

Николай Иванович Анисков

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова, старший научный сотрудник отдела генетических ресурсов овса, ржи и ячменя, доктор сельскохозяйственных наук, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: irinkasafonova@yandex.ru

Ирина Владимировна Сафонова

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова, старший научный сотрудник отдела генетических ресурсов овса, ржи и ячменя, доктор сельскохозяйственных наук, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: irinkasafonova@yandex.ru

СОДЕРЖАНИЕ БЕЛКА И УРОВЕНЬ ПЛАСТИЧНОСТИ, СТАБИЛЬНОСТИ, ГОМЕОСТАТИЧНОСТИ КОЛЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ РЖИ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА

Цель исследования – дать общую оценку по величине «содержание белка в зерне» образцов озимой ржи. Материалом для исследования послужили коллекционные образцы озимой ржи из ВИР. Исследование проводилось в полевом испытании с 2012 по 2017 г. Количество белка вычисляли в биохимическом отделе ВИР. В изучении находилось 9 коллекционных образцов озимой ржи. Все образцы относятся ко ржи диплоидной, озимой (*Secale cereale* L. var. *Vulgare* Koern). Для достоверной оценки образцов по параметрам пластичности, стабильности и гомеостатичности были вычислены: диапазон содержания белка в зерне (d) (определяли по В.А. Зыкину, 1984), реализация потенциала продуктивности, индекс экологической пластичности (Jps) (оценивали по S.A. Eberhart, W.A. Russell, 1966), фактор стабильности ($S.F.$) (по D. Lewis (1954), селекционная ценность сорта (Sc) и показатель гомеостатичности (Hom) (рассчитывали по В.В. Хангильдину), показатель относительной стабильности сорта (St^2) и критерий стабильности (A) (подсчитывали по Н.А. Соболеву, 1980), коэффициент вариации (V) (рассчитывали по Б.А. Доспехову). Статистическую обработку данных выполняли с использованием метода дисперсионного анализа. Среднее содержание белка в зерне по отчету составило 10,3 %. Оно изменялось от 7,6 % у образца Берегиня до 13,4 % у образца Вавиловская в 2013 г. Приемом ранжирования образцов по всем применяемым показателям было обнаружено, что наиболее пригодными образцами для выращивания с целью получения высокого и стабильного содержания белка в зерне в условиях Ленинградской области являются образцы Ильмень, Эра, Красноярская универсальная, Янтарная, Рушник 2. Эти образцы характеризуются меньшей суммой рангов и являются наиболее приспособленными к условиям возделывания для получения качественного зерна.

Ключевые слова: стабильность, пластичность, адаптивность, экологические условия, ранг, коэффициент гомеостатичности, фактор стабильности, селекционная ценность сорта, коэффициент вариации, показатель относительной стабильности, критерий стабильности, показатель интенсивности.

Nickolay I. Aniskov

Dr. Agric. Sci., Senior Researcher, Department of Genetic Resources for Oats, Rye and Barley, Federal Research Center All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N.I. Vavilov, St. Petersburg, Russia

E-mail: irinkasafonova@yandex.ru

Irina V. Safonova

Dr. Agric. Sci., Senior Researcher, Department of Genetic Resources for Oats, Rye and Barley, Federal Research Center All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N.I. Vavilov, St. Petersburg, Russia

E-mail: irinkasafonova@yandex.ru

PROTEIN CONTENT AND LEVEL OF PLASTICITY, STABILITY, HOMEOSTATICITY OF COLLECTION RYE SAMPLES UNDER CONDITIONS OF THE NORTHWESTERN REGION

The aim of the research is to give an overall assessment of the value of the "protein content in grain" of winter rye samples. Collection samples of winter rye from VIR served as the material for the study. The research was carried out in a field trial from 2012 to 2017. The amount of protein was calculated in the biochemical department of the VIR. The study included 9 collection samples of winter rye. All samples belong to winter diploid rye (*Secale cereal L. var. Vulgare* Koern). For a reliable assessment of the samples in terms of plasticity, stability and homeostaticity parameters, the following were calculated: the range of protein content in grain (d) (determined according to V.A. Zykin, 1984), realization of the productivity potential, ecological plasticity index (Jps) (estimated according to S.A. Eberhart, W.A. Russell, 1966), the stability factor (SF) (according to D. Lewis (1954), the breeding value of the variety (Sc) and the index of homeostaticity (Hom) (calculated according to V.V. Khangildin), the indicator of the relative stability of the variety (St^2) and stability criterion (A) (calculated according to N.A. Sobolev, 1980), coefficient of variation (V) (calculated according to B.A. Dospikhov). Statistical data processing was performed using the analysis of variance method. The average protein content in grain was reported to be 10.3%. It varied from 7.6 % for the Bereginia sample to 13.4 % for the Vavilovskaya sample in 2013. By the method of ranking the samples according to all the indicators used, it was found that the most suitable samples for growing in order to obtain a high and stable protein content in grain under the conditions of the Leningrad region are the samples Ilmen, Era, Krasnoyarskaya universalnaya, Yantarnaya, Rushnik 2. These samples are characterized by a smaller sum of ranks and are the most adapted to the cultivation conditions for obtaining high-quality grain.

Keywords: stability, plasticity, adaptability, ecological conditions, rank, homeostatic coefficient, stability factor, breeding value of a variety, coefficient of variation, indicator of relative stability, stability criterion, intensity indicator.

Введение. Рожь – важнейшая сельскохозяйственная культура в Российской Федерации, в том числе и в Северо-Западном регионе. Способность устойчиво создавать высокую продуктивность в разнообразных агроклиматических условиях делает ее культурой низкого экономического риска. В данное время производство все еще остро нуждается в растительном белке. В решении этой задачи озимая рожь представляет из себя огромный интерес как высоко белковая культура [1]. В последние годы происходит резкое сокращение площади посева как в мире, так и Российской Федерации. Ведущим резервом повышенного спроса на зерно ржи является увеличение его части для кормления. Зерно ржи обладает повышенным содержанием незаменимой аминокислоты – лизина [2]. Большие сборы зерна ржи в условиях производства могут быть получены за счет выведения сортов, пригодных к различным факторам конкретного региона. При выведении сорта появляется большая степень вероятности в полном объеме использовать потенциал урожайности. Этот сорт позволит обеспечить устойчивость к стрессовым факторам среды [3]. Вопросы определения пластичности сортов ржи озимой в условиях Северо-Западного региона изучены мало, поэтому они актуальны.

Цель исследования: дать общую оценку по величине «содержание белка в зерне» образцов озимой ржи.

Объекты и методы исследования. Изучение образцов озимой ржи проводилось в полевом испытании с 2012 по 2017 г. Количество белка вычисляли в биохимическом отделе ВИР. В изучении находилось 9 коллекционных образцов озимой ржи. Все образцы относятся к ржи диплоидной, озимой (*Secale cereal L. var. Vulgare* Koern) [4]. Статистическую обработку данных выполняли с использованием метода дисперсионного анализа [5]. Размах содержания белка (d) определяли по В.А. Зыкину (1984) [6]. Индекс экологической пластичности (Jsp) оценивали по S.A. Eberhart, W.A. Russell (1966) [7]. Фактор стабильности ($S.F.$) – по D. Lewis (1954) [8]. Селекционную ценность образцов (Sc) и параметр гомеостатичности (Hom) рассчитывали по В.В. Хангильдину [9]. Критерий стабильности (A) и показатель стабильности (St^2) подсчитывали по Н.А. Соболеву (1980) [10], коэффициент вариации (V) рассчитывали по Б.А. Доспехову (1985) [5].

Во время полевого изучения с 2012 по 2017 г., по данным гидрометеорологического центра, наблюдалось варьирование погодных условий (рис. 1). Неблагоприятные условия отмечались в 2014, 2015, 2017 гг. Теплая погода и достаточ-

ное количество влаги способствовали хорошему развитию растений и получению хорошего качества зерна в 2012, 2013 и 2016 гг. Значительные различия метеорологических условий по годам способствовали проявлению признака «содержа-

ние белка в зерне», что позволило исследовать пластичность, стабильность и отзывчивость и выделить наиболее ценные сорта для селекции и производства.



Рис. 1. Средняя температура и количество осадков в период изучения образцов ржи

Результаты исследования и их обсуждение. Анализ качества зерна показал, что в условиях Ленинградской области наблюдается неустой-

чивость содержания белка в образцах ржи и зависимость от года выращивания (табл. 1).

Таблица 1

Количество белка в образцах ржи

Год испытаний	Образцы озимой ржи									Среднее	НСР _{0,5}
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
2012	12,4	11,8	10,8	9,5	11,6	9,1	11,1	9,9	10,1	10,7	0,51
2013	10,9	10,7	9,9	10,2	10,6	10,1	10,8	10,0	9,9	10,3	0,55
2014	10,4	9,9	9,9	9,7	9,2	10,2	10,2	9,6	9,2	9,8	0,40
2015	9,5	8,6	7,6	8,0	8,3	9,8	8,9	8,9	8,9	8,7	0,38
2016	11,6	12,7	11,0	13,5	13,2	12,3	13,2	11,3	11,3	12,2	0,51
2017	9,4	8,8	8,1	8,2	9,5	8,2	8,1	8,4	8,6	8,6	0,40
Среднее	10,9	10,7	9,9	10,2	10,6	10,1	10,8	10,0	9,9	10,3	—
% к стандарту	110	108	100	103	107	102	109	101	100	—	—
Ранг	1	3	8	5	4	6	2	7	9	—	—

Примечание: 1 – Ильмень; 2 – Красноярская универсальная; 3 – Берегиня; 4 – Ника 3; 5 – Новая Эра; 6 – Рушник 2; 7 – Вавиловская; 8 – Янтарная; 9 – Эра (стандарт).

По показателям биохимического анализа, в неблагоприятные по погодным условиям для формирования содержания белка 2015, 2017 гг. наблюдалось его снижение до 7,6 % у образцов ржи Берегиня и, напротив, его увеличение до 13,50 % в благоприятных 2013, 2016 гг. у образца

ржи Ника 3. Количество белка в среднем за годы изучения показало, что образцы Янтарная (1,0 %), Рушник 2 (2,0 %), Красноярская универсальная (8,0 %), Вавиловская (9,0 %), Ильмень (10,0 %), превысили стандарт.

С точки зрения В.А. Зыкина (1984), при проведении экологического исследования немаловажен такой параметр, как размах содержания белка (d). Он представляет возможность рассчитать уровень стабильности сортов. Чем ниже этот показатель, тем стабильнее варьирование белковой продуктивности. Мы выявили большой

размах содержания белка у следующих образцов ржи: Берегиня, Новая Эра, Вавиловская, Ника 3. Относительно небольшая вариация данного показателя зафиксирована у образцов Эра, Ильмень, Янтарная, Красноярская универсальная, Рушник (табл. 2).

Таблица 2

Содержание белка и реализация его потенциала образцов ржи

Показатель	Образец озимой ржи								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\bar{x}$	10,9	10,7	9,9	10,2	10,6	10,1	10,8	10,0	9,9
min	9,4	8,6	7,6	8,0	8,3	8,2	8,1	8,4	8,6
max	12,4	12,7	12,0	13,5	13,2	12,3	13,4	11,8	11,3
Размах содержания белка в зерне (d) (max – min)	3,0	4,1	4,4	5,5	4,9	4,1	5,4	3,4	2,7
%	24,4	32,3	36,7	40,7	37,1	33,3	40,3	28,8	23,9
Реализация потенциала содержания белка в зерне, %	79,2	84,3	82,5	75,6	80,3	82,1	80,6	93,2	87,6

Примечание: 1 – Ильмень; 2 – Красноярская универсальная; 3 – Берегиня; 4 – Ника 3; 5 – Новая Эра; 6 – Рушник 2; 7 – Вавиловская; 8 – Янтарная; 9 – Эра (стандарт).

Восполняет показатель адаптивности сорта по мнению В.А. Зыкина – степень реализации потенциала содержания белка. По результатам оценки наших исследований она изменялась 75,6 % у образца Ника 3 до 93,2 % у образца Янтарная.

При определении области распространения часто применяют показатель экологической пластичности (Jsp). Исследуемые образцы ржи разделились на 4 типа:

а) популяции очень узкого ареала выше средней в течение 1 года (Янтарная, Эра (стандарт));

б) популяции узкого ареала выше средней в течение 2 лет (Ника 3);

в) популяции среднего ареала – в течение 3 лет (Берегиня, Новая Эра, Рушник 2);

г) популяции широкого ареала – содержание белка в течение 5 лет выше средней (Ильмень, Вавиловская, Красноярская универсальная) (табл. 3).

Таблица 3

Индекс экологической пластичности образцов ржи

Индекс экологической пластичности (Jsp)	Образец ржи								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2012	1,16	1,1	1,01	0,89	1,1	0,85	1,04	0,92	0,94
2013	1,01	1,06	1,01	1,01	0,97	0,92	1,13	0,99	0,77
2014	1,06	1,01	1,01	0,99	0,94	1,04	1,04	0,98	0,94
2015	1,09	0,99	0,87	0,92	0,95	1,13	1,02	1,02	1,02
2016	0,95	1,04	0,90	1,11	1,08	1,01	1,08	0,93	0,93
2017	1,09	1,02	0,94	0,95	1,10	0,95	0,94	0,98	1,07
Среднее	1,06	1,04	0,96	0,99	1,03	0,98	1,05	0,97	0,96

D. Lewis (1954) советовал расчет адаптивной реакции сорта на воздействие окружающей среды вести на основе сравнения величин его при-

знаков в контрастных условиях. Он замечал, что чем выше значение этого показателя, тем сорт менее стабилен. В данном исследовании низкая

устойчивость присуща образцам: Ника 3, Берегиня, Новая Эра, Вавиловская. Более высокий фактор стабильности отмечены у образцов: Иль-

мень, Эра, Янтарная, Красноярская универсальная, Рушник 2 (табл. 4).

Таблица 4

Показатели стабильности, пластичности и гомеостатичности образцов ржи

Параметр адаптивности	Образец ржи								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S.F.	1,3	1,5	1,6	1,7	1,6	1,5	1,6	1,4	1,3
Sc	90,1	77,5	62,1	61,6	70,6	68,0	70,5	71,1	74,6
Hom	30,5	14,9	14,4	8,4	10,2	17,5	10,1	22,1	32,1
St ²	0,99	0,97	0,98	0,96	0,95	0,98	0,96	0,98	0,99
A	9,9	10,5	9,8	9,9	10,3	10,0	9,7	9,9	9,8
V	11,9	17,5	15,6	9,8	21,2	13,2	20,2	13,3	11,4

Примечание: S.F. – фактор стабильности; Sc – селекционная ценность сорта; Hom – показатель гомеостатичности; St² – показатель относительной стабильности сорта; A – критерий стабильности; V – коэффициент вариации.

Определение селекционной ценности сорта (Sc), предложенная В.В. Хангильдиным (1981), основана на сравнении уровня белка в лимитированной и оптимальной почвенно-климатической среде. При этом же учитывается уровень среднего содержания белка. Популяциями-лидерами по этому показателю являются Ильмень, Красноярская универсальная, Эра, Янтарная. Более низкие значения отмечены у образцов Новая Эра, Вавиловская, Рушник 2, Берегиня, Ника 3. По суждению этого же автора, лимитирующими фактором, ограничивающим содержание белка в зерне, является не потенциальное содержание, а именно устойчивость этого признака к неблагоприятным факторам внешней среды, т. е. гомеостатичность. В нашем исследовании образцы ржи Эра, Ильмень, Янтарная отнесены к категории высоко гомеостатичным (Hom = 32,1; 30,5; 22,1 соответственно). Линии Рушник 2, Красноярская универсальная, Берегиня имели средний уровень гомеостатичности (Hom = 17,5; 14,9; 14,4 соответственно), а образцы Новая Эра, Вавиловская, Ника 3 – низкий (Hom = 10,2; 10,1; 8,4 соответственно).

Н.А. Соболев (1980) при выявлении экологической стабильности использует два параметра:

1. Показатель относительная стабильность (St²) – позволяет определить значение признака и изменяется в рамках от нуля до единицы.

Стабильно высокий уровень содержания белка образуют образцы: Ильмень, Берегиня, Рушник 2, Янтарная.

2. По критерию отбора на стабильное содержание белка в зерне (A). Этот показатель используется на высокое качество и стабильность, его необходимо учитывать с показателем St². Чем он выше, тем более успешно у образца сочетается высокое качество и экологическая стабильность. Это характерно для образцов: Красноярская универсальная, Новая Эра, Рушник 2, Янтарная, Ильмень, Ника 3.

С точки зрения Б.А. Доспехова (1985), для выявления степени стабильности можно использовать коэффициент вариации (V). Наибольшее варьирование отмечено у образцов Новая Эра, Вавиловская, Красноярская универсальная, Берегиня. Наименьшее – у образцов Ника 3, Эра, Ильмень, Янтарная, Рушник 2.

На данном этапе рекомендовано и используется много разных приемов определения адаптивности, пластичности, стабильности. Но следует принимать во внимание, что большая часть из них имеет свои характерные особенности, не позволяющие оценить адаптивность сорта с помощью одного показателя. Только используя серию показателей можно получить достоверную оценку, причем первый ранг – самый высокий (рис. 2).



Рис. 2. Распределение образцов ржи по сумме рангов

Выводы

1. Для получения достоверной оценки сортов из использованных 9 методов необходимо применять индекс экологической пластичности (J_{ps}), фактор стабильности ($S.F.$), селекционную ценность сорта (Sc), показатель относительной стабильности сорта (St^2).

2. Наиболее приспособленными к возделыванию озимой ржи на зерно в Северо-Западном регионе являются образцы: Ильмень, Эра, Красноярская универсальная, Рушник 2, Янтарная, – способные давать относительно высокое и стабильное качество зерна не только в оптимальных, но и в неблагоприятных условиях.

Литература

1. Кедрова Л.И. Озимая рожь в Северо-Восточном регионе России. Киров: Изд-во НИИСХ Северо-Востока, 2000. 158 с.
2. Константинова О.Б., Кондратенко Е.П. Оценка урожайности и стабильности новых сортов озимой ржи в условиях лесостепной зоны Кемеровской области // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29, № 3. С. 7–9.
3. Шакирзянов А.Х., Лещенко В.А., Мызгаева Н.В., Колесникова Н.В. Адаптивность сортов озимой ржи селекции Башкирского НИИСХ // Достижения науки и техники АПК. 2010. № 1. С. 11–12.
4. Кобылянский В.Д., Сафонова И.В., Солодухина О.В., Анисков Н.И. Изучение и сохранение мировой коллекции ржи: метод. указания. СПб.: Изд-во ВИР, 2015. 44 с.
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 352 с.

6. Зыкин В.А., Мешков В.В., Санага В.А. Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчет и анализ: метод. рекомендации / Сиб. отд-ние ВАСХ-НИЛ. Новосибирск, 1984. 24 с.
7. Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties // Crop. Sci. 1966. Vol. 6, № 1. P. 36–40.
8. Lewis D. Gene-environment interaction: A relationship between dominance, heterosis, phenotypic stability and variability // Heredity. 1954. V. 8. P. 333–356.
9. Хангильдин В.В., Литвиненко Н.А. Гомеостатичность и адаптивность сортов озимой пшеницы // Научно-технический бюллетень Всесоюзного селекционно-генетического института. 1981. Вып. 1 (39). С. 8–14.
10. Соболев Н.А. Проблема отбора и оценки селекционного материала. Киев, 1980. С. 100–106.

Literatura

1. Kedrova L.I. Ozimaya rozh' v Severo-Vostochnom regione Rossii. Kirov: Izd-vo NIISH Severo-Vostoka, 2000. 158 s.
2. Konstantinova O.B., Kondratenko E.P. Ocenka urozhajnosti i stabil'nosti novyh sortov ozimoy rzhi v usloviyah lesostepnoj zony Kemerovskoj oblasti // Dostizheniya nauki i tehniki APK. 2015. T. 29, № 3. S. 7–9.
3. Shakirzyanov A.H., Leschenko V.A., Myzgaeva N.V., Kolesnikova N.V. Adaptivnost' sortov ozimoy rzhi selekcii Bashkirskogo NIISH // Dostizheniya nauki i tehniki APK. 2010. № 1. S. 11–12.
4. Kobylyanskij V.D., Safonova I.V., Soloduhina O.V., Anis'kov N.I. Izuchenie i sohranenie mirovoj kollekcii rzhi: metod. ukazaniya. SPb.: Izd-vo VIR, 2015. 44 s.

5. *Dospehov B.A.* Metodika polevogo opyta. M.: Agropromizdat, 1985. 352 s.
6. *Zykin V.A., Meshkov V.V., Sapega V.A.* Parametry `ekologicheskoy plastichnosti sel'skohozyajstvennyh rastenij, ih raschet i analiz: metod. rekomendacii / Sib. otd-nie VASHNIL. Novosibirsk, 1984. 24 s.
7. *Eberhart S.A., Russell W.A.* Stability parameters for comparing varieties // Ctop. Sci. 1966. Vol. 6, № 1. P. 36–40.
8. *Lewis D.* Gene-environment interaction: A relationship between dominance, heterosis, phenotypic stability and variability // Heredity. 1954. V. 8. P. 333–356.
9. *Hangil'din V.V., Litvinenko N.A.* Gomeostatichnost' i adaptivnost' sortov ozimoy pshenicy // Nauchno-tehnicheskij byulleten' Vsesoyuznogo selekcionno-geneticheskogo instituta. 1981. Vyp. 1 (39). S. 8–14.
10. *Sobolev N.A.* Problema otbora i ocenki selekcionnogo materiala. Kiev, 1980. S. 100–106.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по теме № 0662-2019-0006 «Поиск, поддержание жизнеспособности и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития, оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

