УДК 631.52:633.853.494

DOI: 10.25230/2412–608X–2020–3–183–45–50

Экологическая пластичность и стабильность сортов рапса озимого в условиях центральной зоны Краснодарского края

Л.А. Горлова,

зав. отделом, канд. биол. наук

Э.Б. Бочкарева,

гл. науч. сотрудник, д-р с.-х. наук

В.В. Сердюк,

стар. науч. сотрудник

Е.А. Стрельников,

зав. лабораторией, канд. биол. наук

ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК

Россия, 350038, Краснодар, ул. им. Филатова, д. 17

Тел.: (861) 275-79-10

E-mail: raps@vniimk.ru

Для цитирования: Горлова Л.А., Бочкарева Э.Б., Сердюк В.В., Стрельников Е.А. Экологическая пластичность и стабильность сортов рапса озимого в условиях центральной зоны Краснодарского края // Масличные культуры. – 2020. – Вып. 3 (183). – С. 45–50.

Ключевые слова: рапс озимый, урожайность семян, пластичность, стабильность, адаптивность, стрессоустойчивость, генетическая гибкость.

Создание новых генотипов рапса должно базироваться на оценке параметров экологической пластичности и стабильности. Цель исследований – сравнительная характеристика сортов рапса озимого селекции ВНИИМК по рассчитанным статистическим параметрам адаптивности, экологической пластичности, стабильности, стрессоустойчивости и генетической гибкости в условиях центральной зоны Краснодарского края, складывающихся в разные годы. Изучали сорта Элвис, Лорис, Сармат, Селегор, ВН-40173 (Оливин) и три перспективных сортообразца ВН-38630, ВН-40143, ВН-912. Показатели экологической пластичности и стабильности рассчитывали на основании урожайности семян сортов рапса озимого за шесть лет по методике S.A. Eberhart, W.A. Russell в редакции В.А. Зыкина. Для вычисления коэффициента линейной регрессии определяли индексы условий среды, характеризующие изменчивость условий, в которых выращивали сорт. Стрессоустойчивость и генетическую гибкость определя-

ли по уравнению A.A. Rossille, J. Hamblin в изложении А.А. Гончаренко. Выявление потенциальной продуктивности и адаптивности проводили по методике Л.А. Животкова. Наиболее благоприятные условия для роста и развития растений рапса озимого складывались в 2016 г., когда средняя урожайность сортов составила 5,13 т/га, удовлетворительные – в 2014 г. (4,21 т/га). Условия 2017 и 2019 гг. характеризовались как не удовлетворительные, поскольку индекс среды был отрицательным, средняя урожайность составила 3,65 и 3,64 т/га соответственно. Сравнительный анализ сортов и сортообразцов рапса озимого селекции ВНИИМК по параметрам экологической пластичности и стабильности в Краснодарском крае показал, что сорта Селегор со средней урожайностью семян по годам 4,69 т/га и Сармат с урожайностью 4,35 т/га являлись наиболее пластичными, адаптивными и генетически гибкими. К наиболее стабильным из изучаемых сортов относились ВН-912, Лорис и Элвис. Эти сорта обладали лучшей приспособленностью к ухудшению условий произрастания. Высокой устойчивостью к стрессовым факторам характеризовались сорта Оливин, ВН-912 и Лорис.

UDC 631.52:633.853.494

Environmental plasticity and stability of winter rapeseed varieties in conditions of the central zone of the Krasnodar region.

L.A. Gorlova, PhD in biology, head of the department

E.B. Bochkaryova, doctor of agriculture, chief researcher

V.V. Serdyuk, senior researcher

E.A. Strelnikov, PhD in biology, head of the lab.

V.S. Pustovoi All-Russian Research Institute of Oil crops (VNIIMK)

17, Filatova str., Krasnodar, 350038, Russia

Tel.: (861) 275-79-10

E-mail: raps@vniimk.ru

Key words: winter rapeseed, seed yield, plasticity, stability, adaptability, resistance to stress factors, genetic flexibility.

Development of new rapeseed genotypes must be based on evaluation of parameters of environmental plasticity and stability. The purpose of the research is comparative characteristic of winter rapeseed varieties bred at the V.S. Pustovoi All-Russian Research Institute of Oil crops (VNIIMK) by calculated statistic parameters of adaptability, environmental plasticity, stability, resistance to stress factors and genetic flexibility in conditions of the central zone of the Krasnodar region in the different years. We studied varieties Elvis, Loris, Sarmat, Selegor, VN-40173 (Olivin) and three promising samples VN-38630, VN-40143, and VN-912. Indicators of environmental plas-

ticity and stability were calculated using seed yields of winter rapeseed varieties for six years by S.A. Eberhart & W.A. Russell's method as revised by V.A. Zykin. To calculate a coefficient of linear regression we determined environment indexes characterizing variability of variety cultivation conditions. Resistance to stress factors and genetic flexibility we determined due to A.A. Rossille & J. Hamblin's equation as expounded by A.A. Goncharenko. Search of potential productivity and adaptability was conducted by L.A. Zhivotkova's method. The most favorable conditions for growth and development of winter rapeseed were formed in 2016, when the average yield of varieties was 5.13 t per ha, acceptable ones – in 2014 (4.21 t per ha). Conditions in 2017 and 2019 were characterized as non-satisfactory as environmental index was negative, average yield – 3.65 and 3.64 t per ha, respectively. Comparative analysis of varieties and samples of winter rapeseed of VNIIMK breeding by parameters of environmental plasticity and stability in the Krasnodar region showed the varieties Selegor with average seed yield by years 4.69 t per ha and Sarmat with yield 4.35 t per ha were the most plastic, adaptive, and genetically adaptable. VN-912, Loris and Elvis were the most stable among all the studied varieties. They possess the better adaptability to deterioration of cultivation conditions. The varieties Olivin, VN-912 and Loris possess high resistance to stress factors.

Введение. Озимый рапс в условиях ЮФО при благоприятной перезимовке может формировать высокий урожай семян. В 2019 г. в Краснодарском крае на площади 27,1 тыс. га урожайность этой культуры составила 2,53 т/га. В 2020 г. посевные площади в Краснодарском крае увеличились примерно на 50 % и достигли почти 40 тыс. га. Эта положительная тенденция позволяет надеяться на увеличение производства озимого рапса на Кубани, который является не только источником масличного сырья для масложировой промышленности края, но и экспортного потенциала в рамках федерального проекта «Экспорт продукции АПК».

Современные сорта и гибриды рапса озимого имеют достаточно высокий потенциал урожайности, который реализуется только наполовину. Существенная роль при создании новых генотипов рапса должна отводиться оценке параметров экологической пластичности и стабиль-

ности. Важнейшее требование, которому должны соответствовать перспективные сорта, – адаптивность, то есть способность противостоять неблагоприятному действию факторов среды, снижающих продуктивность и урожай [1].

Главная особенность селекции на адаптивность – контроль экологической пластичности и стабильности сортов. При этом под экологической пластичностью понимают среднюю реакцию сорта на изменение условий среды, а под стабильностью – отклонение эмпирических данных в каждом условии среды от этой средней реакции [2].

Важный показатель адаптивности и экологической пластичности – устойчивость сортов к стрессу. Чем выше стрессоустойчивость, тем шире диапазон приспособительных возможностей сорта [3; 4; 5].

Сорта рапса озимого селекции ВНИИМК характеризуются высокой потенциальной урожайностью – 4,0–5,0 т/га и адаптированы к возделыванию в регионах Южного и Северо-Кавказского федеральных округов. Создание более адаптивных сортов и гибридов рапса озимого, сочетающих высокий потенциал урожайности и пластичности к изменению экологических условий среды является существенным резервом увеличения производства маслосемян этой культуры.

Растения рапса озимого подвергаются воздействию разнообразных погодных условий, складывающихся в осенне-зимний и весенне-летний периоды их роста и развития. В связи с этим изучение экологической пластичности и стабильности разных сортов в определённых условиях произрастания очень актуально для этой культуры. Погодные условия в разные годы отличаются друг от друга. Особенно важен для рапса режим увлажнения во время осенней вегетации и температурный режим во время зимних месяцев (табл. 1).

Целью исследований являлась сравнительная оценка уже существующих и пер-

спективных сортов рапса озимого селекции ВНИИМК на адаптивность, экологическую пластичность, стабильность, стрессоустойчивость и генетическую гибкость в условиях центральной зоны Краснодарского края.

Материалы и методы. Исследования проводили в 2014–2019 гг. на полях экспериментальной базы ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК, расположенных в центральной зоне Краснодарского края, в конкурсном сортоиспытании сортообразцов рапса озимого. Изучали два уже известных сорта (Элвис и Лорис), два новых сорта (Сармат и Селегор), три перспективных сорта (ВН-38630, ВН-40143, ВН-912) и высокоолеиновый сорт ВН-40173 (Оливин). Посев, фенологические наблюдения, учёты, уборку проводили по методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [6].

Таблица 1

Погодные условия во время вегетации сортов рапса озимого селекции ВНИИМК в разные годы

Месяц	Годы					
	2013–2014	2014–2015	2015–2016	2016–2017	2017–2018	2018–2019
Температура воздуха, °С						
Август	25,3	27,1	26,3	27,2	26,3	25,7
Сентябрь	16,9	19,8	23,2	18,8	21,3	19,8
Октябрь	11,3	10,9	11,5	10,9	12,2	14,4
Ноябрь	9,0	4,8	9,8	7,0	6,4	4,1
Декабрь	0,8	4,5	4,4	-1,2	5,2	2,7
Январь	4,5	2,1	0,2	0,6	1,4	2,9
Февраль	5,8	3,5	7,1	1,4	3,0	3,1
Март	7,6	7,5	8,5	9,0	6,3	6,4
Апрель	14,0	11,1	14,7	12,1	13,8	11,9
Май	21,8	18,5	17,7	17,5	19,4	19,0
Июнь	23,5	23,0	23,4	22,0	23,5	25,3
Июль	25,4	25,2	25,8	24,8	26,2	23,0
Количество осадков, мм						
Август	34,6	0,0	63,2	28,1	11,2	9,1
Сентябрь	106,6	40,1	8,5	78,3	18,2	99,1
Октябрь	75,3	77,7	83,1	43,3	68,8	59,5
Ноябрь	35,7	17,0	78,0	93,8	49,9	63,0
Декабрь	70,8	65,1	53,0	66,4	77,2	67,4
Январь	41,0	87,1	90,8	21,3	27,0	89,0
Февраль	34,3	26,9	47,2	35,0	48,0	29,4
Март	79,8	42,5	29,2	52,2	94,0	59,0
Апрель	20,4	67,5	25,6	43,5	26,3	44,0
Май	55,0	72,2	62,2	116,0	23,9	53,0
Июнь	85,6	144,7	176,1	63,4	10,6	34,9
Июль	51,0	70,8	43,4	86,7	117,3	132,0

Показатели экологической пластичности и стабильности рассчитывали по методике S.A. Eberhart, W.A. Russell в редакции В.А. Зыкина [7]. Методика основана на вычислении коэффициента линейной регрессии bi (экологическая пластичность) и среднего квадратического отклонения от линии регрессии (S_i^2). Для вычисления коэффициента линейной регрессии определяли индексы условий среды (I_j), характеризующие изменчивость условий, в которых выращивали сорт. Стрессоустойчивость и среднюю урожайность в контрастных условиях определяли по уравнению А.А. Rossille, J. Hamblin в изложении А.А. Гончаренко [4]. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности основана на сравнении общей видовой адаптивной реакции на конкретные условия вегетации, которая реализована и отнесена к средней для сравниваемых сортов урожайности [8].

Результаты и обсуждение. Наиболее благоприятные условия для роста и развития растений рапса озимого складывались в 2016 г., когда средняя урожайность сортов составила 5,13 т/га, а индекс среды (I_j) был равен 10,6. Удовлетворительные условия сложились в 2014 г. ($I_j = 1,4$), а урожайность достигла 4,21 т/га. Условия 2017 и 2019 гг. можно характеризовать как не удовлетворительные, поскольку индекс среды был отрицательным ($I_j = -4,1$ и $-4,2$), а средняя урожайность 3,65 и 3,64 т/га соответственно. Условия 2015 и 2018 гг. складывались для рапса озимого не совсем благоприятно ($I_j = -1,88$ и $-1,86$). Урожайность семян в эти годы не превышала 4,0 т/га (табл. 2).

Коэффициент регрессии (bi) характеризует отзывчивость генотипа на улучшение условий выращивания. Чем выше этот показатель, тем более существенна экологическая пластичность сорта. В том случае, если bi значительно выше единицы, то сорт можно относить к интенсивному типу.

При коэффициенте регрессии, равном или близком к единице, принято считать,

что изменение урожайности сорта соответствует изменению условий выращивания. Расчёт коэффициента линейной регрессии показал, что наибольшей пластичностью обладает сорт Селегор, так как bi значительно выше единицы и равен 1,4. Поэтому Селегор можно отнести к сортам характеризующимся высокой отзывчивостью на улучшение условий возделывания. В неблагоприятные по погодным условиям годы он резко снижает потенциал урожайности.

Таблица 2

Урожайность, параметры пластичности и стабильности сортов и сортообразцов рапса озимого селекции ВНИИМК

Сорт	Урожайность семян, т/га, по годам						ΣY_i	Y_i	bi	S_i^2
	2014	2015	2016	2017	2018	2019				
Элвис	3,73	3,71	5,12	3,53	3,51	3,33	22,93	3,82	1,1	2,9
Лорис	3,73	3,92	4,84	3,51	3,84	3,43	23,27	3,87	0,9	2,8
Сармат	4,82	4,03	5,31	3,94	4,32	3,73	26,15	4,35	1,0	5,3
Селегор	5,23	4,72	6,01	4,32	4,14	3,74	28,16	4,69	1,4	11,7
ВН-38630	4,44	3,42	5,30	3,74	4,11	3,72	24,73	4,12	1,1	8,4
ВН-40143	3,92	3,53	5,33	3,42	4,00	3,81	24,01	4,00	1,1	7,9
ВН-912	4,22	4,32	5,02	3,84	4,03	4,11	25,54	4,25	0,7	2,2
ВН-40173 (Оливин)	3,82	3,74	4,23	3,14	3,23	3,44	21,60	3,60	0,6	4,2
$\Sigma \bar{Y}$	33,91	31,39	41,16	29,44	31,18	29,31	196,39	-	-	-
$\bar{Y}_j$	4,23	3,92	5,14	3,68	3,89	3,66	-	4,08	-	-
I_j	1,44	-1,88	10,64	-4,11	-1,86	-4,23	-	-	-	-

У сортов Элвис, Лорис, Сармат, ВН-38630, ВН-40143 показатель нормы реакции bi близок к единице и варьирует в пределах от 0,9 до 1,1. Это указывает на прямую зависимость урожайности от погодных условий.

Сорта ВН-912 и ВН-40173 (Оливин) характеризуются низкой пластичностью. Важной особенностью этих сортов является то, что в неблагоприятных или экстремальных условиях они снижают урожайность не так сильно, но в условиях интенсивного земледелия не стоит ожидать от них рекордной урожайности.

Отклонение фактических урожаев от теоретических, рассчитанных на основе средней урожайности и индекса среды, показывает меру стабильности сорта (S_i^2). Стабильность сорта тем выше, чем меньше отклонение. Самый низкий показатель

S_i^2 у сортов ВН-912, Лорис и Элвис (2,2–2,9). Поэтому можно предположить, что данные сорта обладают лучшей приспособленностью к ухудшению погодных условий. Следует отметить, что повышение пластичности сорта может способствовать снижению его стабильности. Эту зависимость мы и наблюдаем у сорта Селегор. Среднее квадратическое отклонение от линии регрессии у этого сорта самое высокое – 11,7 (табл. 2).

В условиях юга России важно подобрать стрессоустойчивые сорта рапса озимого, поскольку в этом регионе часто наблюдаются высокие температуры и дефицит влаги. Этот параметр определяется разностью урожайности сортов ($Y_2 - Y_1$) и показывает уровень их устойчивости к стрессовым условиям произрастания, имеет отрицательный знак. Стрессоустойчивость сорта тем выше, чем меньше разрыв между максимальной (Y_1) и минимальной (Y_2) урожайностями.

На основании рассчитанных данных установлено, что наиболее стрессоустойчивым сортом является ВН-40173 (Оливин) с показателем -1,1. Также высокой устойчивостью к стрессовым факторам обладают сорта ВН-912 и Лорис с показателями -1,2, и -1,4 соответственно (табл. 3).

Генетическая гибкость сорта – это компенсаторная способность, которая отражает среднюю урожайность сорта в контрастных условиях. Чем выше степень соответствия между генотипом сорта и факторами среды, тем выше эта величина, которая определяется по формуле: $(Y_2 + Y_1) / 2$. Сорта Сармат и Селегор характеризуются высокой генетической гибкостью с показателями 4,5 и 4,9 соответственно (табл. 3).

Для получения объективной информации об адаптивности сортов рапса озимого был рассчитан коэффициент адаптивности по методу Животкова [8]. Средний коэффициент адаптивности показывает продуктивные возможности сорта.

Таблица 3

Стрессоустойчивость и генетическая гибкость сортов и сортообразцов рапса озимого селекции ВНИИМК

ЦЭБ ВНИИМК, 2014–2019 гг.

Сорт	Урожайность, т/га		Стрессоустойчивость, $(Y_2 - Y_1)$	Генетическая гибкость, $(Y_2 + Y_1) / 2$
	max (Y_1)	min (Y_2)		
Элвис	5,12	3,33	-1,8	4,2
Лорис	4,84	3,43	-1,4	4,1
Сармат	5,31	3,73	-1,6	4,5
Селегор	6,01	3,74	-2,3	4,9
ВН-38630	5,30	3,42	-1,9	4,4
ВН-40143	5,33	3,42	-1,9	4,4
ВН-912	5,02	3,84	-1,2	4,4
ВН-40173 (Оливин)	4,23	3,14	-1,1	3,7

В наших исследованиях он варьировал от 89 до 116 %. За годы исследований (2014–2019 гг.) четыре сорта из восьми имели коэффициент адаптивности выше 100 % (рисунок).

Рисунок – Коэффициент адаптивности изучаемых сортов рапса озимого в условиях центральной зоны Краснодарского края, %

По абсолютному показателю адаптивности сорта расположились в следующей очередности: Селегор (116 %), Сармат (108 %), ВН-912 (106 %) и ВН-38630 (102 %). Менее адаптивными были сорта Оливин, Элвис, Лорис, ВН-40143 (89–100 %).

Выводы. Таким образом, сравнительный анализ сортов и сортообразцов рапса озимого селекции ВНИИМК по параметрам экологической пластичности и стабильности, выполненный в условиях центральной зоны Краснодарского края, позволяет выделять адаптивные сорта за

счёт расчётов статистических параметров различных механизмов экологической устойчивости.

Сорта Селегор со средней урожайностью семян по годам 4,69 т/га и Сармат с урожайностью 4,35 т/га являются наиболее пластичными и адаптивными. Также эти сорта характеризуются высокой генетической гибкостью.

Наиболее стабильными из изучаемого набора сортов, оказались ВН-912, Лорис и Элвис. Эти сорта обладают лучшей приспособленностью к ухудшению погодных условий произрастания.

Высокой устойчивостью к стрессовым факторам обладают сорта Оливин, ВН-912 и Лорис.

Список литературы

1. Рыбась И.А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур // Сельскохозяйственная биология. – 2016. – Т. 51. – № 5. – С. 617–626.
2. Пономарёва С.В. Оценка урожайности, экологической пластичности и стабильности сортообразцов гороха в условиях Нижегородской области // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований сельскохозяйственные науки. – 2018. – № 12. – С. 293–297.
3. Rossielle A.A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and nonstress environments // Crop Sci. – 1981. – V. 21 (6). – С. 943–946.
4. Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // Вестник РАСХН. – 2005. – № 6. – С. 49–53.
5. Сапега В.А., Турсумбаскова Г.Ш., Сапега С.В. Урожайность и параметры стабильности сортов зерновых культур // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 10. – С. 22–26.

6. Методика проведения полевых агротехнических опытов с масличными культурами / Под ред. В.М. Лукомца. – Краснодар, 2010. – 327 с.

7. Зыкин В.А., Белан И.А., Юсов В.С., Корнева С.П. Методики расчёта экологической пластичности сельскохозяйственных растений по дисциплине «Экологическая генетика». – Омск, 2008. – 36 с.

8. Животков Л.А. Морозова З.А., Секатуева Л.И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «урожайность» // Селекция и семеноводство. – 1994. – № 2. – С. 3–6.

References

1. Rybas' I.A. Povyshenie adaptivnosti v selektsii zernovykh kul'tur // Sel'skokhozyaystvennaya biologiya. – 2016. – Т. 51. – № 5. – С. 617–626.

2. Ponomareva S.V. Otsenka urozhaynosti, ekologicheskoy plastichnosti i stabil'nosti sortoobraztsov gorokha v usloviyakh Nizhegorodskoy oblasti // Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy sel'skokhozyaystvennyye nauki. – 2018. – № 12. – С. 293–297.

3. Rossielle A.A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and nonstress environments // Crop Sci. – 1981. – V. 21 (6). – S. 943–946.

4. Goncharenko A.A. Ob adaptivnosti i ekologicheskoy ustoychivosti sortov zernovykh kul'tur // Vestnik RASKhN. – 2005. – № 6. – С. 49–53.

5. Sapega V.A., Tursumbskova G.Sh., Sapega S.V. Urozhaynost' i parametry stabil'nosti sortov zernovykh kul'tur // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2012. – № 10. – С. 22–26.

6. Metodika provedeniya polevykh agrotekhnicheskikh opytov s maslichnymi kul'turami / Pod red. V.M. Lukomtsa. – Krasnodar, 2010. – 327 s.

7. Zykin V.A., Belan I.A., Yusov V.S., Korneva S.P. Metodiki rascheta ekologicheskoy plastichnosti sel'skokhozyaystvennykh rasteniy po distsipline «Ekologicheskaya genetika». – Омск, 2008. – 36 s.

8. Zhivotkov L.A. Morozova Z.A., Sekatueva L.I. Metodika vyyavleniya potentsial'noy produktivnosti i adaptivnosti sortov i selektsionnykh form ozimoy pshenitsy po pokazatelyu «urozhaynost'» // Seleksiya i semenovodstvo. – 1994. – № 2. – С. 3–6.

Получено: 25.06.2020 Принято: 05.10.2020
Received: 25.06.2020 Accepted: 05.10.2020