

## Селекция на нискостъблени инбредни линии ръж (*Secale cereale* L.)

Надя Даскалова<sup>1</sup>, Пенко Спецов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Технически университет – Варна, Катедра „Растениевъдство”

<sup>2</sup>Аксаково 9154, област Варна

E-mail: [nadia.daskalova@abv.bg](mailto:nadia.daskalova@abv.bg)

### Резюме

Анализирано е варирането по височина на растенията, дата на изкласяване, брой зърна в изолиран клас и тегло на семената в две последователни генерации ( $S_3$  и  $S_4$  растения), получени чрез отбор на ниско стъбло в пет популации ръж. Самофертилността е оценена чрез сравняване броя на зърната под изолатор със семена в класове, формирани при кръстосано опрашване, в процент. От изследваните 18 потомства в  $S_4$  поколение, осем (44.4%) проявяват висок завръз под изолатор (95.4-129 %). С най-високо стъбло от 134 cm е форма №10-1, съставляваща най-отдалечения клъстер. Като перспективни линии се очертават три образеца, от които два са ниски (99-101 cm), а №17-2 формира най-едрите и тежки семена. Ниските им коефициенти на вариране предполагат ускорена селекция на нискостъблени и самофертилни инбредни линии ръж.

**Ключови думи:** *Secale cereale*; ниско стъбло; самофертилност; инбредни линии; селекционни признаци

## Breeding of short-stemmed inbred lines of rye (*Secale cereale* L.)

Nadia Daskalova<sup>1</sup>, Penko Spetsov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Technical University of Varna, Department of Plant Production, 9010

<sup>2</sup>Aksakovo 9154, region Varna

\*E-mail: [nadia.daskalova@abv.bg](mailto:nadia.daskalova@abv.bg)

### Citation

Daskalova, N., & Spetsov, P. (2021). Breeding of short-stemmed inbred lines of rye (*Secale cereale* L.). *Rastenievadni nauki*, 58(3) 42-54 (Bg).

### Abstract

Variation in plant height, heading date, seed number and weight in isolated spike were analyzed in two consecutive generations ( $S_3$  and  $S_4$  plants), obtained after short-stemmed selection in five rye populations. The self-fertility was estimated by comparison the bagged seed number to grains in spike under open pollination, in percent. Of the 18 offsprings studied in the  $S_4$  generation, eight ryes (44.4%) showed very high seedset under the isolator (95.4-129%). The highest stem of 134 cm belonged to a form №10-1, constituting the most distant cluster. Three progenies emerged as perspective lines, two of which had low stem (99-101 cm), and the third one No.17-2 formed the largest and heaviest seeds. Their low coefficients of variation implied the rapid production of low-statured and self-fertile inbred rye lines.

**Key words:** *Secale cereale*; short stem; self-fertility; inbred lines; breeding traits

## ВЪВЕДЕНИЕ

Ботаническото проучване на ръжта (*Secale cereale* L.) започва в началото на XVIII век от шведския изследовател Карл Линей и продължава до сега по отношение на видовия състав на род *Secale* L. Повечето от ботаниците са единодушни за присъствието на 3 до 8 вида в природата (Daskalova & Spetsov, 2020). У нас се срещат два, *Secale strictum* и *S. sylvestre*, от които първият вид се разделя на 3 подвида, *ssp. balcanum*, *rhodopaeum* и *strictum* (Spetsov, 2013). Културната ръж (*S. cereale ssp. cereale*) е едногодишно тревисто растение с диплоиден хромозомен брой ( $2n=14$ , RR), за разлика от изкуствено създадените тетраплоидни форми ръж ( $2n=28$ , RRRR).

Ръжта се отглежда за зърно, от което се получава хляб или фураж за животните. Може да се използва за получаване на алкохол и биогорива. Сламата ѝ служи в животновъдството и леката промишленост. Ръжта е една от най-невзискателните житни култури. Тя образува по-мощна и по-дълбока коренова система, расте по-бързо от другите житни и служи за паша през есента и рано през пролетта (Daskalova & Spetsov, 2020). Тя е една от основните култури, подходяща за условията на биологично земеделие, което спомага за увеличаване на производството в Европа (Valchinova, 2018). Ръжта е генетичен източник за подобряване на хлебната и твърдата пшеница (Crespo-Herrera et al. 2017), както и за създаване на октаплоидни и хексаплоидни форми тритикале (Mergoum et al., 2019). Проучванията на създадени и адаптирани към местните условия образци спомагат за ефективното им включване в селекцията за създаване на сортове ръж с устойчивост на болести и повишена зимоустойчивост.

Инбридингът е класическо направление в селекцията - процес на принудително самоопрашване на кръстосаноопрашващи се растения за преминаването им към хомозиготно състояние (Schlegel, 2014). Като резултат се получават инбридни линии ръж (ИЛР) с ценни за селекцията качества (ниско стъбло, дълъг клас, устойчивост на болести, и др.) и потенциал за висок хетерозисен ефект след кръстосване. В процеса на самоопрашване се наблюдава депресия, което е понижаване на биологичната способност

на растенията (слаб растеж, понижена фертилност, спаружени семена, тънко стъбло, нисък добив). След 7та генерация на самоопрашване се определя общата комбинативна способност на линиите за създаване на хибриди. Според Wolski (1970), депресията при ръжта е най-силно изразена в третото поколение. Поносимостта към самоопрашване се дължи на мутации в локусите за несъвместимост към самооплождане (Egorova et al., 2000; Voylovkov, 2007). ИЛР са базови материали за генетични (Tikhenko et al., 2008; Miedaner et al., 2011; Salmanowicz et al., 2014) и селекционни проучвания (Goncharenko et al., 2015; Czyczylo-Mysza & Myśków, 2017; Tikhenko et al., 2017).

Специален интерес за селекцията представляват генетично отдалечените, нискостъблени и високодобивни ИЛР с изразена зимоустойчивост (Goncharenko et al., 2015). Създаването им обхваща два етапа: 1) интензивна фенотипна селекция по признаци с висока наследяемост и 2) отбор на генотипове с висока обща и специфична комбинативна способност (Geiger & Miedaner, 2009). Авторите подчертават, че отборът на самоопрашващи се растения се извършва основно по морфологични признаци. Кофициентите за наследяемост на признаци като височина на растенията, маса на 1000 семена, число на падане и съдържанието на скорбяля имат съществено значение във втория етап.

Целта на изследването е фенотипен анализ на инбридни потомства, получени чрез самоопрашване на отбрани нискостъблени генотипове в изходни популации ръж. Изследва се варирането по основни селекционни признаци в две последователни генерации ( $S_3$  и  $S_4$  растения) за оценка на самофертилността на елитни растения, техните фамилии, както и групирането им по морфология и фертилност на класа в  $S_4$  поколение.

## МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

Експериментът стартира с 15 образеца ръж: десет от ген-банката на ИРГР „К. Малков“-Садово, колекционирани от различни места в страната (Valchinova, 2015), 3 форми от Гатерслебен (Германия) и две инбридни линии, Българска нискостъблена ръж и Лозен-14, получени от В.

Късовска (Kussovaska, 2011). През първите две години, вследствие на приложения отбор за ниско стъбло (<150 cm), няколко от популациите отпаднаха (Daskalova et al., 2021). Така, изследваните потомства в  $S_3$ - $S_4$  генерации произхождат само от 5 образца (Табл. 2). През 2019 г. растенията от  $S_3$  се отглеждат в полски опит (ТУ-Варна) от две повторения (общо 20 растения) с междуредово разстояние от 40 cm и вътрередово от 10 cm. Същият брой растения се реколтират и през следващата година, без повторения, при същите разстояния в редове. Най-продуктивното ниско растение от образец/потомство става елитно за получаване на следващата генерация. Сеитбата се извършва ръчно (в средата на месец октомври), на участък с грахов предшественик, без торене и за двете години, при песъкливо-глинеста почва.

Грижите за растенията са еднакви за двете стопански години: растителна защита срещу насекомни вредители, ръчно плевене и окопаване срещу плевели, привързване и изолиране по 2 до 3 класа от първите 5 броя на отбрано (елитно) растение в предходната година. Отбрани са 3-4 ниски растения (<150 cm) в потомство, с регистриране на датата на изкласяване, в дни от 1ви май. Преди цъфтеж върху класовете се поставят хартиени изолатори, които се отстраняват по-късно, след оформяне на завръза. В пълна зрялост всички растения се прибират и измерват за височина на стъблото (ВР), с класа на най-високия брат. През 2019 г. се анализират височината, дата на изкласяване (ДИ), брой зърна в изолиран клас (БЗИК) и тегло на зърната в изолиран клас (ТЗИК). През 2020 г. признаците са 5, като към изброените вече четири се добавя брой зърна от неизолиран клас (БЗНК, от два свободно опрашващи се класа в растението). Всички признаци, с изключение на ВР, се измерват и осредняват на изолираните класове в елитните растения. Фертилноста през 2020 г. се определя чрез броя на формираните зърна под изолатор, съпоставен към броя на семената в неизолиран (свободно опрашващ се) клас, в процент.

Метеорологичните фактори за годините на изпитване са представени в Таблица 1 по данни на НИМХ към БАН в <https://www.stringmeteo.com/>. Температурите през октомври за двете стопански години са оптимални за покълване

на семената, но са в съчетание с лимитираща влага през зимните месеци и липса на сняг (особено за есенно-зимния период на 2019/2020 г.). Валежите през 2019 г. не надвишават 284 l/m<sup>2</sup>, а през 2020 са още по-малко – 241.7 l/m<sup>2</sup>. Трите основни фактора (средномесечна, месечна минимална температура и общото количество валежи), характеризират условията като леко до средно стресови за развитието на растенията. Във Варна валежите са само 55% от средните за последните 10 години, или едва 339.5 l/m<sup>2</sup>. Валежите през 2019 г. в страната са най-слабите за последните 8 години (<https://www.moreto.net/novini.php?n=411834>; <http://agroplovdiv.bg/67656>; – по данни на НИМХ към БАН в <https://www.stringmeteo.com/>). Преди жътвата през 2020 г. количеството на валежите е двойно по-високо (102.7 l/m<sup>2</sup>) спрямо предходната година за същият период, освен това съставлява 42.5% от общото количество дъжд в периода на изследване (октомври-юни 2019/2020 г.).

Приложен е дисперсионен анализ за всеки признак чрез използване на статистическа програма Develve (<http://www.develve.net/>). Варирането се регистрира чрез размаха, средната аритметична (М) и вариационния коефициент (ВК) в процент, съпоставяйки параметрите на двете повторения през 2019 г. за изследване на разликата (Д) при  $p < 0.05$ . През втората година сравнението е между фамилиите, с допълнително изчисляване на  $LSD_{5\%}$  (минимална гранична разлика) по Snedecor & Cochran (1980). Използван е клъстерен анализ (IBM SPSS Statistics, IBM Corp., USA) на потомствата в  $S_4$  по ВР, ДИ, БЗИК и ТЗИК. Направено е фенотипно групиране по големина на семената.

## РЕЗУЛТАТИ

### Фенотип на инбредните потомства в $S_3$ през 2019 г.

Средната (М) височина на стъблото (ВР) на популацията като цяло е 120 cm в първото и 115 cm във второто повторение, при еднакви вариационни коефициенти (ВК) от 9.2% (Табл. 2). Варирането чрез минималните и максимални стойности е в границите 104-129 cm за двете повторения (п). Най-ниски са растенията в №4-2 (размах от 27 cm) и №9-2 (размах от 24 cm), 81

**Таблица 1.** Климатичните условия през вегетацията  
**Table 1.** Climatic conditions of cultivation

Год/Месец Year/Month	Средномесечна t°C/ Average for month t°C	Макс. t°C/ Max t°C	Мин. t°C/ Min t°C	Валежи, l/m <sup>2</sup> / Rainfall, l/m <sup>2</sup>
2018/2019				
X	15.9	26.2	4.3	19.5
XI	8.5	18.2	-5.9	66.7
XII	3.8	13.2	-8.3	27.6
I	3.5	13.0	-5.2	21.0
II	4.8	16.4	-5.6	10.6
III	9.0	23.7	-0.9	8.6
IV	10.7	24.0	3.0	29.9
V	17.0	27.8	8.2	50.4
VI	23.9	34.4	15.8	49.5
Общо количество валежи/ Total Rainfall, l/m <sup>2</sup>				283.7
2019/2020				
X	16.2	28.0	6.5	21.1
XI	10.5	14.7	6.3	1.5
XII	7.8	20.6	-1.8	26.5
I	4.4	16.7	-3.8	0.9
II	7.1	21.0	-5.0	21.2
III	9.1	23.1	-0.8	33.4
IV	11.0	24.5	1.1	4.2
V	16.0	31.7	7.0	30.2
VI	20.6	33.3	9.9	102.7
Общо количество валежи/ Total Rainfall, l/m <sup>2</sup>				241.7

и 80 cm, съответно. Вторият номер е без поникнали растения в 2-ро п. Ниски растения има и в №8-1 (M=101 и 94 cm) с най-голям ВК (21.8%) в опита след №1-1 (23.1%). Четири потомства се характеризират с големи ВК (>15%): №2-1 в двете п., №4-2 в 2-ро п., №10-1 в 1-во п., и №12-1 в 2-ро п. По отношение на разликите (Д) между средните аритметични, при три форми №10-1, 12-1 и 17-2 те са достоверни (Д ≥ 25 cm). Други девет (52.9%) потомства (№3-2, 5-1, 6-2, 7-2, 11-2, 13-3, 14-3, 15-1 и 16-3) за ВК (<9.0%) и Д (<25 cm) не показват значителна изменчивост по ВР. От тях най-висока е №16-3 (M=129 cm средно от двете п.), а най-ниска е №7-2 (средна M=110.5 cm), с изключение на №5-1.

Средната аритметична на датата на изкласяване за популацията като цяло е 7.5 дена от 1-ви

май в 1-во п. и 8 дена в 2-ро п. при ВК от 26.6% и 22.3%, съответно (Табл. 2). Варирането е от 1 ден (№11-2, 15-1 и 17-2) до 23 дена за №8-1 във второ п. Девет потомства №1-1, 3-2, 4-2, 6-2, 10-1, 11-2, 15-1, 16-3 и 17-2 дават ВК, по-големи от 26.6%. В пет фамилии липсва вариране при наличието само на 2 растения (3-то отпада поради загуба на етикета). Най-рано изкласяват №15-1 и 17-2 (M=2 май), а най-късно-№8-1 на 19 май. Ниски ВК се наблюдават при четири потомства.

Средните аритметични за брой зърна в изолиран клас (БЗИК) са 44 и 39 за 1-во и 2-ро п., съответно, при вариране от 0 до 92 зърна в първо п. (Табл. 3). За отбелязване е, че максималният брой зърна е формиран в №1-1, чийто ниски растения в 2-ро п. са стерилни. Това е единственият случай в опита на отбрани ни-

**Таблица 2.** Вариране в инбредни S<sub>3</sub> генерации ръж през 2019 г.  
**Table 2.** Variation in inbred S<sub>3</sub> rye generations during 2019

Каталог №/ Catal. No	Сел. №/ BreedNo	Височина на растенията/ Plant height										Дата на изкласяване/ Heading date									
		1во повторение/ 1 <sup>st</sup> repetition					2ро повторение/ 2 <sup>nd</sup> repetition					1во повторение/ 1 <sup>st</sup> repetition					2ро повторение/ 2 <sup>nd</sup> repetition				
		Мин/ Min	Мак/ Max	М	ВК/ CV	Д/ D	Мин/ Min	Мак/ Max	М	ВК/ CV	Д/ D	Мин/ Min	Мак/ Max	М	ВК/ CV	Д/ D	Мин/ Min	Мак/ Max	М	ВК/ CV	Д/ D
V1BM0176	1-1	88	155	131	23.1	100	137	118	13.4	13.0 <sup>ns</sup>	5	11	7.3	39.7	4	6	5	24.0	2.3 <sup>ns</sup>		
V1BM0176	2-1	110	160	135	18.6	110	158	138	18.3	3.0 <sup>ns</sup>	4	5	4.5	13.3	5	8	6.3	22.2	1.8 <sup>ns</sup>		
Милл. Mill.	3-2	107	122	114	6.8	108	123	115	7.0	1.0 <sup>ns</sup>	4	6	5	24.0	4	12	7.3	50.7	2.3 <sup>ns</sup>		
A9E1388	4-2	68	95	81	7.0	81	110	94	15.5	13 <sup>ns</sup>	12	26	19	42.6	15	16	15.5	4.5	3.5*		
A9E1388	5-1	107	115	107	8.9	-	-	-	-	-	7	9	8	15.5	-	-	-	-	-		
A9E1388	6-2	112	124	118	4.8	111	120	115	3.9	3.0 <sup>ns</sup>	5	10	7	38.6	4	5	4.5	33.3	2.5 <sup>ns</sup>		
A9E1388	7-2	108	112	112	3.5	103	115	109	6.6	3.0 <sup>ns</sup>	6	12	9	0	6	7	6.5	0	2.5 <sup>ns</sup>		
A9E1389	8-1	98	110	101	7.9	67	110	94	21.8	7.0 <sup>ns</sup>	19	19	19	0	15	23	19	24.2	0 <sup>ns</sup>		
A9E1389	9-2	67	91	80	13.1	-	-	-	-	-	6	10	8	19.5	-	-	-	-	-		
A9E1389	10-1	148	171	160	15.8	117	126	121	3.8	39.0*	2	3	2.5	0	6	10	8	28.8	5.5*		
A9E1389	11-2	115	128	124	6.1	108	124	115	7.0	9.0 <sup>ns</sup>	1	6	4.3	67.4	3	6	4.3	34.9	0 <sup>ns</sup>		
A9E1389	12-1	122	135	129	5.1	84	114	99	15.2	30.0*	10	15	12.3	20.3	10	11	10.5	0	1.8 <sup>ns</sup>		
A9E1392	13-3	100	118	112	5.2	115	127	119	5.6	7.0 <sup>ns</sup>	3	4	3.5	0	4	6	5.3	22.6	1.8 <sup>ns</sup>		
A9E1392	14-3	121	130	128	4.8	116	127	122	4.2	6.0 <sup>ns</sup>	4	7	5.7	26.3	4	6	5.3	24.5	0.4 <sup>ns</sup>		
A9E1392	15-1	123	133	124	7.3	116	124	121	3.6	3.0 <sup>ns</sup>	1	3	2	50.0	3	6	4.3	34.9	2.3 <sup>ns</sup>		
A9E1392	16-3	123	145	132	8.7	121	130	126	3.7	6.0 <sup>ns</sup>	4	11	8	45.0	10	14	11.7	18.0	3.7*		
A9E1392	17-2	131	157	148	9.9	110	132	123	8.1	25.0*	1	3	2	50.0	6	8	7	11.4	5.0*		
	М	109	129	120	9.2	104	125	115	9.2	5 <sup>ns</sup>	5.5	9.4	7.5	26.6	6.6	9.6	8.0	22.3	0.5 <sup>ns</sup>		

Милл-Милениум, Mill.-Millenium<sup>1</sup>, -отчита се от 1 май в дни, counted from May 1<sup>st</sup> in days; Мин-минимална стойност, minimum value; Мак-максимална стойност, Maximum value; М-средна аритметична, M-mean; ВК-вариационен коефициент в %, CV-coefficient of variation in %; Д-разлика м/у средните аритметични, D-difference between means; \*-достойност при p<0.05, significance at p<0.05 ns-няма доказаност, not significant.

**Таблица 3.** Вариране в инбредни S<sub>3</sub> генерации ръж през 2019 г.  
**Table 3.** Variation in inbred S<sub>3</sub> rye generations during 2019

Сел. №/ Breed No.	Брой зърна в изолиран клас/ Seed number in isolated spike										Тегло на зърната в изолиран клас/ Grain weight in isolated spike									
	1 <sup>во</sup> повторение/ 1 <sup>st</sup> repetition					2 <sup>ро</sup> повторение/ 2 <sup>nd</sup> repetition					1 <sup>во</sup> повторение/ 1 <sup>st</sup> repetition					2 <sup>ро</sup> повторение/ 2 <sup>nd</sup> repetition				
	Мин Min	Мак Max	М M	ВК CV	Д D	Мин Min	Мак Max	М M	ВК CV	Д D	Мин Min	Мак Max	М M	ВК CV	Д D	Мин Min	Мак Max	М M	ВК CV	Д D
1-1	3	92	54.1	60.8	0	0	0	0	0	54.1*	2.1	3.06	2.6	16.2	0	0	0	0	0	2.6*
2-1	36	70	48.3	27.7	36	59	45.4	17.8	2.9 <sup>ns</sup>	0.9	2.07	1.36	37.5	0.86	1.81	1.27	28.3	0.09 <sup>ns</sup>		
3-2	12	61	32.2	68.9	6	77	36.3	97.8	4.1 <sup>ns</sup>	0.82	1.66	1.36	34.6	0.2	1.89	0.92	91.3	0.44 <sup>ns</sup>		
4-2	13	45	32.2	42.9	25	58	42.8	33.2	10.6 <sup>ns</sup>	0.34	1.18	0.84	48.8	0.73	1.66	1.13	34.5	0.29 <sup>ns</sup>		
5-1	57	86	68	25.1	-	-	-	-	-	1.46	2.2	1.74	23.0	-	-	-	-	-	-	-
6-2	61	78	70.1	8.6	47	89	67.5	30.2	2.6 <sup>ns</sup>	1.2	1.74	1.48	14.2	0.89	2.48	1.62	42.6	0.14 <sup>ns</sup>		
7-2	45	66	59	15.3	49	53	51	6.9	8.0 <sup>ns</sup>	1.17	1.58	1.32	13.6	0.99	1.08	1.04	0	0.28 <sup>ns</sup>		
8-1	0	8	3.3	X	2	16	8.8	68.2	5.5 <sup>ns</sup>	0	0.19	0.08	X	0.16	0.36	0.29	37.9	0.21 <sup>ns</sup>		
9-2	3	42	14.2	X	-	-	-	-	-	0.04	0.75	0.24	X	-	-	-	-	-	-	-
10-1	67	67	67	0	51	73	63.3	20.5	3.7 <sup>ns</sup>	2.62	2.66	2.64	0	1.09	2.05	1.54	27.3	1.1*		
11-2	0	13	3.7	X	4	36	13	X	9.3 <sup>ns</sup>	0	0.37	0.1	X	0.1	0.93	0.35	X	0.25 <sup>ns</sup>		
12-1	59	82	66.6	15.3	29	38	33.5	0	33.1*	0	2.3	1.25	68.0	0.66	0.86	0.76	0	0.49 <sup>ns</sup>		
13-3	15	33	23.3	45.5	20	49	37.5	30.7	14.2 <sup>ns</sup>	0.44	0.96	0.68	38.2	0.57	1.25	1.13	41.6	0.45 <sup>ns</sup>		
14-3	38	59	45.8	19.7	32	58	44.7	19.0	1.1 <sup>ns</sup>	1.82	2.19	1.96	7.7	1.59	2.34	1.96	15.8	0 <sup>ns</sup>		
15-1	52	62	56.5	8.7	21	59	39.9	33.3	16.6*	1.1	2.37	1.74	36.2	1.36	1.87	1.64	13.4	0.1 <sup>ns</sup>		
16-3	52	63	57	8.2	44	59	50.8	11.6	6.2 <sup>ns</sup>	1.9	2.39	2.14	8.9	1.48	2.27	1.9	15.3	0.24 <sup>ns</sup>		
17-2	47	60	53.3	9.6	32	78	52.1	29.8	1.2 <sup>ns</sup>	2.1	2.97	2.47	15.8	1.4	1.68	1.46	13.7	1.01*		
М	33	58	44	38.6	27	54	39	33	5 <sup>ns</sup>	1.06	1.8	1.4	39	0.8	1.5	1.1	31	0.3 <sup>ns</sup>		

Мин-минимална стойност, minimum value; Мак-максимална стойност, Max-maximum value; М-средна аритметична, M-mean; ВК-вариационен коефициент в %, CV-coefficient of variation in %; Д-разлика м/у средните аритметични, D-difference between means; \*-достовърност при p<0.05, significance at p<0.05; ns-няма доказаност, not significant; X-ВК>100%, X-CV>100%.

ски и стерилни растения, ако изключим №8-1 с  $M=3.3$  зърна. ВК са много големи, като при №8-1, 9-2 и 11-2 превишават 100%, а при №1-1, 3-2, 4-2 и 13-3 те са по-големи от средната стойност на ВК (35.8%) от двете повторения. Останалите 10 потомства (№2-1, 5-1, 6-2, 7-2, 10-1, 12-1, 14-3, 15-1, 16-3 и 17-2) проявяват самофертиленост в отбраните ниски растения, варираща при средните аритметични от 33.5 до 70.1 зърна (Табл. 3). С най-висока плодovitост след самоопрашване е №6-2, който дава средно от 67 до 70 семена, и  $D=2.6$  която е сравнително ниска стойност. Високо фертилен е също №10-1 чийто добив варира от 63 до 67 семена при 5 отбрани растения от двете повторения, като изключваме №5-1 (без растения в 2-ро п.). Стабилни по завръз са и №14-3 и 17-2 при които  $D=1.1$  и  $1.2$ , съответно, са най-ниските стойности.

Фенотипната проява на теглото на зърната в изолирания клас (ТЗИК) следва очертаната тенденция в БЗИК- растенията с голям брой зърна под изолатор дават по-големи стойности на ТЗИК (Табл. 3). Семената добити в 1-во п. ( $M=1.41g$ ) са по-тежки от тези формирани в 2-ро ( $M=1.13g$ ). Има и изключения: №6-2 дава висок ВК=42.6% в 2ро п., което е по-голяма стойност от средния ВК за двете повторения (35.0%). Разликата ( $D=1.1^*$ ) при №10-1 е достоверна, което е признак за различия между растенията в изхранване на семената. Подобна е картината и при №17-2. Най-леки са семената на №8-1 ( $M=0.08g$ ) и №11-2 ( $M=0.1g$ ), а най-тежки са на №10-1 от 2.64 g в 1-во п. Това потомство не е фенотипно изравнено, поради достоверната разлика от  $1.1^*g$  между повторенията. Същата характеристика се отнася и за № 17-2, където  $D=1.01^*$ . От 10те самофертилни фамилии, три (№7-2, 14-3 и 16-3) са изравнени по фенотип, с минимално вариране и незначителни разлики между повторенията. От тях, най-нисък е №7-2 с височина от 110 cm.

#### Фенотип на инбредните форми в $S_4$

Отгледаните потомства през тази година са 18 бр. поради нова фамилия с произход от елитно растение в №12. Растенията през 2019 дават различия по въсячен налеп на растителните части. Отбрано ниско растение с отсъствие на въсячен налеп продуцира потомство №12-2. Средната височина на растенията в популация-

та е 108 cm (Табл. 4). Най-ниски под 100 cm са 4 фамилии, №2-1, 8-1, 9-2 и 12-2. Други осем потомства достигат на височина до 110 cm. С най-голям ВК (31%) е №8-1. Най-слабо е варирането (под и около 8.9%) в 11 потомства, №2-1, 3-2, 4-2, 5-1, 6-2, 7-2, 12-2, 14-3, 15-1, 16-3 и 17-2.

Най-рано изкласяват растения от №10-1, 11-2, 15-1 и 17-2, между 3 и 5 май. Варирането при тях е голямо (ВК=20%-46%). С изключение на №8-1, най-слабо е варирането в №4-2 (ВК=4.7%) с  $M=12$  май. Най-късни са четири фамилии, №8-1, 12-1, 12-2 и 13-3 ( $M=14-15$  май). Разликата между най-ранните и най-късните е доказана ( $LSD_{5\%}=4.5$ ) (Табл.4).

Средният брой зърна в изолиран клас е 41. Най-голям брой между 57 и 73 семена в изолиран клас дават 7 потомства (№1-1, 2-1, 4-2, 6-2, 7-2, 14-3 и 17-2). Между тях няма доказани разлики. Най-зле по отношение на фертилеността е №8-1, който дава средно 3 семена в клас и стерилни растения. Малко по-добре е №9-2 с  $M=15$  зърна и ВК=0 поради две измерени растения. Варирането по БЗИК е по-силно в сравнение с това на ВР и ДИ. Най-слабо е варирането в №4-2 и №6-2, 8.6% и 4.8%, съответно.

Двете потомства №8-1 и №9-2 са също най-зле и по ТЗИК, формирайки най-ниските стойности по признака,  $M=0.07$  и  $0.19g$ , съответно (Табл. 4). Седемте продуктивни потомства по БЗИК дават и най-високите стойности на ТЗИК в опита. С най-силно проявление (2.35 g и ВК=7.2%) е №17-2, формирайки 57 зърна в изолиран клас. В седем фамилии варирането е по-голямо от средната стойност за популацията (ВК=35%), в границите 48% - >100%. Формите дават семена, които визуално по големина се разпределят в три категории: дребни, средно едри и едри (Табл. 5). Последните две групи са най-големите: тази на средно едрите включва №1-1, 2-1, 4-2, 10-1, 11-2, 12-2, 13-3 и 16-3); а третата (едрите) обхваща №3-2, 5-1, 6-2, 7-2, 14-3, 15-1 и 17-2). По форма на зърната №5-1 се различава от всички образци, образувайки едри и дълги семена (дължината на единично зърно надвишава ширината около 4 пъти и повече) (Фиг. 1).

Клъстерният анализ групира растенията през 2020 г. в три групи на основата на 4 признака (ВР, ДИ, БЗИК, ТЗИК). Първият клъстер се състои от 6 линии (№12-1, 13-3, 3-2, 9-2, 12-2

**Таблица 4.** Вариране в инбредни S<sub>4</sub> генерации ръж през 2020 г.  
**Table 4.** Variation in inbred S<sub>4</sub> rye generations during 2020

Сел. №/ Breed No	Височина на растенията/ Plant height			Дата на изкласяване/ Heading date			Брой зърна в изолиран клас/ number in isolated spike			Тегло на зърната в изолиран клас/ Grain weight in isolated spike						
	Мин/ Min	Мак/ Max	ВК/ CV	Мин/ Min	Мак/ Max	ВК/ CV	Мин/ Min	Мак/ Max	ВК/ CV	Мин/ Min	Мак/ Max	ВК/ CV				
1-1	88	122	13.9	5	12	4.9	28	76	49	59	76	34	0.65	2.5	1.6	48
2-1	92	108	6.8	6	8	14.3	51	62	14.3	58	62	10.5	1.25	1.51	1.37	9.5
3-2	93	115	8.3	6	8	14	6	43	14	28	43	58	0.2	1.63	1.01	61
4-2	100	110	4.8	12	13	4.7	56	68	4.7	63	68	8.6	1.58	1.85	1.74	6.9
5-1	89	111	7.6	6	13	4.0	3	62	4.0	39	62	57	0.04	1.32	0.81	58
6-2	104	123	4.7	8	10	11	69	76	11	73	76	4.8	1.3	1.59	1.45	9.7
7-2	108	121	4.7	5	7	16.7	37	73	16.7	62	73	27	0.7	1.78	1.34	35
8-1	52	108	31	15	16	3.8	0	8	3.8	3	8	X	0	0.13	0.07	0
9-2	94	95	0	-	-	-	11	19	-	15	19	0	0.14	0.24	0.19	0
10-1	104	153	11.7	2	5	4.6	0	48	4.6	24	48	X	0	1.63	1.04	87
11-2	90	141	16.6	4	6	2.0	25	43	2.0	36	43	21.4	0.51	0.88	0.65	31
12-1	91	110	9.4	11	17	2.1	8	53	2.1	24	53	X	0.2	1.17	0.54	X
12-2	83	92	4.7	12	17	1.9	6	43	1.9	22	43	68	0.15	1.08	0.57	65
13-3	86	107	12.1	9	20	4.0	22	30	4.0	26	30	15	0.6	0.86	0.7	14.3
14-3	96	104	4.1	8	13	24.5	53	66	24.5	58	66	10.7	1.73	2.3	1.94	12.9
15-1	98	123	8.4	3	6	3.3	16	53	3.3	37	53	43	0.43	2.07	1.33	59
16-3	95	110	7.3	8	10	1.1	37	54	1.1	46	54	15	0.93	1.53	1.23	20.3
17-2	117	133	4.7	4	6	2.0	50	64	2.0	57	64	9.8	2.13	2.52	2.35	7.2
<b>M</b>			<b>108</b>			<b>8.9</b>		<b>9.3</b>		<b>41</b>		<b>38</b>			<b>1.11</b>	<b>35</b>
<b>LSD<sub>5%</sub></b>			<b>13.8</b>			<b>p=0.00</b>		<b>4.5</b>		<b>19.5</b>		<b>p=0.00</b>		<b>p=0.00</b>		<b>0.67</b>

<sup>1</sup>-отчита се от 1 май в дни, counted from May 1<sup>st</sup>, in days; Мин-минимална стойност, minimum value; Макс-максимална стойност, Max-maximum value; М-средна аритметична, M-mean; ВК-вариационен коефициент в %, CV-coefficient of variation in %, X-ВК>100%, X-CV>100%.





**Фигура 1.** Представителни форми при групиране на инбредни потомства ръж по големина на семената ( $S_5$  генерация): дребни (1: №9-2), средно едри (2: №16-3) и едри (3: №5-1, 4: №17-2)  
**Figure 1.** Representative accessions upon grouping of inbred rye families on seed size ( $S_5$  generation): small sized (1: No.9-2), medium sized (2: No.16-3) and large sized (3: No.5-1, 4: No.17-2)

и 8-1), вторият клъстер е най-голям, обхваща 11 потомства (№5-1, 16-3, 11-2, 15-1, 2-1, 14-3, 1-10, 4-2, 6-2, 7-2 и 17-2) и третият включва само образец №10-1 (Фиг. 2). На стъпка 10 най-голямата група се разделя на две подгрупи: по-малката включва 4 потомства, а по-голямата – 7 (№2-1, 14-3, 1-10, 4-2, 6-2, 7-2 и 17-2). Тези седем ръжени фамилии дават най-голям брой зърна, между 57 и 73 в изолиран клас (Табл. 5). Потомствата от по-малката подгрупа (№5-1, 16-3, 11-2 и 15-1) формират от 36 до 46 семена в изолиран клас. В този начин на групиране (средно свързване между групите), признакът БЗИК играе вероятно основна роля.

## ОБСЪЖДАНЕ

Височината при ръжта е ценен селекционен признак, контролиран от локуси, разположени в различни хромозоми (Miedaner et al. 2011). Според Valchinova (2018) по-високопродуктивни

са образците ръж с ниско стъбло и късо горно междувъзлие. В нашият опит през 2019 г., средната стойност на признака за популацията е 120 cm и 115 cm в 1во и 2ро повторение, съответно. Седем потомства от двете повторения показват вариране по-голямо от средното за популацията (ВК=9.2%). Повечето от потомствата варират слабо (3.5-6.6%) до леко завишени стойности (7.0 -9.9%). През 2020 г. ВР е по-ниска (M=108 cm) спрямо предходната година. Пет фамилии показват вариране по-голямо от средното за популацията (ВК=8.9%, Табл. 4), но като цяло варирането е по-слабо. От два номера (№5-1 и №9-2) липсват растения в 2ро повторение и резонът вероятно е депресия в кълняемостта на семената.

Причина за липсата на вариране по датата на изкласяване при №7-2, 8-1, 10-1, 13-3 и 12-1 е наличието на по 2 растения в повторение, поради повреждане на маркираните хартиени етикети от климатичните условия. Вариационните коефициенти имат високи стойности в следствие на

малкия брой отбрани растения и силното вариране между тях като хетерозиготни генотипове. Пет потомства проявяват значителна вариабилност поради доказани разлики между повторенията. Растенията изкласяват от 1ви до 26 май, без доказана разлика между средните аритметични за популацията ( $M=7.5$  за 1-во и  $M=8.0$  за 2-ро повторение) (Табл. 2). Най-ранни са 4 линии (1-2 май), между които е №17-2, а най-късни са №4-2 и 8-1 (19 май). Подобно на височината, датата на изкласяване се контролира от няколко локуса, разположени в 4RS и 5RL, а времетраенето на цъфтежа - от гени в хромозоми 2RL, 5RL и 7R (Schlegel, 2015). За провеждане на генетични изследвания по признака е необходимо наличието на инбредни линии ръж.

Стерилни растения се срещат при №1-1, 8-1 и 11-2, като при първия образец и трите елитни растения в 2ро повторение са стерилни (Табл. 3).

Средно за популацията завръзът е 44 и 39 зърна в 1во и 2ро повторение, съответно. Варирането по БЗИК е по-голямо в сравнение с датата на изкласяване, като при три образца ВК е по-висок от 100%. Девет потомства имат ВК по-малък от средното вариране за популацията ( $ВК=38.6\%$ ). Десет образца формират повече от 50 зърна под изолатор, което означава висока фертилност. От тях, 7 потомства (№1-1, 2-1, 4-2, 6-2, 7-2, 14-3 и 17-2) дават също висок завръз ( $M>50$  зърна) през 2020 г. (Табл. 4). Lacadena et al. (1969) изчисляват фертилност в процент от броя на зърната и броя на цветчетата при допускане, че 2 зърна се формират в класче. Авторите изследват признака на 8 инбредни линии ръж в  $S_{11-12}$  генерация, като при линия Grenada ВК достига 90%, а при Biota и Huesca ВК надвишава 100%. През 2020 г. само четири образца от общо 18 изследвани дават вариране по-високо от 65%, като при три от тях

**Таблица 5.** Фертилност в  $S_4$  генерация и групиране на 17 инбредни потомства ръж по големина на семената

**Table 5.** Fertility of  $S_4$  generations and grouping of 17 inbred rye progenies on their seed size

Сел. №/ Breed No.	БЗНК/ SNOP	БЗИК/ SNIS	Ф/ F	Дребни/ Small	Сред-но едри/ Medium	Едри/ Large
1-1	61	59	96.7	9-2	1-1	3-2
2-1	45	58	129	12-1	2-1	5-1
3-2	47	28	59.6		4-2	6-2
4-2	61	63	103.3		10-1	7-2
5-1	49	39	79.6		11-2	14-3
6-2	68	73	107.4		12-2	15-1
7-2	65	62	95.4		13-3	17-2
9-2	39	15	38.5		16-3	
10-1	28	24	85.7			
11-2	56	36	64.3			
12-1	41	24	58.5			
12-2	33	22	66.7			
13-3	44	26	59.1			
14-3	58	58	100			
15-1	58	37	63.8			
16-3	47	46	97.9			
17-2	52	57	109.6			
Mean	50	41	82.0			

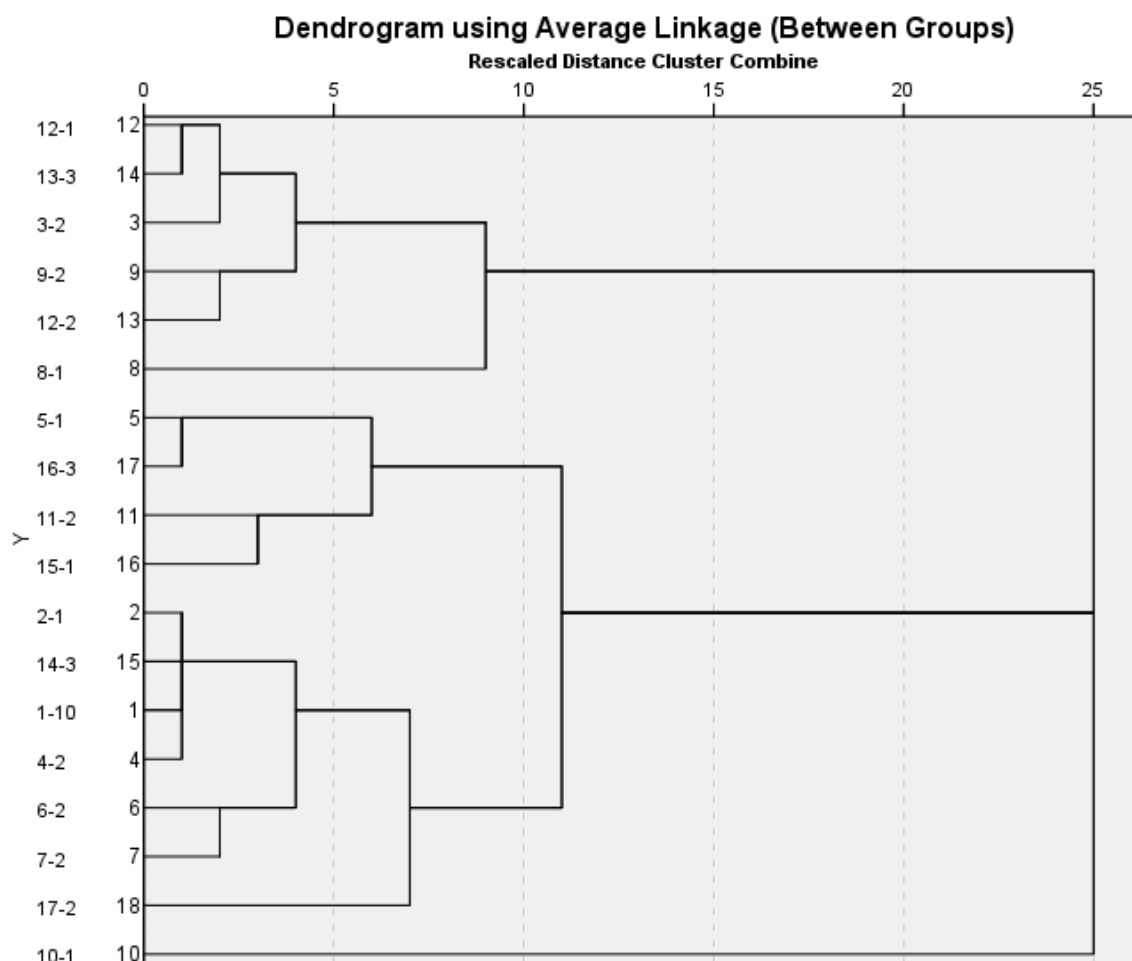
БЗНК- брой зърна в неизолиран клас, SNOP- seed number under open pollination; БЗИК- брой зърна в изолиран клас, SNIS- seed number in isolated spike; Ф-фертилност под изолатор, в %, F- fertility under isolator; Mean- средна аритметична, M -mean.

№8-1 отпада поради стерилност на отбраните растения, No.8-1 drops out due to selected sterile plants.

(№8-1, 10-1 и 12-1) ВК е по-висок от 100%. По-същият начин тези три фамилии се представят и по ТЗИК, с изключение на №8-1, чийто растения са стерилни.

Нео et al. (2000) изследват 456 образци ръж, от които 24 (5.3%) показват над 60% самофертилност. Най-добрите линии показват фертилност от 72 до 99.5%. В нашето изследване признакът се изчислява чрез сравняване броя на зърната в клас под изолатор спрямо тези образувани в клас след свободно (кръстосано) опрашване, в процент. Осем линии в опита (7-те фамилии със завръз над 50 семена и №16-3), проявяват фертилност повече от 95.4%. Четири потомства от този списък превишават завръза в свободно опрашващите се класове (Табл. 5). Между тях

е линия №17-2 с фертилност от 109.6% и добив от едри семена (Фиг. 1). Семената от  $S_5$  генерация по големина се разпределят визуално в три групи: дребни, средно едри и едри. Към последните две групи се причисляват общо 15 потомства (Табл. 5). Клъстерният анализ на основата на четири признака през 2020 г. определя линия №10-1 като най-отдалечена от всички, формираща един от трите клъстери (Фиг. 2). Най-голям е клъстерът образуван от 11 линии, където 7 форми съставят голямата подгрупа. Това са потомствата, цитирани по-горе, с най-висок добив в класа под изолатор ( $M > 50$  семена). Между тях изпъква линия №17-2 като най-продуктивна, формираща 57 зърна в клас, с най-високо тегло на семената ( $M = 2.35$  g). Нейната височина е 126



**Фигура 2.** Групиране на 18 инбредни потомства ръж ( $S_4$  растения) по височина на стъблото, дата на изкласяване, брой зърна и тегло на семената в изолиран клас

**Figure 2.** Clustering of 18 inbred rye progenies ( $S_4$  plants) based on plant height, heading date, seed number and weight in isolated spike

cm, с 8 cm по-ниска от линия №10-1. Две потомства (№2-1 и 14-3) от най-добрите имат ВР от 99-101 cm в съчетание с висока самофертилност (100-129%) (Табл. 5). Сравнително ниското им вариране по ВР предполага почти изравняване, ако не пълна хомозиготност в S<sub>4</sub> генерация, и възможност за бързо получаване на нискостъблени и самофертилни инбредни линии ръж.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Селекцията на нискостъблени самофертилни растения стартира с 15 образеца ръж, от които десет отпадат до третото самоопрашване. Предмет на това изследване са растения в S<sub>3</sub> и S<sub>4</sub> генерация, анализирани по 4 признака: височина на растенията, дата на изкласяване, брой и тегло на зърната в изолиран клас. Варирането се измерва чрез размаха, средната аритметична и вариационния коефициент. Фертилността през 2019 г. се установява чрез добитите семена в клас под изолатор, а през 2020 г. - чрез сравняване на броя им с броя на семената в клас, формирани при свободно (кръстосано) опрашване, в процент. Варирането на признаците в S<sub>4</sub> е по-слабо в сравнение с S<sub>3</sub>. От изследваните 18 потомства в S<sub>4</sub> поколение, осем (44.4%) проявяват висок завръз под изолатор (фертилност от 95.4% -129%). С най-високо стъбло от 134 cm е форма №10-1, съставляваща най-отдалечения клъстер. Най-голям е клъстерът състоящ се от 11 линии, където 7 потомства образуват една от двете подгрупи. Като перспективни линии ръж се очертават три фамилии, от които две са ниски (99-101 cm), а №17-2 (с височина на стъблото от 126 cm) формира най-едрите и тежки семена. Ниските коефициенти на вариране в тези потомства са основа за бързо излъчване на изравнени нискостъблени и самофертилни инбредни линии ръж.

## БЛАГОДАРНОСТ

С уважение към доц. д-р Г. Дешева за предоставените образци ръж от ген-банката на ИРГР „К. Малков“- Садово.

## ЛИТЕРАТУРА

- Crespo-Herrera, L.A., Garkava-Gustavsson, L., & Ahman, I.** (2017). A systematic review of rye (*Secale cereale* L.) as a source of resistance to pathogens and pests in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Hereditas*, 154(14), 1-9, <https://doi.org/10.1186/s41065-017-0033-5>
- Czyczylo-Mysza, I. & Myśków, B.** (2017). Analysis of the impact of drought on selected morphological, biochemical and physiological traits of rye inbred lines. *Acta Physiologiae Plantarum*, 39(3), p. 87.
- Daskalova, N., & Spetsov, P.** (2020). Taxonomic relationships and genetic variability of wild *Secale* L. species as a source for valued traits in rye, wheat and triticale breeding. *Cytology and Genetics*, 54(1), 71-81.
- Daskalova, N., & Spetsov, P.** (2020). Production of synthetic amphiploids in the group *Aegilops-Triticum-Secale-Dasypyrum* and their application in the home wheat breeding. Publ. House STENO, Varna, p. 151. ISBN 978-619-241-096-4 (Bg).
- Daskalova, N., Doneva, S., & Spetsov, P.** (2021). Genetic variability in winter rye (*Secale cereale* L.) accessions at early stage of self-pollination manifested through fertility, plant height and secalins. *Cytology and Genetics*, 55(1), 96-104.
- Egorova, I. A., Peneva, T. I., Baranova, O. A., & Voylokov, A. V.** (2000). Analysis of linkage between biochemical and morphological markers of rye chromosomes 1R, 2R, and 5R and mutations of self-fertility at the main incompatibility loci, *Russian Journal of Genetics*, 36(12), 1423-1430.
- Geiger, H. H., & Miedaner, T.** (2009). Rye breeding. In: Handbook Cereals. M.J. Carena (ed.). *Springer Science + Business Media*, LLC, pp. 157-182.
- Goncharenko, A. A., Makarov, A. V., Ermakov, S. A., Semenova, T. V., & Tochilin, V. N.** (2015). Evaluation of ecological stability and plasticity of inbred lines of winter rye, *Russian Agricultural Sciences*, 41(2-3), 87-94.
- Heo, H. Y., Hong, B. H., Seong, R. C., & Ha, Y. W.** (2000). Genetics of self-fertility and selection of self-fertile lines in rye (*Secale cereale* L.). *Korean Journal of Crop Science*, 45(5), 343-346.
- Kussovskaja, V.** (2011). Agronomic characteristics of the newly synthesized primary alloplasmic octoploid forms of triticale. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 17(2), 145-149.
- Lacadena, J. R., Sánchez-Monge, E., & Villena, L. M.** (1969). Selection for self-fertility in rye inbred lines. *Annual Aula Dei*, 10(4), 846-855.
- Mergoum, M., Sapkota, S., Eldoliefy, A. E. A., Naraghi, S. M., Pirseyedi, S., Alamri, M. S., & AbuHamad, W.** (2019). Chapter 11 Triticale ( $\times$  *Triticosecale* Wittmack) breeding. In: *Al-Khayri JM, Jain SM, Johnson DV (eds) Advances in Plant Breeding Strategies: Cereals*. Springer Nature Switzerland AG 2019, pp. 405-451.

- Miedaner, T., Müller, B. U., Piepho, H. P., & Falke, K. C.** (2011). Genetic architecture of plant height in winter rye introgression libraries. *Plant Breeding*, 130(2), 209-216.
- Salmanowicz, B. P., Langner, M., & Kubicka-Matusiewicz, H.** (2014). Variation of high-molecular-weight secalin subunit composition in rye (*Secale cereale* L.) inbred lines. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 62, 10535-10541.
- Schlegel, R.** (2014). RYE, genetics, breeding and cultivation. CRC Taylor & Francis group, 344 p.
- Schlegel, R.** (2015). Hybrid breeding boosted molecular genetics in rye. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 19(5), 589-603.
- Snedecor, G. W., & Cochran, W. G.** (1980). Statistical methods, Seventh edition. The Iowa State University Press.
- Spetsov, P.** (2013). Wild and cultivated plants. E-book ISBN 978-954-577-702-8, Univ. Publ. „Bishop K. Preslavski”-Shumen (Bg).
- Tikhenko, N., Rutten, T., Voylokov, A., & Houben, A.** (2008). Analysis of hybrid lethality in F<sub>1</sub> wheat-rye hybrid embryos, *Euphytica*, 159, pp. 367-375.
- Tikhenko, N. D., Tsvetkova, N. V., Lyholay, A. N., & Voylokov, A. V.** (2017). Identification of complementary genes of hybrid lethality in crosses of bread wheat and rye. Results and prospects. *Russian Journal of Genetics: Applied Research*, 7(2), 153-158.
- Valchinova, E.** (2015). Studies of genetic resources of rye accessions from the national collection. Dissertation, Sadovo, Bulgaria.
- Valchinova, E.** (2018). Study of the relationships between quantitative characters by path-analysis in *Secale cereale*. *New knowledge Journal of science* 7-2, pp. 241-245 (Bg).
- Voylokov, A. V.** (2007). Prospects of using self-fertility in breeding rye populations varieties. *Russian Journal of Genetics*, 43(10), 1173-1180.
- Wolski, T.** (1970). Studies on the inbreeding of rye. *Genetica Polonica*, 11(1), 1-26.