.0
Среднее	11.8	17.0	21.5	26.0	30.7	35.7	41.2
2005 г.	11.6	16.8	21.2	25.7	29.8	34.6	41.3
2006 г.	11.7	17.0	21.8	26.8	31.9	36.6	42.4
2007 г.	12.1	17.2	21.5	25.5	30.2	36.0	39.9

**Таблица 2.** Зависимость показателей технологических качеств зерна озимой ржи ( $Y$ ) от уровня минерального питания ( $X_1$ , код. ед.) и толщины зерновки ( $X_2$ , мм) (среднее за 3 года)

Показатель ( $Y$ )	Уравнение регрессии ( $n = 42$ )	$R^2$	ТЭ
Масса 1000 зерен, г	$Y = -28.029 + 22.759X$	0.993*	–
	$Y = -2.054 + 4.825X_2^2$	0.998*	–
Содержание белка, % сухого вещества	$Y = 16.546 + 0.249X_1 + 0.036X_1^2 - 6.131X_2 + 1.496X_2^2 - 0.110X_1X_2$	0.892*	–
Содержание пентозанов, %	$Y = 7.087 + 0.024X_1^2 - 3.993X_2 + 0.838X_2^2 - 0.072X_1X_2$	0.478*	–
“Число падения”, сек	$Y = -994.914 - 0.242X_1^3 + 1278.921X_2 - 457.825X_2^2 + 51.135X_2^3$	0.869*	ТЭ <sub>1Т</sub> = 2.26 ТЭ <sub>2Т</sub> = 3.74

Примечание.  $X_1$  (кодированных единиц): 0 – без удобрений, 1 – (NPK)30, 2 – (NPK)60, 3 – (NPK)90, 4 – (NPK)120, 5 – (NPK)150; ТЭ<sub>1Т</sub> и ТЭ<sub>2Т</sub> – соответственно 1-я и 2-я точки экстремума толщины зерновки, мм

и пентозанов – 9.86–12.80 и 1.33–3.91% соответственно, а “число падения” – 67–180 сек (табл. 1, 3–5). Полученные данные подтвердили известное положение о том, что различия по любым признакам и свойствам между сортами одной культуры всегда существенно меньше, чем между контрастными фракциями внутри одного сорта [18].

Так как при проведении фракционирования зерна озимой ржи изученные показатели технологических качеств изменялись в одном и том же направлении, ниже приводится их анализ по усредненным данным за годы проведения исследования. Статистическая обработка полученных данных методом множественного регрессионного анализа показала, что во все годы проведения исследований уровень минерального питания ( $X_1$ , код. ед.: 0 – без удобрений, 1 – (NPK)30, 2 – (NPK)60 ... 5 – (NPK)150) оказывал существенное влияние на содержание белка и пентозанов в зерне различных фракций, а также на величину по-

казателя “число падения”, но не оказывал достоверного влияния на массу 1000 зерен (табл. 1, 2).

При этом зависимость массы 1000 зерен от толщины зерновки ( $X_2$ , мм) максимально точно (по величине  $R^2$ ) описывалась уравнением 2-го порядка. С увеличением толщины зерновки масса 1000 зерен возрастала, при этом каждое последующее возрастание толщины зерновки в большей степени повышало массу 1000 зерен по сравнению с предыдущей ( $+X_2^2$ ). Необходимо отметить, что и линейная зависимость между этими показателями статистически значима, но характеризуется несколько меньшей величиной  $R^2$  (табл. 1, 2, рис. 1).

При фракционировании зерна озимой ржи зависимости содержания сырого белка и пентозанов от уровня минерального питания ( $X_1$ , код. ед.) и толщины зерновки ( $X_2$ , мм) по годам и в среднем за годы проведения исследования максимально точно (по величине  $R^2$ ) отражали уравнения 2-го порядка, т.к. коэффициенты корреля-

**Таблица 3.** Содержание белка в зерне различных фракций, % (среднее за 3 года)

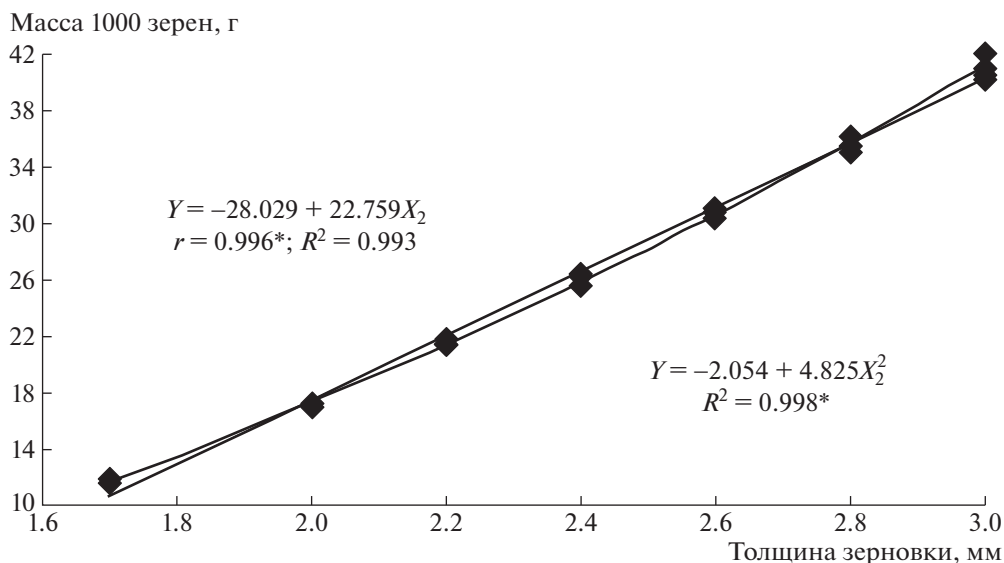
Вариант	Фракция, мм						
	1.5–1.7	1.7–2.0	2.0–2.2	2.2–2.4	2.4–2.6	2.6–2.8	2.8–3.0
000	10.2	10.2	10.3	10.5	10.5	11.1	11.3
111	10.9	10.5	10.5	10.6	11.0	11.3	11.4
222	10.8	10.3	10.2	10.4	10.8	11.0	11.7
333	11.1	10.8	10.6	10.7	11.0	11.5	11.8
444	11.3	10.7	10.7	10.8	11.1	11.6	11.9
555	11.7	11.3	11.3	11.4	11.5	11.9	11.9
Среднее	11.0	10.6	10.6	10.8	11.0	11.4	11.7
2005 г.	10.8	10.4	10.3	10.3	10.3	10.6	10.8
2006 г.	11.3	11.0	11.2	11.2	11.6	12.0	12.1
2007 г.	10.9	10.4	10.4	10.7	11.0	11.6	12.1

**Таблица 4.** Содержание пентозанов в зерне различных фракций, % (среднее за 3 года)

Вариант	Фракция, мм						
	1.5–1.7	1.7–2.0	2.0–2.2	2.2–2.4	2.4–2.6	2.6–2.8	2.8–3.0
000	2.74	2.31	2.33	2.41	2.40	2.34	2.57
111	2.90	2.52	2.11	2.52	2.28	2.45	2.77
222	2.25	2.06	1.78	2.03	2.08	1.85	2.18
333	2.89	2.57	2.07	2.40	1.92	2.04	2.39
444	2.71	2.48	2.28	1.93	1.96	1.99	2.26
555	2.62	2.27	2.07	1.99	2.14	2.09	2.55
Сред.	2.69	2.37	2.11	2.21	2.13	2.13	2.45
2005 г.	3.33	2.71	2.45	2.64	2.53	2.37	2.77
2006 г.	2.30	2.24	1.90	2.09	1.98	2.05	2.19
2007 г.	2.42	2.16	1.98	1.91	1.89	1.96	2.40

**Таблица 5.** “Число падения” у различных фракций зерна озимой ржи, сек (среднее за 3 года)

Вариант	Фракция, мм						
	1.5–1.7	1.7–2.0	2.0–2.2	2.2–2.4	2.4–2.6	2.6–2.8	2.8–3.0
000	94	150	151	146	145	116	91
111	113	154	153	136	124	120	89
222	102	125	134	142	134	132	84
333	105	128	125	138	128	103	97
444	95	120	138	136	123	101	81
555	81	114	120	124	95	84	67
Среднее	98	132	137	137	125	109	85
2005 г.	117	142	155	143	121	110	91
2006 г.	75	107	114	117	115	87	76
2007 г.	104	146	142	151	139	131	87



**Рис. 1.** Зависимость массы 1000 зерен ( $Y$ , г) от толщины зерновки ( $X_2$ , мм) (среднее за 3 года):  $n = 42$ ,  $0.996^*$  – статистически значимо при  $p < 0.05$ ; средняя толщина зерновок во фракции 1.7 мм – варьирование от 1.5 до 1.7 мм, 2.0–1.7–2.0, 2.2–2.0–2.2, 2.4–2.2–2.4, 2.6–2.4–2.6, 2.8–2.6–2.8, 3.0–2.8–3.0 мм,  $n = 42$  – общее число наблюдений. То же в табл. 3–6 и на рис. 2.

ции линейных уравнений незначимы на принятом в агрохимических исследованиях уровне значимости ( $p < 0.05$ ), а уравнений половинной степени хотя и значимы, но имеют более низкие их величины, чем уравнения 2-го порядка (табл. 2–4, рис. 2а, б).

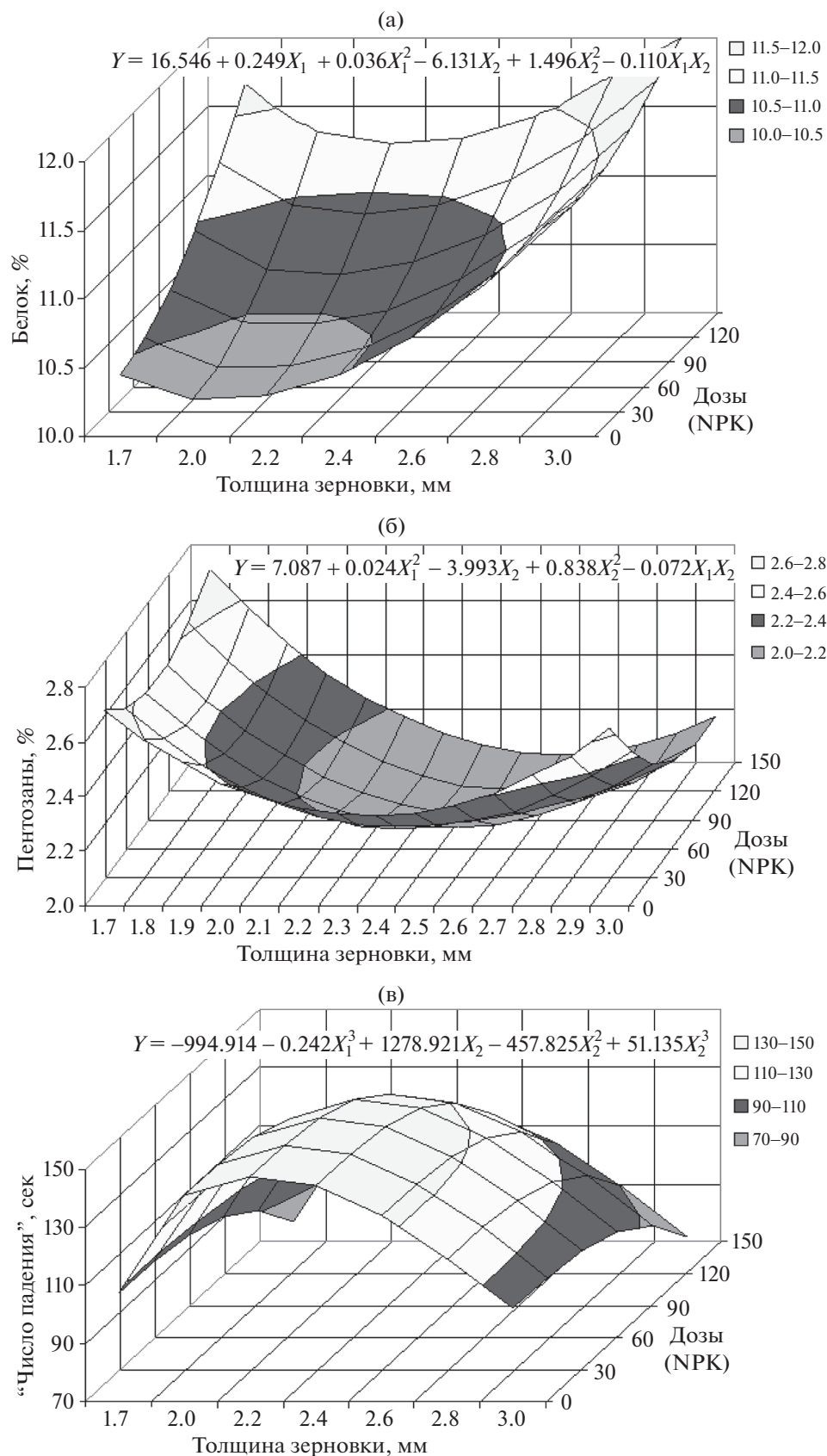
На рис. 2 в пределах полученных экспериментальных данных по величине изученных показателей качества зерна озимой ржи представлены графические изображения их зависимостей ( $Y$ ) (или поверхности отклика функции) от возрастающих уровней минерального питания ( $X_1$ , код. ед.) и толщины зерновки ( $X_2$ , мм). Анализ уравнений и их графических изображений показал, что с усилением уровня минерального питания содержание белка в зерне различных фракций зерна озимой ржи возрастало. При этом каждое последующее увеличение доз удобрений приводило к более высокой белковости зерна по сравнению с предыдущей ( $+X_1 + X_1^2$ ). С увеличением толщины зерновки содержание белка снижалось, однако каждое последующее увеличение толщины зерновки замедляло темпы роста белковости зерна и, достигнув минимальных величин при размерах решет 1.7–2.0 или 2.0–2.2 мм, содержание белка начинало возрастать ( $-X_2 + X_2^2$ ). Следует отметить, что при одновременном возрастании доз удобрений и толщины зерновки темпы роста белковости зерна снижались ( $-X_1X_2$ ).

Данные, представленные на рис. 2а показали, что минимальное содержание белка (не  $>10.5\%$ )

наблюдается в зерне мелких (1.5–1.7, 1.7–2.0 мм) и средней фракции (2.0–2.2 мм) в контрольном варианте (без внесения удобрений) и при внесении минеральных удобрений не более 60 кг д.в./га. Максимальное содержание белка отмечено в зерне самой мелкой фракции (1.5–1.7 мм) при внесении максимальной дозы удобрений (NPK)150 и у самой крупной фракции (2.8–3.0 мм) во всех вариантах с их применением (11.5–12.0%).

Данные, представленные на рис. 2б, показали, что минимальное содержание водорастворимых пентозанов (2.0–2.2%) отмечено в вариантах с внесением доз минеральных удобрений в интервале (NPK)60–(NPK)150 у средних фракций зерна озимой ржи (2.0–2.2 и 2.4–2.6 мм). Максимальное содержание пентозанов (2.6–2.8%) отмечено в варианте без внесения удобрений у самой мелкой и самой крупной фракций, а также на фоне внесения максимальной дозы удобрений у самой мелкой фракции.

Известно, что величина показателя “число падения” (ЧП) существенно снижается в условиях избыточного увлажнения в предуборочный период. Кроме условий увлажнения его величина также зависит от содержания белка в зерне: в большинстве случаев, чем больше его содержание, тем меньше величина данного показателя [1–6]. Различия в гидротермических условиях весенне-летних периодов вегетации привели к формированию существенно различающихся исходных образцов зерна озимой ржи по величине ЧП.



**Рис. 2.** Зависимость содержания: (а) – белка ( $Y$ , %), (б) – пентозанов ( $Y$ , %), (в) – величины ‘‘числа падения’’ ( $Y$ , сек) от уровня минерального питания ( $X_1$ , кол. ед.) и толщины зерновки ( $X_2$ , мм) (среднее за 3 года).

Согласно ГОСТ 16990-88, в 1-й и 2-й годы проведения исследования по его величине зерно озимой ржи соответствовало III классу (80–140 сек), в 3-й год в 2-х вариантах из 6-ти – III классу, а в оставшихся 4-х вариантах – II классу (140–200 сек) качества (табл. 5, 6).

Фракционирование зерна озимой ржи показало, что во все годы минимальным ЧП характеризовались мелкие и крупные, а максимальным – средние фракции зерна (рис. 2в). Аналогичное явление наблюдали и при проведении исследований с сортом озимой ржи Кировская 89. При этом самые мелкие фракции также характеризовались более высоким ЧП, чем самые крупные [8, 9].

Проведение статистической обработки полученных экспериментальных данных показало, что зависимости показателя ЧП от толщины зерновки по годам и в среднем за годы исследования (табл. 2, рис. 2в) наиболее точно (по величине  $R^2$ ) отражают уравнения 3-го порядка, т.к. коэффициенты корреляции ( $r$ ) линейных уравнений и уравнений половинной степени в данном случае статистически незначимы при  $p < 0.05$ , а уравнений 2-го порядка хотя и значимы, но имеют более низкие величины, чем уравнения 3-го порядка.

С возрастанием уровня минерального питания величина показателя ЧП снижалась. При этом каждая последующая доза удобрений приводила к еще большему снижению величины данного показателя по сравнению с предыдущей ( $-X_1^3$ ). Максимальное же снижение его величины наблюдали при внесении максимальных доз минеральных удобрений (NPK)120 и (NPK)150 (табл. 5, рис. 2в).

С увеличением толщины зерновки от ее минимальных величин ЧП возрастало, однако каждое последующее увеличение толщины зерновки приводило к меньшему его возрастанию по сравнению с предыдущей ( $X_2 - X_2^2$ ) и достигнув первой точки экстремума (2.26 мм) или размеров решет 2.2–2.4 мм, ЧП начинало снижаться. Однако в дальнейшем, каждое последующее увеличение толщины зерновки ( $>2.26$  мм) сопровождалось меньшим снижением ЧП ( $-X_2^2 + X_2^3$ ) и, достигнув 2-й точки экстремума при размерах решет 3.74 мм, ЧП должно возрастать. Как видим, 2-я точка экстремума по величине ЧП находится вне пределов полученных экспериментальных данных.

Итак, исследование показало, что зависимости показателей качества зерна озимой ржи от толщины зерновки при изменении гидротермических условий имели однонаправленный характер. По этой причине фракционирование средних образцов, отобранных от однородных крупных партий и проведение соответствующих

анализов позволит определить содержание белка и пентозанов, величину показателя ЧП и массы 1000 зерен (при желании и более широкий спектр показателей) всех выделенных фракций, а статистическая обработка – вид зависимостей перечисленных выше показателей качества от толщины зерновки.

Затем, за счет правильного подбора и установки верхних и (или) нижних решет на зерноочистительных машинах вторичной очистки можно изменить (повысить или снизить) интересующие производителя показатели качества у конкретной партии зерна до регламентируемых ГОСТами или требуемых потребителями кондиций [8, 9]. При этом необходимо иметь в виду, что изменение отдельных показателей качества зерна будет связано с уменьшением веса партии, причем, чем в большей степени будет изменяться (повышаться или снижаться) величина конкретного показателя качества, тем меньше выход зерна или семян [19].

Так как фракции зерна озимой ржи различались по их относительной доле в ежегодном урожае [14], то вполне логичным является определение средневзвешенной величины изученных показателей технологических качеств: массы 1000 зерен, содержания белка и пентозанов, а также показателя ЧП [8, 9].

ГОСТ 10842-89 “Метод определения массы 1000 зерен или семян” регламентирует, что допускаемые расхождения между 2-мя результатами ее определения не должны превышать 6%. Следует отметить, что в государственных стандартах нашей страны используется понятие “допускаемое расхождение” (табл. 6), показывающее максимальную аналитическую ошибку при определении какого-либо показателя – в рассмотренном случае массы 1000 зерен, содержания белка и показателя ЧП.

Средневзвешенные величины массы 1000 зерен варьировали в интервале 27.7–29.9 в 1-й год проведения исследования, 26.0–29.2 и 23.0–23.9 г во 2-й и 3-й годы соответственно. Допускаемые расхождения между массой зерновки исходных образцов и их средневзвешенных величин по годам исследования находились в пределах 1.64–1.81, 1.55–1.69 и 1.36–1.43 г соответственно. Как видим, во всех случаях расхождения между экспериментальными и средневзвешенными величинами массы зерновки не превышали допускаемых расхождений (6%), регламентируемых ГОСТом 10842-89.

ГОСТ 10846-91 “Метод определения белка” регламентирует, что допускаемые расхождения при контрольных определениях общего азота не должны превышать  $0.04 + 0.045X$  где  $X$  – среднее арифметическое первоначального и контрольного определений (в рассматриваемом случае, соот-

**Таблица 6.** Экспериментальные (исходные) и средневзвешенные величины основных показателей качества зерна озимой ржи

Вариант	2005 г.	2006 г.	2007 г.	Среднее за 3 года	2005 г.	2006 г.	2007 г.	Среднее за 3 года
	Экспериментальные данные							
	Масса 1000 зерен, г				Содержание общего азота, %			
000	27.3	26.2	22.7	25.4	1.68	2.00	1.69	1.79
111	27.9	25.9	23.9	25.9	1.79	2.06	1.76	1.87
222	27.4	26.9	23.3	25.9	1.77	2.03	1.75	1.85
333	30.2	27.3	23.6	27.0	1.84	2.11	1.79	1.91
444	28.3	27.0	23.2	26.2	1.86	2.12	1.91	1.96
555	29.9	28.2	23.1	27.1	2.00	2.18	1.96	2.05
Средневзвешенные величины								
000	27.7	26.0	23.0	25.6	1.79	1.93	1.76	1.83
111	27.8	27.4	23.9	26.4	1.85	1.98	1.83	1.89
222	27.7	26.7	23.5	26.1	1.75	1.94	1.81	1.83
333	29.9	28.2	23.5	27.2	1.85	2.02	1.83	1.90
444	28.7	27.3	23.0	26.4	1.78	2.04	1.93	1.92
555	29.1	29.3	23.1	27.1	1.92	2.09	2.03	2.01
Допускаемые расхождения								
000	1.6	1.6	1.4	1.5	0.12	0.13	0.12	0.12
111	1.7	1.6	1.4	1.6	0.12	0.13	0.12	0.12
222	1.7	1.6	1.4	1.6	0.12	0.13	0.12	0.12
333	1.8	1.6	1.4	1.6	0.12	0.13	0.12	0.13
444	1.7	1.6	1.4	1.6	0.12	0.13	0.13	0.13
555	1.8	1.7	1.4	1.6	0.13	0.14	0.13	0.13
Экспериментальные данные								
Содержание пентозанов, %				"Число падения", сек				
000	2.30	2.62	1.95	2.29	119	119	156	131
111	2.44	2.28	2.16	2.29	126	119	165	137
222	2.63	1.77	1.87	2.09	126	122	146	131
333	2.87	1.92	1.82	2.20	131	88	175	131
444	2.49	2.14	1.89	2.17	124	93	130	116
555	2.92	2.01	1.91	2.28	104	77	124	102
Средневзвешенные величины								
000	2.24	2.73	2.07	2.38	134	121	165	142
111	2.51	2.32	2.31	2.40	139	116	148	135
222	2.54	1.64	1.94	1.99	120	124	153	134
333	2.73	1.84	1.88	2.22	113	107	157	126
444	2.43	2.00	1.92	2.08	141	103	130	125
555	2.77	1.77	1.80	2.11	115	88	117	108
Отклонения*				Допускаемые расхождения				
000	0.06/2.6**	-0.11/-4.2	-0.12/-6.2	—	13***	12	16	14
111	-0.07/-2.9	-0.04/-1.8	-0.15/-6.9	—	13	12	16***	14
222	0.09/3.4	0.13/7.3	-0.07/-3.7	—	12	12	15	13
333	0.14/4.9	0.08/4.2	-0.06/-3.3	—	12***	10***	17***	13
444	0.06/2.4	0.14/6.5	-0.03/-1.6	—	13***	10	13	12
555	0.15/5.1	0.24/11.9	0.11/5.8	—	11	8***	12***	10

\*Использованным методом определения пентозанов [16] допускаемые расхождения не регламентированы.

\*\*0.06/2.6 – абсолютные и относительные отклонения, %.

\*\*\*Указанные величины выходят за пределы допускаемых расхождений, регламентируемых государственным стандартом.



ветственно, исходные и средневзвешенные величины). Данные, представленные в табл. 6, показали, что, как и у массы 1000 зерен, во всех случаях расхождения между экспериментальными и средневзвешенными величинами содержания общего азота были меньше регламентируемых ГОСТом 10846-91 допускаемых расхождений.

ГОСТ 27676-88 “Метод определения ЧП” предусматривает, что при контрольном (повторном) определении данного показателя (в рассматриваемом случае – средневзвешенные величины) допускаются расхождения между ними и первоначальным определением не более 10% от их среднего арифметического. Средневзвешенные величины ЧП по годам исследования варьировали в пределах: 113–141 в первый год, 88–124 и 117–165 сек во 2-й и 3-й годы проведения исследования соответственно (табл. 6). Допускаемые расхождения между ЧП исходных образцов зерна озимой ржи и их средневзвешенных величин по годам находились в пределах 11–13, 8–12 и 12–17 сек соответственно. Как видим, в 1-й и 3-й годы в 3-х случаях и во 2-й год – в 2-х случаях из 6-ти (в сумме 8 из 18 или в 44.4% случаев), расхождения между экспериментальными и средневзвешенными величинами ЧП превышали регламентируемые ГОСТом 27676-88 допустимые расхождения. То есть во все годы практически в половине случаев наблюдали существенные расхождения между ЧП исходных образцов и их средневзвешенных величин, что при проведении фракционирования предполагает индивидуальный подход к каждой партии зерна озимой ржи с учетом экономической эффективности разделения зерна на фракции.

Средневзвешенные величины содержания пентозанов по годам исследования варьировали в пределах 2.24–2.77% в 1-й год проведения исследования, 1.64–2.73 и 1.80–2.31% во 2-й и 3-й годы соответственно (табл. 5). Отклонения между содержанием пентозанов в зерне исходных образцов и их средневзвешенных величин по годам варьировали в пределах – 0.07–0.15, 0.11–0.24 и 0.15–0.11% соответственно в абсолютном выражении или 2.9–5.1, 4.2–11.9 и 6.9–5.8% в относительных единицах. В отсутствии государственного стандарта России на “Метод определения пентозанов” при определении их содержания примененным методом [16] допускаемые расхождения не регламентированы. По этой причине в табл. 5 принят термин “отклонения” экспериментальных величин от средневзвешенных.

## ВЫВОДЫ

1. Установлено, что зерно различных фракций озимой ржи неравноценно по содержанию белка и пентозанов, массе 1000 зерен и величине пока-

зателя “число падения”. Исследование показало отсутствие каких-либо статистически значимых зависимостей массы 1000 зерен определенной (конкретной) фракции зерна озимой ржи от уровня минерального питания. При этом зависимость массы 1000 зерен от толщины зерновки максимально точно (по величине  $R^2$ ) описывалась уравнением 2-го порядка. В отличие от массы 1000 зерен содержание белка и пентозанов, а также величина показателя “число падения” существенно зависели как от уровня минерального питания, так и от толщины зерновки. При этом максимально точно зависимости содержания белка и пентозанов от уровня минерального питания и толщины зерновки отражали уравнения 2-го, а показателя “число падения” – 3-го порядка.

2. Экспериментальные величины массы 1000 зерен и содержания белка исходных образцов зерна озимой ржи и их средневзвешенные величины (определенные с учетом доли каждой фракции в исходных образцах) практически не различались и находились в пределах допускаемых расхождений, регламентируемых соответствующими ГОСТами. Исключение составил показатель “число падения”, у которого обнаружены существенные расхождения между “числом падения” исходных образцов зерна и их средневзвешенных величин, что при проведении фракционирования предполагает индивидуальный подход к каждой партии зерна озимой ржи с учетом экономической эффективности разделения зерна на фракции. Аналогичный (индивидуальный) подход может быть использован при введении ГОСТом допускаемых расхождений при определении пентозанов в случае обнаружения существенных отклонений между содержанием пентозанов в исходных образцах зерна озимой ржи и их средневзвешенных величин.

3. В случае подтверждения полученных зависимостей основных показателей качества зерна озимой ржи от уровня минерального питания и толщины зерновки при генотипических (сортовых) различиях полученные данные могут быть использованы в селекционном процессе.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Завалин А.А., Пасынков А.В.* Азотное питание и прогноз качества зерновых культур. М.: ВНИИА, 2007. 208 с.
2. *Krzysztof Marczewski, Henryka Rola, Jolanta Sumińska, Andrzej Biskupski.* The effect of herbicides on technological quality of grain of winter rye cultivars // Polish J. Agron. 2012. № 8. P. 29–36.
3. *Гончаренко А.А., Ермаков С.А., Макаров А.В., Семенова Т.В.* Многократный дивергентный отбор на вязкость водного экстракта у озимой ржи // Докл. РАСХН. 2016. № 4. С. 3–8.

4. Пономарева М.Л., Пономарев С.Н., Гильмуллина Л.Ф., Маннапова Г.С. Изучение содержания пентозанов в зерне популяционных сортов озимой ржи различными методами // Достиж. науки и техн. АПК, 2016. Т. 30. № 12. С. 10–13.
5. Шаболкина Е.Н., Бишарев А.А., Анисимкина Н.В., Беляева М.В. Перспективы селекции озимой ржи на хлебопекарные цели // Зерн. хоз-во России. 2018. № 6 (60). С. 60–63.  
<https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-6-59-63>
6. Пономарева М.Л., Пономарев С.Н. Оптимизация параметров качества зерна для селекции озимой ржи // Вавилов. журн. генет. и селекц. 2019. № 3 (23). С. 320–327.  
<https://doi.org/10.18699/VJ19.426>
7. Шаболкина Е.Н., Бишарев А.А., Анисимкина Н.В., Беляева М.В. Влияние водорастворимых пентозанов на хлебопекарные свойства озимой ржи // Зерн. хоз-во России. 2019. № 1 (61). С. 49–51.  
<https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-61-1-49-51>
8. Пасынков А.В., Андреев В.Л., Завалин А.А., Пасынкова Е.Н. Изменение показателей качества зерна озимой ржи при его фракционировании // Достиж. науки и техн. АПК, 2013. № 9. С. 36–40.
9. Пасынков А.В., Пасынкова Е.Н. Способ улучшения качества зерна озимой ржи // Наше сел. хоз-во. 2016. № 17 (145). С. 35–39.
10. Исмагилов Р.Р., Нехороших М.С. Полевая всхожесть и параметры растений озимой ржи в зависимости от размера семян // Межотрасл. ин-т науки и образ-я. 2014. № 5. С. 39–41.
11. Исмагилов Р.Р., Нехороших М.С. Качество семян озимой ржи в зависимости от места его формирования в колосе // Совр. пробл. науки и образ-я. 2014. № 6. С. 16–28.
12. Исмагилов Р.Р., Гайсина Л.Ф., Нехороших М.С. Содержание водорастворимых пентозанов в зерне ржи разной фракции // Вестн. БГАУ. 2015. № 1. С. 24–26
13. Лантева Н.К. Фракционная технология подработки озимой ржи для формирования партий зерна с улучшенными хлебопекарными свойствами или с повышенным содержанием крахмала // Аграрн. вестн. Юго-Востока, 2009. № 3. С. 26–28.
14. Пасынков А.В., Пасынкова Е.Н. Изменение фракционного состава зерна озимой ржи, выращенного на фоне возрастающих уровней минерального питания // Агрохимия. 2022. № 1. С. 58–65.  
<https://doi.org/10.31857/S0002188121110119>
15. Пасынков А.В., Светлакова Е.В., Котельникова Н.В. Влияние длительного применения минеральных удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы, продуктивность севооборота и качество зерна // Агрохимия. 2016. № 10. С. 38–47.
16. Hashimoto S., Shogren M.D., Pomeranz Y. Cereal pentosans: Their estimation and significance. I. Pentosans in wheat and milled wheat products // Cereal Chem. 1987. V. 64. P. 30–34.
17. Иванова Т.И. Прогнозирование эффективности удобрений с использованием математических моделей. М.: Агропромиздат, 1989. 235 с.
18. Мухин В.П. Получение радиомутантов сои для селекционного процесса. М.: ВЦНТИ, 1983. 22 с.
19. Пасынкова Е.Н., Завалин А.А., Пасынков А.В., Котельникова Н.В. Изменение показателей качества зерна пленчатого овса при фракционировании // Рос. сел.-хоз. наука. 2018. № 4. С. 16–20.  
<https://doi.org/10.31857/S250026270000551-1>

## Effect of Increasing Levels of Mineral Nutrition on the Quality of Various Fractions of Winter Rye Grain

A. V. Pasyнков<sup>a</sup> and E. N. Pasyнкova<sup>a, #</sup>

<sup>a</sup>Leningrad Scientific Research Institute of Agricultural “Belogorka” –  
Branch of Federal Research Centre of Potato Named after A.G. Lorch  
Gatchinsky district, Leningrad region, p. Belogorka 188338, Russia

<sup>#</sup>E-mail: [pasynkova.elena@gmail.com](mailto:pasynkova.elena@gmail.com)

Data are presented on the change in the main quality indicators of various fractions of winter rye grain grown against the background of increasing levels of mineral nutrition. Studies have shown the absence of any statistically significant dependences of the weight of 1000 grains weight of a certain (specific) fraction of winter rye grain on the level of mineral nutrition. In this case, the dependence of the 1000 grains weight on the grain thickness was described as accurately as possible (by  $R^2$ ) by a second-order equation. In contrast to the 1000 grains weight, the content of protein and pentosans, as well as the value of the falling number indicator, significantly depend both on the level of mineral nutrition and on the thickness of the grain. At the same time, the dependencies of the content of protein and pentosans on the level of mineral nutrition and the of the caryopsis reflect the equations of the second, and the falling number indicator, of the third order as accurately as possible.

**Key words:** winter rye, level of mineral nutrition, fractionation, sieves, 1000 grains weight, protein, falling number, pentosans.