

**Я. С. Рябовол**

кандидат с.-г. наук,
викладач кафедри рослинництва
Уманський національний університет садівництва,
Україна

**Л. О. Рябовол**

доктор с.-г. наук,
професор кафедри генетики,
селекції рослин та біотехнології
Уманський національний університет садівництва,
Україна

ВПЛИВ МОРФОТИПУ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ФОТОСИНТЕЗУ СТВОРЕНИХ ЗРАЗКІВ ЖИТА ОЗИМОГО

Ефективним способом підвищення врожайності сільськогосподарських культур є реконструкція рослин. Розробка перспективної моделі сорту передбачає отримання високопродуктивного матеріалу з оптимальною архітектонікою рослини.

У статті теоретично обґрунтовано доцільність зміни архітектоніки рослин жита озимого з метою підвищення фотосинтетичної активності і продуктивності культури.

Доведено, що зміною морфотипу рослин, зокрема, орієнтацією розміщення в просторі листової пластинки, можна збільшити площу фотосинтезуючої поверхні рослин та площі посіву в цілому. Встановлено, що зразки носії рецесивних маркерних ознак генів *Sp/sp*, *L/l* мають вищий вміст хлорофілу *a* і *b* у фотосинтезуючих органах та, відповідно, продуктивність рослин.

На вміст хлорофілу в клітинах і фотосинтетичну активність рослин *a*, відповідно, на продуктивність культури, впливає і колір фотосинтезуючих органів. Гібриди жита озимого за геном *W/w* фенотипово вирізняються в популяції рослин темно-зеленим кольором з ледь помітним восковим нальотом і мають вищий вміст хлорофілу *a* і *b* порівняно з гомозиготними формами (*WW*, *ww*). Встановлено, що гібриди мають вищу інтенсивність фотосинтезу, а відповідно і низку господарсько-цінних ознак, аніж вихідні форми.

Показано результати моніторингу культурної популяції рослин жита озимого в результаті чого було виділено зразки з високою фотосинтетичною активністю. Створено колекцію самофертильних донорів генів ознак еректоїдного розміщення листової пластинки (303/15, 289/15), безлігульності (59-1), безвоскового нальоту фотосинтезуючих органів (103/16, 314-22), що доцільно використовувати в селекційному процесі отримання нових вихідних матеріалів культури.

Ключові слова: жито озиме, морфотип, фотосинтез, хлорофіл, донор, вихідний матеріал.

Ya. S. Rybovol,

PhD of Agricultural Sciences, Lecturer of Department of General Plant Growing Uman National University of Horticulture

L. O. Rybovol,

Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Department of Genetically, Selections of Plant and Biotechnological Uman National University of Horticulture

INFLUENCE OF MORPHOTYPES ON THE INTENSITY OF PHOTOSYNTHESIS OF CREATED SAMPLES OF WINTER RYE

Abstract. Plant reconstruction is an effective means of increasing crop yields. Development of a promising model of the variety involves obtaining high-performance material with optimal plant architecture.

The article theoretically substantiates the feasibility of changing the architectonics of winter rye plants in order to increase photosynthetic activity and crop productivity.

It is proved that by changing the morphotype of plants, in particular, the orientation of placement in the space of leaf blade, it is possible to increase the area of photosynthetic surface of plants and the area of sowing as a whole. It is established that the samples of the carrier of recessive marker features of the genes *Sp/sp*, *L/l* have a higher content of chlorophyll *a* and *b* in photosynthetic organs and, accordingly, the productivity of plants.

The color of photosynthetic organs affects the chlorophyll content of cells and the photosynthetic activity of plants and, accordingly, the productivity of the culture. Hybrids of winter rye in the genome *W/w* phenotypically different in the population of plants dark green with a barely noticeable waxy coating and have a higher content of chlorophyll *a* and *b* compared with homozygous forms (*WW*, *ww*). Hybrids have been found to have a higher intensity of photosynthesis and, accordingly, a number of economic and valuable features than the original forms.

The results of the monitoring of the cultural population of winter rye plants have been shown and samples with high photosynthetic activity have been isolated. A collection of self-fertile donors of erectoid trait gene traits by placement of a leaf blade (303/15, 289/15), sample without ligula (59-1), wax-free plaque of photosynthetic organs (103/16, 314-22), which is expedient to use in the breeding process of obtaining new outputs materials of culture was created.

Keywords: winter rye, morphotype, photosynthesis, chlorophyll, donor, starting material.

Постановка проблеми. Ефективним засобом підвищення врожайності сільськогосподарських культур є реконструкція рослин. Розробка перспективної моделі сорту передбачає отримання високопродуктивного матеріалу з оптимальною архітектонікою рослини [1-4].

Зміна архітектоніки сприяє оптимізації оптико-біологічної структури посіву та забезпечує формування нових морфологічних особливостей рослин спрямованих на підвищення врожайності культури [5, 6].

Вченими доведено [6], що існує пряма кореляційна

залежність між інтенсивністю фотосинтезу та продуктивністю культури. Вважається, що листкова пластинка є основним органом фотосинтезу і джерелом асимілянтів для формування зерна. Проте генотипові відмінності в участі різних асиміляційних органів у загальній фотосинтетичній активності рослин підтверджують існування різних моделей фотосинтезу і фотосинтетичної продуктивності в групі зернових культур.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Встановлено, що у пшениці та тритикале фотосинтетична активність листового апарату займає 60 % від загальної активності всієї рослини, а у жита лише 20 % [7]. Фотосинтетична активність листових пластинок тритикале у два рази вища ніж у пшениці і у вісім – аніж у жита. Тобто, серед зернових колосових культур найнижчу фотосинтетичну активність листків має жито.

Участь стебла (разом з листовими піхвами) у загальному фотосинтезі рослин складає 20 % у ячменю, вівса та тритикале і біля 60 % у жита. Участь колосу в загальному фотосинтезі займає у пшениці – 12 %, тритикале – 15,4 %, жита – 23,3 %, ячменю – 28,9 %, вівса (волоть) – 40,7 %.

У процесі еволюції і цілеспрямованої селекції зернових культур на збільшення кількості продуктивних стебел на одиницю площі агроценозу збільшувалось значення нелисткових асиміляційних органів у загальному фотосинтезі цілої рослини. Частка їх участі складає від 40 % (тритикале) до 80 % (жито).

Отже, для жита характерний стебловий тип фотосинтезу. Проте за переходу селекції на короткостебловість при зниженні висоти стеблостою підвищується вплив листового апарату та колосу на формування врожаю і підвищення продуктивності культури.

Зменшення частки впливу стебла в забезпеченні колосу асимілянтами передбачає ведення селекції в напрямку збільшення площі листків.

Встановлено, що жито з домінуючою короткостебловістю формує листовий апарат, який не поступається звичайним високорослим сортам, а в період наливу зерна зберігає навіть більшу площу зеленої поверхні, що сприяє подовженню фотосинтетичної активності [8–11]. Листки короткостеблових зразків жита товщі, коротші, але ширші відносно високорослих сортів. У короткостеблових зразків у колос потрапляє значно більше асимілянтів, ніж у довгостеблових, за рахунок зменшення шляху між асимілюючими і споживчими органами. Жито з домінуючою короткостебловістю помітно відстає у рості від звичайного, а тому зона вузла кушіння освітлюється краще. Це сприяє розвитку в короткостебловому жита

більшої кількості колосонесних стебел. Проте, значення безплідних стебел не можна недооцінювати, оскільки продукти фотосинтезу передаються продуктивним стеблам, забезпечуючи їх поживними речовинами [8, 12]. Короткостеблові зразки жита озимого порівняно з довгостебловими за рахунок структури й особливостей дії фотосинтетичного апарату мають значні селекційні можливості у формуванні високого врожаю зерна [13]. Листки впливають на формування врожайності зерна жита від сходів до воскової стиглості [12, 13].

Збільшити індекс листової поверхні можна за рахунок зміни густоти стеблостою, що можливо за створення форм з еректоїдною орієнтацією листової пластинки. Селекція на зменшення кута відхилення листової пластинки від стебла забезпечує кращу освітленість рослин і сприяє активній участі в накопиченні органічних речовин листками всіх ярусів [8, 13, 14].

Метою наших досліджень був аналіз колекції короткостеблових зразків жита озимого, донорів генів розлогої і еректоїдної орієнтації листової пластинки, безлігунності, воскового чи безвоскового забарвлення рослин, за вмістом хлорофілу і продуктивності для використання їх у селекційному процесі отримання нових вихідних матеріалів культури.

Методика досліджень. Для створення зразків з морфологічно альтернативною відмінністю листової пластинки використовувалися форми з високою комбінаційною здатністю. Створені самофертильні закріплювачі стерильності в низці поколінь поспіль насичували генами носіїв маркерних ознак, використовуючи беккросні схрещування та індивідуальний відбір особин за бажаними ознаками. Отримані гібридні форми самозапильовали, відбирали зразки з чітко вираженими альтернативними ознаками та ізолювано розмножували, проводили фенотиповий аналіз і вибраковування небажаних форм.

Результати досліджень. У процесі досліджень було підтверджено, що орієнтація листової пластинки та її площа суттєво впливають на фотосинтетичну активність та, відповідно, продуктивність рослин жита озимого.

Збільшення листової маси дасть змогу реалізувати закладені в колосі потенціальні можливості генотипу.

Морфотипи з еректоїдною орієнтацією листків, особливо широколисті форми, істотно перевищували сорт-стандарт за площею асиміляційної поверхні прапорцевого листка і за вмістом в ньому хлорофілу (табл. 1).

Короткостеблова широколиста еректоїдна форма 303/15 мала найвищий вміст хлорофілу і в колосі рослин. Найнижчий рівень цього показника в колосі зафіксовано у короткостеблових платофілів з відсутнім восковим нальотом фотосинтезуючої поверхні, що контролюється

Таблиця 1
Вміст хлорофілу в органах рослин різних морфотипів жита озимого у фазу наливу зерна, 2017–2019 рр.

Морфотип рослин	Сорт, зразок	Площа прапорцевого листка	Листки			Колос			Стебло		
			вміст хлорофілу, мг/г сухої речовини								
			a	b	a+b	a	b	a+b	a	b	a+b
Короткостеблові платофіли (St)	Хлібне	8,1	1,31	1,03	2,34	0,62	0,35	0,97	0,72	0,64	1,36
Короткостеблові широколисті платофіли	328/16	16,7	2,08	1,42	3,50	0,74	0,43	1,17	0,79	0,60	1,39
Короткостеблові платофіли	288-1/16	12,3	1,93	1,21	2,93	0,71	0,38	1,09	0,77	0,61	1,38
Короткостеблові платофіли без воскового нальоту	314-22	6,8	1,31	1,00	2,31	0,62	0,31	0,83	0,61	0,49	1,10
Короткостеблові широколисті еректоїди	303/15	24,9	2,11	1,44	3,75	0,75	0,46	1,21	0,80	0,67	1,47
Короткостеблові еректоїди	289/15	15,4	1,61	1,22	3,14	0,69	0,40	1,09	0,75	0,70	1,45
Короткостеблові еректоїди без воскового нальоту	103/16	9,3	1,66	1,06	2,72	0,58	0,33	0,91	0,70	0,56	1,26
HIP ₀₅			-	-	0,3	-	-	0,1	-	-	0,2

геном W/w у рецесивному стані (зразок 314-22).

Сумарний (a + b) вміст хлорофілу в стеблі в межах морфотипу істотно не відрізнявся за виключенням форм без воскового нальоту органів.

Встановлено пряму кореляційну залежність між показниками площі листків і вмістом хлорофілу a + b (рис. 1).

Необхідно зауважити, що рослини морфотипів у яких відсутній восковий наліт мали істотно нижчий вміст хлорофілу у фотосинтезуючих органах, аніж рослини морфотипів з сизим забарвленням.

Проаналізувавши продуктивність рослин, встановлено, що морфотипи з широколистою еректоїдною орієнтацією

листяної пластинки мають вищу продуктивність рослин, аніж платофіли (табл. 2).

Зразок 303/15 позитивно вирізнявся за довжиною колосу (13,5 см), кількістю зерен з колосу (63,8 шт.), озерненістю колосу (80,3 %), масою зерна з колосу (2,8 г) і рослини (23,5 г), що істотно перевищувало стандарт.

Високу продуктивність мали рослини з широколистою розлогою листковою пластинкою. Зразок 328/16 характеризувався високою озерненістю колосу (77,6 %), масою зерна з колосу (2,4 г) і рослини (22,4 г) та масою 100 насінин (4,5 г). Платофіли без воскового нальоту мали істотно нижчі показники за продуктивністю відносно стандарту, проте показники еректоїдних форм були на

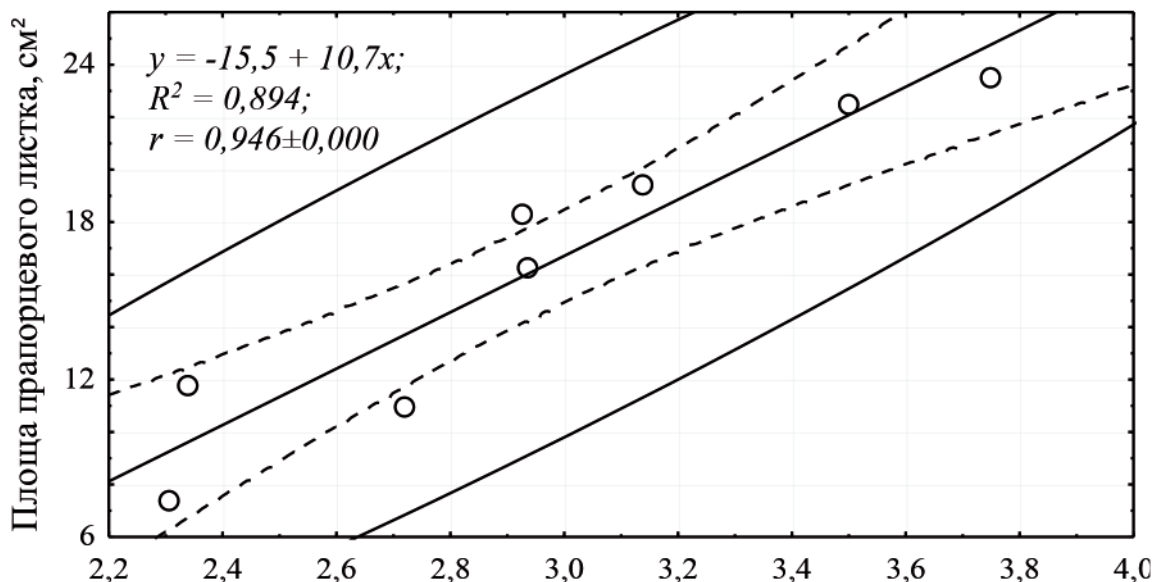


Рис. 1 Залежність площі прапорцевого листка від сумарного вмісту хлорофілу a + b у листках рослин жита озимого

Таблиця 2

Фенотипова мінливість кількісних ознак короткостеблових зразків різних морфотипів жита озимого, 2017–2019 рр.

Морфотип рослин	Сорт, зразок	Фенотипова кількісна ознака								
		Висота рослин, см	Продуктивна кущистість, шт.	Довжина колосу, см	Кількість квіток в колосі, шт.	Кількість зерен в колосі, шт.	Озерненість колосу, %	Маса зерна з колосу, г	Маса зерна з рослини, г	Маса 100 зерен, г
Платофіли (St)	Хлібне	96±4	8,7± 1,0	9,2± 0,8	60,3± 2,5	36,5± 1,5	60,5± 1,2	1,6± 0,1	11,7± 1,1	3,9±0,2
Широколисті платофіли	328/16	98±5	11,0± 1,1	11,5± 1,4	68,0± 2,2	52,8± 2,1	77,6± 1,5	2,4± 0,3	22,4± 1,2	4,5±0,2
Платофіли	288-1/16	91±4	10,4± 1,2	10,4± 1,5	58,8± 3,1	40,7± 2,5	69,2± 1,8	2,2± 0,1	18,3± 1,3	4,0±0,1
Платофіли без воскового нальоту	314-22	71±3	7,1± 1,2	9,5± 1,3	49,5± 3,2	27,6± 2,3	55,7± 1,8	1,2± 0,2	7,3± 1,2	3,1±0,2
Широколисті еректоїди	303/15	93±5	9,9± 1,8	13,5± 1,5	79,1± 2,5	63,8± 1,7	80,3± 2,0	2,8± 0,1	23,5± 1,1	4,0±0,1
Еректоїди	289/15	96±5	9,4± 1,5	10,1± 1,3	75,1± 2,3	56,3± 1,8	74,9± 1,3	2,3± 0,3	19,4±1,2	3,6±0,3
Еректоїди без воскового нальоту	103/16	80±3	8,0± 1,3	9,0± 1,2	47,3± 2,2	29,2± 2,3	61,9± 1,4	1,6± 0,2	10,9± 1,0	3,4±0,3
NIP ₀₅		4	0,8	0,6	2,5	1,8	3,2	0,1	0,8	0,2

рівні контрольного варіанту.

За продуктивною кущистістю рослини з еректоїдною орієнтацією листків істотно поступалися морфотипам з розлогою листовою пластинкою. Еректоїдні матеріали поступалися платофілам і за масою 100 насінин.

Платофіли без воскового нальоту фотосинтезуючих органів мали найнижчі показники у досліді, проте вирізнялися висотою стеблостою на рівні 71 ± 3 см.

Аналізуючи зв'язок фотосинтетичної активності морфотипів та їх продуктивність, підтверджено прямопропорційну залежність сумарного вмісту хлорофілу *a* і *b* у листках рослин жита озимого та показників господарсько-цінних ознак, зокрема, маси зерна з рослини і колосу (рис. 2). Необхідно відмітити формування дрібнішого насіння у рослин з еректоїдною орієнтацією листової пластинки. Відповідно і маса 100 насінин цих морфотипів була істотно меншою відносно платофілів.

Аналіз фотосинтетичної активності гібридів зі зміненим кольором листової пластинки дозволив встановити,

що сумарний вміст хлорофілу *a* + *b* у фотосинтезуючих органах гібридних форм не залежно від морфотипів був істотно вищий аніж у вихідних батьківських зразків (рис. 3).

Вирізнялись показники фотосинтетичної активності листової пластинки гібридного матеріалу, а стебла і колосу – були в межах статистичної похибки. Гібриди з еректоїдною орієнтацією листової пластинки мали вищий вміст хлорофілу, аніж гібриди з розлогою формою листка. Вищою була і продуктивність створеного матеріалу. Це пояснюється гетерозисним ефектом фотосинтетичної активності за взаємодії генів *W/w*, що контролюють восковий наліт органів рослин жита озимого.

Еректоїдне розміщення листової пластинки та безлігунність дає змогу збільшити кількість рослин на гектар і площу фотосинтезуючої поверхні та, відповідно, пилкову продуктивність батьківських компонентів на одиницю площі посіву ділянки гібридизації чи розмноження.

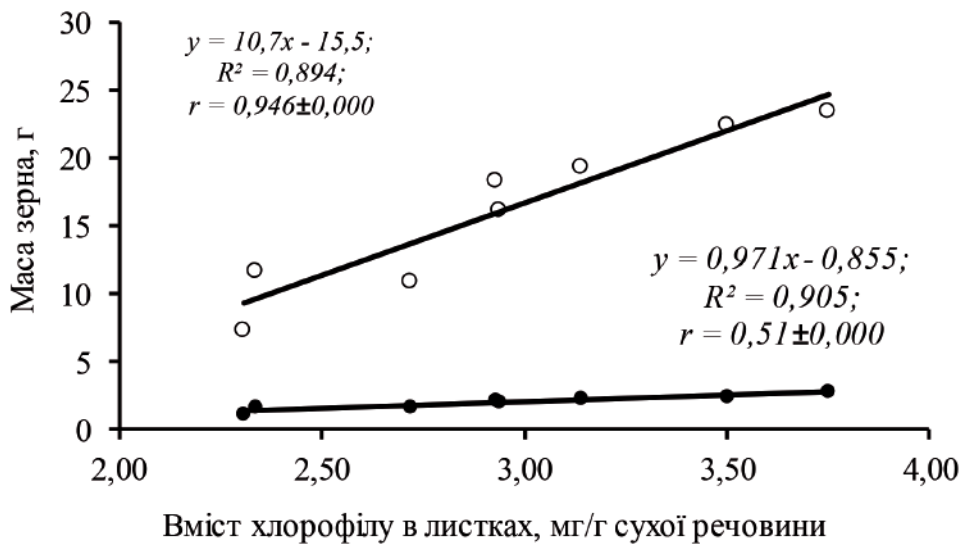


Рис.2 Залежність маси зерна з рослини (1) та колосу (2) від сумарного вмісту хлорофілу *a* і *b* у листках рослин жита озимого.



Рис.3 Вміст хлорофілу в органах рослин у вихідному та гібридному матеріалі жита озимого різних морфотипів у фазу наливу зерна

Висновки. Доведено, що зміною архітектоники рослин жита озимого, зокрема, орієнтації розміщення в просторі листової пластинки, можна збільшити площу фотосинтезуючої поверхні рослин та площі посіву вцілому. Встановлено, що зразки носії рецесивних маркерних ознак генів *Sp/sp*, *L/l* мають вищий вміст хлорофілу *a* і *v* у фотосинтезуючих органах та, відповідно, продуктивність рослин.

Колір фотосинтезуючих органів впливає на вміст хлорофілу в клітинах і фотосинтетичну активність рослин. Гібриди за геном *W/w* фенотипово вирізняються в популяції темно-зеленим кольором з ледь помітним восковим нальотом і мають вищий вміст хлорофілу *a* і *v* порівняно з гомозиготними формами (*W W*, *w w*).

Створено колекцію самофертильних донорів генів ознак еректоїдного розміщенням листової пластинки (303/15, 289/15), безлігунності (59-1), безвоскового нальоту фотосинтезуючих органів (103/16, 314-22), що доцільно використовувати в селекційному процесі отримання нових вихідних матеріалів культури.

Література

1. Амелин А. В., Лаханов А. П., Зеленов А. Н. Листовая поверхность растений и её значение в селекции высокоурожайных сортов гороха. *Сельскохозяйственная биология. Серия. Биология растений* 1994. № 1. С. 57-61.
2. Бригс Ф., Ноулз П. Научные основы селекции растений. Москва: Колос, 1972. 399 с.
3. Гончаренко А. А., Фокина В. М. Интенсификация селекционной работы с озимой рожью. *Сборник научных трудов Всесоюзного НИИ растениеводства*, 1979. С. 15-31.
4. Гончарова Ю. К. Генетические основы гетерозиса. Генетические основы селекции Уфа: БНИИСХ, 2008. С. 146-156.
5. Рябовол Я. С. Селекційне моделювання сортотипів, як спосіб підвищення продуктивності зернових культур. Матеріали Всеукраїнської наукової конференції *Актуальні питання агротехнологій*. Умань: Уманський НУС, 2019. С. 21-23.
6. Рябовол Я. С., Рябовол Л. О. Зміна архітектоники колосу, як один із чинників підвищення продуктивності жита озимого. *Вісник Уманського НУС*. Умань, 2016. Вип. № 1. С. 69-71.
7. Нальборчик Э. Роль различных органов фотосинтеза в формировании урожая хлебных злаков. Вопросы селекции и генетики зерновых культур. Москва, 1983. С. 224-230.
8. Деревянко В. П., Егоров Д. К. Актуальные вопросы гетерозисной селекции озимой ржи. Харьков, 2008. 152 с.
9. Кобылянский В. Д. Рожь. Генетические основы селекции. Москва: Колос, 1982. 271 с.
10. Тромпель А. Ф. Ростовые и фотосинтетические характеристики тетра- и диплоидных сортов озимой ржи различной продуктивности: автореф. дисс. канд. биол. наук. Москва, 1980. 19с.

11. Трусов Н. В. Корреляция между ассимиляционной поверхностью растений и продуктивностью колосу у карликовых форм озимой ржи. Селекция, семеноводство и сортовая агротехника сельскохозяйственных культур. Ленинград, 1979. С. 40-42.

12. Скорик В. В., Скорик В. В., Симоненко Н. В., Скорик О. П. Селекція жита (*Secale cereale* L.) на підвищену фотосинтетичну активність листя. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. Київ, 2009. № 1 (9). С. 58-62.

13. Рябчун Н. І. Фотосинтез та врожайність зернових культур. Пропозиція. 2013. Режим доступу: <https://propozitsiya.com/ua/fotosintez-ta-vrozhaynist-zernovih-kultur>.

14. Тороп А. А., Чайкин В. В., Тороп Е. А. Создание нового морфотипа озимой ржи. *Доклады РАСХН*, 2009. № 2. С. 3-5.

References

1. Amelin A. V., Lakhanov A. P., Zelenov A. N. (1994). The leaf surface of plants and its importance in the selection of high-yielding varieties of peas. *Agricultural biology. Series. Plant Biology*. No. 1. P. 57-61. (in Russian)
2. Briggs F, Noulz P. (1972). Scientific basis of plant breeding. Moscow: Kolos. 399 p. (in Russian)
3. Goncharenko A. A., Fokina V. M. (1979). Intensification of selection work with winter rye. Collection of scientific works of the All-Union Research Institute of Plant Industry. P. 15-31. (in Russian)
4. Goncharova Yu. K. (2008). Genetic basis of heterosis. The genetic basis of selection Ufa: BNIISH. P. 146-156. (in Russian)
5. Riabovol Ia. S. (2019). Selected model for cultivating varieties, as a way of increasing productivity of grain crops. *Materials All-Ukrainian scientific conference Actual nutrition of agricultural technologies*. Uman: Umansky NUH. P. 21-23. (in Ukrainian)
6. Riabovol Ia. S., Riabovol L. O. (2016). The change of the ear architecture, as one of the factors of increasing the productivity of winter rye. *Bulletin of the Uman NUH*. Uman. V. № 1. P. 69-71. (in Ukrainian)
7. Nalborchik E. (1983). The role of various organs of photosynthesis in the formation of cereal crops. Issues of selection and genetics of crops. Moscow. P. 224-230. (in Russian)
8. Derevyanko V. P., Gorov D. K. (2008). Actual issues of heterotic selection of winter rye. Kharkov. 152 p. (in Russian)
9. Kobylansky V. D. (1982). Rye. Genetic basis of selection. M.: Kolos. 271 p. (in Russian)
10. Trompel A. F. (1980). Growth and photosynthetic characteristics of tetra- and diploid varieties of winter rye of different productivity: abstract. PhD of biol. sciences. Moscow. 19 p. (in Russian)
11. Trusov N. V. (1979). Correlation between the assimilation surface of plants and spike productivity in dwarf forms of winter rye. Breeding, seed production and varietal agricultural technology of crops. Leningrad. P. 40-42. (in Russian)
12. Skoryk V. V., Skoryk V. V., Symonenko N. V., Skoryk O. P. (2009). Selection of rye (*Secale cereale* L.) for increased photosynthetic activity of leaves. *Sorting and protection of plant variety rights*. Kyiv. № 1 (9). P. 58-62. (in Ukrainian)
13. Riabchun N. I. (2013). Photosynthesis and yield of cereals. Offer. Access Mode: <https://propozitsiya.com/ua/fotosintez-ta-vrozhaynist-zernovih-kultur>. (in Ukrainian)
14. Torop A. A., Chaikin V. V., Torop E. A. (2009). The creating of new morphotype of winter rye. *Reports of Agricultural Sciences*. № 2. P. 3-5. (in Russian)