

ПРЯДКІНА Г.О.^{1✉}, СТАСИК О.О.¹, МАХАРИНСЬКА Н.М.¹, ПОЛЬОВИЙ А.М.²¹ Інститут фізіології рослин і генетики НАН України,

Україна, 03022, м. Київ, вул. Васильківська, 31/17, ORCID: 0000-0002-4548-1747, 0000-0001-5023-2529, 0000-0002-9987-6437

² Одеський державний екологічний університет,

Україна, 65016, м. Одеса, вул. Львівська, 15, ORCID: 0000-0002-0049-7024

✉ galpryadk@gmail.com, (068) 123-62-92

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФОТОСИНТЕТИЧНОЇ КОНВЕРСІЇ СВІТЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ У СОРТІВ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ ЗА ПОСУШЛИВИХ УМОВ

Мета. Пошук фізіологічних ознак високопродуктивних сортів озимої пшениці на основі порівняльного аналізу ефективності перетворення сонячної енергії на біомасу за умов природної посухи в період наливання зерна. **Методи.** Морфометричні, актинометричний, статистичні. **Результати.** З'ясовано, що високоврожайні сорти озимої пшениці мали вищі, ніж менш врожайні сорти, прирости сухої речовини надземної частини рослин, а також ефективність використання фотосинтетично активної радіації в репродуктивний період розвитку. Встановлено позитивна кореляція ефективності використання радіації в окремі періоди з врожаєм озимої пшениці та з масою 1000 зерен. Зроблено припущення, що вища ефективність фотосинтетичної конверсії світлової енергії у біомасу за умов посухи у високопродуктивних сортів може бути пов'язаною з більшою ємністю основного акцептора асимілятів – наливанням зерна і високою посухостійкістю фотосинтетичного апарату. **Висновки.** Встановлено значні генотипні відмінності в ефективності використання радіації між сортами озимої пшениці однієї групи стиглості в репродуктивний період вегетації. Вища ефективність використання радіації в репродуктивний період сприяла збільшенню зернової продуктивності за рахунок кращого наливання зерна, про що свідчить позитивна кореляція з масою 1000 зерен. Наявність генотипної варіабельності за цим показником свідчить про те, що ця ознака може бути використана для генетичного поліпшення продуктивності пшениці. З'ясовано, що сорти озимої пшениці Київська 17 та Городниця можуть бути донорами цінних селекційних ознак.

Ключові слова: *Triticum aestivum* L., урожай, ефективність використання радіації, посуха.

Продуктивність рослин значною мірою залежить від їх здатності поглинати та перетворювати сонячну радіацію в фотохімічних реакціях. За рахунок поглиненої енергії фотосинтетично активної радіації (ФАР) в процесі фотосинтезу з вуглекислого газу та води утворюються органічні речовини. Вважають, що поглинання світла посівами пшениці сучасними сортами вже є близьким до оптимального, особливо після змикання міжрядь у посіві [1], проте ефективність використання радіації (ЕВР) для утворення біомаси в більшості видів сільськогосподарських культур поки ще є невисокою [2]. Збільшення ЕВР можна досягти різними шляхами, оскільки ця величина залежить від багатьох чинників [3; 4]. Одним із таких є генотип. Зокрема, виявлено значну генотипну різницю перетворення світлової енергії в біомасу у сортів, що відрізняються терміном селекції [5]. Нами раніше встановлено, що вплив сорту на ефективність використання радіації в репродуктивний період був значнішим, ніж дія позакореневих обробок рослин мікроелементним комплексом та його суміші з карбамідом [4]. Проте питання, чи є відмінності за цим показником у різних за посухостійкістю сортів, поки ще залишається мало дослідженим. Актуальність таких досліджень зумовлена як частішими посухами у період вегетації пшениці, так і необхідністю розуміння фізіологічних основ високої продуктивності за таких умов. Крім цього, відкритим є питання оцінки ефективності перетворення сонячної енергії на біомасу в сучасних сортів пшениці з підвищеним рівнем потенційної врожайності.

Метою роботи був пошук фізіологічних ознак високопродуктивних сортів озимої пшениці на основі порівняльного аналізу ефективності перетворення сонячної енергії на біомасу

© ПРЯДКІНА Г.О., СТАСИК О.О., МАХАРИНСЬКА Н.М., ПОЛЬОВИЙ А.М.

за умов природної посухи в період наливання зерна.

Матеріали і методи

Об'єктом досліджень слугували 6 сортів озимої пшениці (*Triticum aestivum* L.): Київська 17, Городниця, Порадниця, Краснопілка, Почайна та Смуглянка. П'ять перших із них мають високу посухостійкість (8-9 балів), в останнього сорту вона середня (5-6 балів). Експериментальні дослідження проведені на ділянках сорто-випробування озимої пшениці в дослідному господарстві ІФРГ НАН України (Глеваха, Київська обл.). Площа ділянок – 10 м² у 3-разовому повторенні, ґрунти під посівами – світло-сірі, опідзолені, легкосуглинкові. Агротехніка та догляд за посівами – загальноприйняті для цієї культури у лісостеповій агрокліматичній зоні. Метеорологічні умови весняного вегетаційного періоду пшениці у 2021 р. були загалом досить сприятливими, проте під час закладки репродуктивних органів температура повітря була меншою (на 1,1°C) за кліматичну норму, а в період наливання зерна – на 3,3 °C вищою за норму. Сума опадів у червні складала лише 33% від норми, отже, рівень вологозабезпечення території у період формування репродуктивних органів характеризувався дуже посушливими умовами (гідротермічний коефіцієнт Селянінова у червні складав 0,38), в період наливання зерна – посушливими (0,83).

Відбір зразків для визначення фітотричних показників рослин здійснювали у фазі цвітіння, молочної та молочно-воскової стиглості. Середню пробу формували з 20 відібраних підряд пагонів. Фіксацію проб для визначення маси сухої речовини окремих органів рослин проводили у сушильній шафі за температури 105°C упродовж 3-х годин і потім досушували до постійної маси за температури 85°C. Для визначення щільності посівів на 4 півметрових відрізках у рядках посівів визначали кількість пагонів та перераховували на 1 м². Фенологічні спостереження за фазами розвитку рослин здійснювали через кожні 3–4 доби за зовнішніми морфологічними змінами сформованих органів [6]. Показники структури зернової продуктивності досліджуваних сортів визначали за загальноприйнятими методиками на 25 рослинах, відібраних у фазу повної стиглості зерна.

Величини сумарної сонячної радіації за день розраховували за формулами [7], за окремі періоди вегетації – як суму денних значень за відповідний період із коефіцієнтом перерахунку сумарної радіації у ФАР рівним 0,5 [8]. Ефективність використання радіації визначали за формулою [8].

Статистичну обробку результатів здійснювали з використанням “Microsoft Excel” згідно загальноприйнятих методів варіаційної статистики [9]. На рисунках та в таблиці наведені значення середніх арифметичних і стандартних похибок середнього. Статистичну достовірність різниці між варіантами оцінювали за $p \leq 0,05$. Коефіцієнти кореляції, кореляційні відношення та рівняння регресії розраховували за методом найменших квадратів за допомогою програм Microsoft Excel.

Результати та обговорення

Оцінка ефективності використання радіації ґрунтується на даних вимірювань накопичення загальної біомаси одиниці посіву та кількості сумарної сонячної радіації, що надходить на верхню межу посіву, за певні періоди вегетації. Аналіз динаміки першого показника показав, що маса сухої речовини в надземній частині посіву зростала від фази цвітіння до фази молочно-воскової стиглості в усіх сортів. У фазу цвітіння її близькі величини спостерігали у сортів Київська 17, Городниця та Порадниця (2035–2168 г/м²), у сортів Краснопілка та Смуглянка вона була дещо меншою (1825–1928 г/м²), а найнижчою – у сорту Почайна (1696 г/м²) (рис. 1). У фазу молочної та молочно-воскової стиглості (відповідно, МС та МВС) сорти можна розділити на 3 групи: з найбільшою біомасою надземної частини – Київська 17 та Городниця, проміжна група – Порадниця та Краснопілка та з найменшою – Почайна та Смуглянка. Отже, накопичення сухої речовини в надземній частині рослин на одиниці поверхні ґрунту на пізніх етапах онтогенезу між сортами різнилося.

Приріст маси сухої речовини в надземній біомасі посіву у досліджених сортів озимої пшениці як за період цвітіння – молочна стиглість, так і за період молочно-воскова стиглість також відрізнявся (рис. 2).

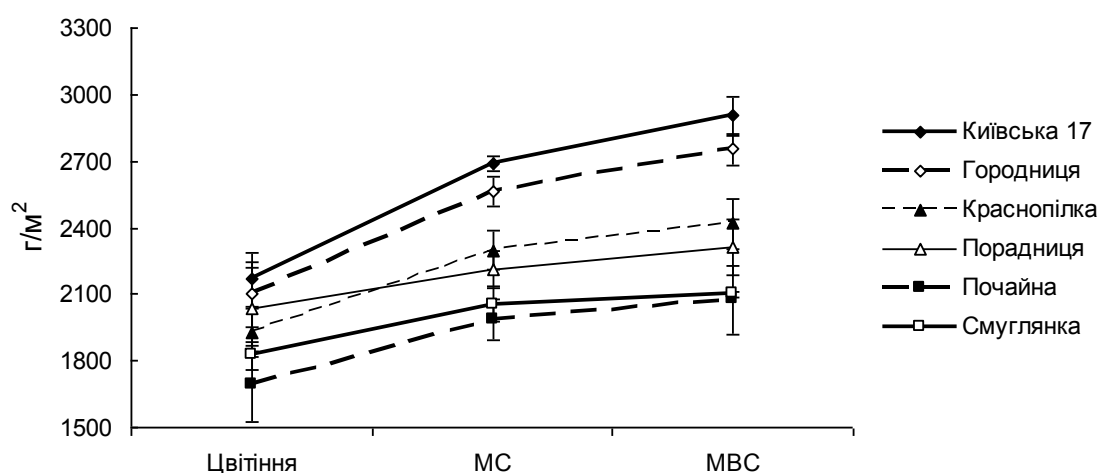


Рис. 1. Динаміка накопичення маси сухої речовини в надземній частині рослин посіву (г/м²) у сортів озимої пшениці упродовж періоду цвітіння – молочно-воскова стиглість.

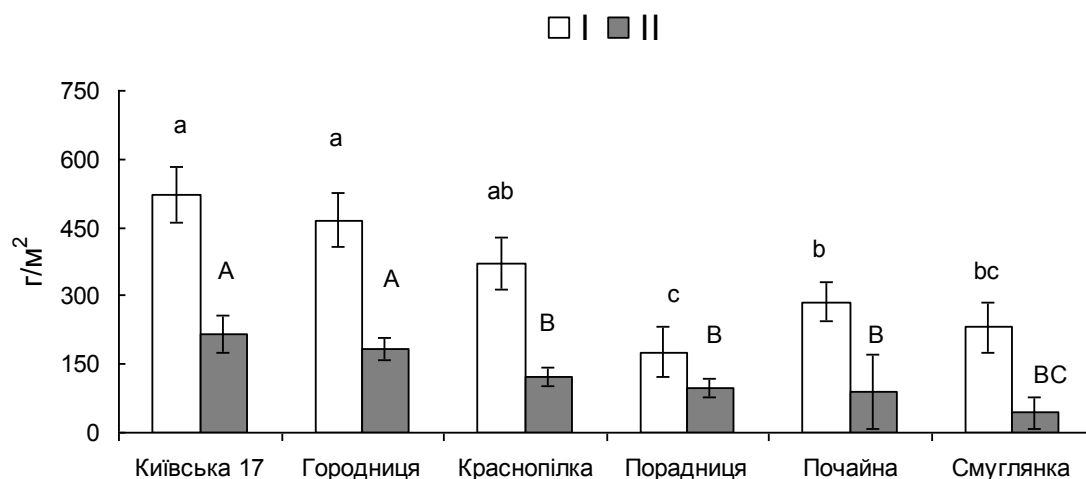


Рис. 2. Приріст маси сухої речовини в надземній частині рослин посіву (г/м²) у сортів озимої пшениці за період цвітіння – молочна стиглість (I) та молочна – молочно-воскова стиглість (II). Значення, позначені однаковими латинськими літерами (малими – у I період, великими – у II), відрізняються неістотно за $p \leq 0,05$.

Більшими приростами сухої речовини надземної частини рослин в обидва періоди відрізнялися сорти Київська 17 (523 ± 61 та 215 ± 41 г/м² відповідно в перший та другий) та Городниця (466 ± 60 та 189 ± 24 г/м²). Ці два сорти також відрізнялися вищою врожайністю: Київська 17 – $11,0 \pm 0,2$ т/га, Городниця – $10,5 \pm 0,2$ т/га, тоді як урожай інших 4 сортів був на $0,5$ – $1,5$ т/га нижчим. При цьому менш посухостійкий сорт Смоглянка як за приростом маси сухої речовини, так і за врожайністю був на рівні менш продуктивних посухостійких сортів.

Оскільки всі досліджені сорти належать до однієї групи стиглості, різниця у часі настання фенологічних фаз розвитку в рік досліджень

у них була незначною – 1-3 доби. Тому кількість сумарної ФАР, що надходила до їх посівів протягом обох періодів, була близькою: 183 – 188 мДж/м² у період цвітіння – МС та 108 – 115 – у період МС – МВС. Проте ефективність використання ФАР між сортами значно коливалася: майже в 3 рази у перший період та більш ніж у 4,5 рази – в другий (табл.). В обидва періоди у найбільш продуктивних сортів ефективність фотосинтетичної конверсії світлової енергії в біомасу була вищою, ніж у решти сортів. При цьому у сорту Смоглянка у період МС – МВС вона неістотно відрізнялася від значень групи менш продуктивних сортів.

Таблиця. Ефективність використання ФАР (г/МДж) сортами пшениці в окремі періоди вегетації

Сорт	Ефективність використання ФАР, г/МДж, за період	
	Цвітіння – молочна стиглість	Молочна – молочно-воскова стиглість
Київська 17	2,86±0,33a	1,87±0,35a
Городниця	2,52±0,32a	1,60±0,21a
Краснопілка	2,02±0,31b	1,10±0,18b
Порадниця	0,96±0,29d	0,89±0,18b
Почайна	1,54±0,23c	0,84±0,76b
Смуглянка	1,23±0,29c	0,40±0,32b

Примітка. Значення, позначені однаковими латинськими літерами, відрізняються неістотно за $p \leq 0,05$.

Наявність генотипної різниці за ефективністю перетворення радіації у біомасу також встановлено й іншими дослідниками. Так, виявлено значні відмінності за величиною ЕВР серед 150 сортів ярої пшениці як у вегетативний, так і в репродуктивний періоди вегетації [10]. Встановлено також, що за умов посухи у високоврожайного сорту Jima1 20 на пізніх етапах онтогенезу ефективність перетворення радіації в біомасу була вищою, ніж у посухостійкого сорту Lainong 0153 [11]. Крашу ефективність використання радіації у сортів пшениці з вищою врожайністю засвідчують також інші автори [12; 13]. Нещодавно встановлено деякі локуси кількісних ознак (QTL), пов'язаних з ефективністю використання сонячної радіації, зокрема на хромосомах 5A та 7A [10].

Нами встановлено позитивний вплив збільшення ЕВР на зернову продуктивність, що підтверджує пряма кореляція цього показника з врожайністю, яка в період МС – МВС була дещо вищою ($r=0,90 \pm 0,22$), ніж у період цвітіння – МС ($R=0,82 \pm 0,29$). Крім цього, виявлено, що ЕВР корелювала з масою 1000 зерен – коефіцієнт кореляції між ними в обидва періоди був однаковим і складав $0,73 \pm 0,34$. Це може свідчити про те, що вища ефективність використання радіації за умов посухи у високопродуктивних сортів може бути пов'язаною з більшою ємністю для стоку асимілятів, яка була зумовленою наливанням зерна. Водночас це може позитивно впливати на фотосинтез їх листків – через систему зворотних зв'язків. Таке припущення підтверджується, зокрема, тим, що інтенсивність фотосинтезу сортів ярої пшениці з вищою ЕВР була більша [14; 15].

Виявлено, що за умов природної посухи сорт пшениці з середньою посухостійкістю в репродуктивний період вегетації істотно не від-

різнявся за величиною ЕВР від сортів із високою посухостійкістю, але відзначався близьким рівнем зернової продуктивності. Водночас високопродуктивні сорти від менш продуктивних сортів відрізнялися вищою ефективністю використання сонячної радіації. Отже, ефективність перетворення сонячної енергії на біомасу є чинником, пов'язаним із високою продуктивністю пшениці, і тому може бути потенційним критерієм для селекції пшениці на високу продуктивність.

Висновки

Встановлено значну різницю в ефективності використання фотосинтетично активної радіації між сортами озимої пшениці однієї групи стиглості в репродуктивний період вегетації. Вища ефективність використання радіації в репродуктивний період сприяла збільшенню зернової продуктивності за рахунок кращого наливання зерна, про що свідчить позитивна кореляція з масою 1000 зерен. З'ясовано, що сорти озимої пшениці Київська 17 та Городниця можуть бути донорами цінних селекційних ознак. Наявність генотипних відмінностей за величиною ЕВР свідчить про те, що цей показник може бути використаним для поліпшення продуктивності пшениці.

Публікація містить результати досліджень, проведених у рамках фінансування проекту цільової комплексної міждисциплінарної програми наукових досліджень НАН України з проблем сталого розвитку та раціонального природокористування в умовах глобальних змін навколишнього середовища: «Екологічно безпечні основи підвищення фотосинтетичної продуктивності агроєкосистем для сталого розвитку України» (КПКВК 6541030).

References

1. Carmo-Silva E., Andralojc P.J., Scales J.C., Driever S.M., Mead A., Lawson T., Raines C.A., Parry M.A.J. Phenotyping of field-grown wheat in the UK highlights contribution of light response of photosynthesis and flag leaf longevity to grain yield. *J. Exp. Bot.* 2017. Vol. 68 (13). P. 3473–3486. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx169>.
2. Ort D.R., Melis A. Optimizing antenna size to maximize photosynthetic efficiency. *Plant Physiol.* 2011. Vol. 155 (1). P. 79–85. doi: 10.1104/pp.110.165886.
3. Pradhan S., Sehgal V.K., Bandyopadhyay K.K., Panigrahi P., Parihar C.M., Jat S.L. Radiation interception, extinction coefficient and use efficiency of wheat crop at various irrigation and nitrogen levels in a semi-arid location. *Indian J Plant Physiol.* 2018. Vol. 23 (3). P. 416–425. doi: 10.1007/s40502-018-0400-x.
4. Priadkina G.O., Stasik O.O., Kapitanska O.C., Yarmolska O.E., Tsukrenko N.V. Efficiency of use of photosynthetically radiation in winter wheat crops. *Bull. Kharkiv National Agrarian University.* 2019. Vol. 1 (46). P. 23–34. <http://hdl.handle.net/123456789/1655>. [in Ukrainian]
5. Acreche M., Sanchez M.J.A., Briceño-Félix G., Slafer G.A. Radiation interception and use efficiency as affected by breeding in Mediterranean wheat. *Field Crops Research.* 2009. Vol. 110 (2). P. 91–97. doi: 10.1016/j.fcr.2008.07.005.
6. Zadoks J.C., Chang T.T., Konzak C.F. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research.* 1974. Vol. 14. P. 415–421. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>.
7. Guide to hydrometeorological stations and posts on actinometric observations. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1973. 223 p. [in Russian]
8. Monteith J.L., Moss C.J. Climate and efficiency of crop production in Britain. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 1977. Vol. 281. P. 277–294. <https://doi.org/10.1098/rstb.1977.0140>.
9. Dospheov B.A. Field experience methods. Moscow: Agropromozdat, 1982. 335 p. [in Russian]
10. Molero G., Joynson R., Pinera-Chavez F.J., Gardiner L.-J., Rivera-Amado C., Hall A., Reynolds M.P. Elucidating the genetic basis of biomass accumulation and radiation use efficiency in spring wheat and its role in yield potential. *Plant Biotechnol. J.* 2019. Vol. 17 (7). P. 1276–1288. <https://doi.org/10.1111/pbi.13052>.
11. Han H., Li Z., Ning T., Zhang X., Shan Y., Bai M. Radiation use efficiency and yield of winter wheat under deficit irrigation in North China. *Plant Soil Environ.* 2008. Vol. 54. P. 313–319. <https://doi.org/10.17221/421-PSE>.
12. Chaudhary J.L., Patel S.R., Verma P.K., Manikandan N., Khavse R. Thermal and radiation effect studies of different wheat varieties in Chhattisgarh plains zone under rice-wheat cropping system. 2016. *Mausam.* Vol. 67 (3). P. 677–682. 10.54302/mausam.v67i3.1387.
13. Awal M.A., Amin M. R., Rhaman M. S., Shelley I.J., Rahman M.Sh. Canopy Characters and Light-Use Efficiency of Some Modern Wheat Varieties in Bangladesh. *J. Agric. Ecol. Res. Intern.* 2017. Vol. 11. P. 1–16. <https://doi.org/10.9734/JAERI/2017/31744>.
14. Reynolds M.P., Pellegrineschi A., Scovmand V. Sink limitation to yield and biomass: a summary of some investigations in spring wheat. *Ann. Appl. Biol.* 2005. Vol. 146, (1). P. 39–49. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2005.03100.x>.
15. Cabrera-Bosquet L., Fournier C., Brichet N., Welcker C., Suard B., Tardieu F. High-throughput estimation of incident light, light interception and radiation-use efficiency of thousands of plants in a phenotyping platform. *New Phytol.* 2016. Vol. 212 (1). P. 269–281. <https://doi.org/10.1111/nph.14027>.

PRIADKINA G.O.¹, STASIK O.O.¹, MAKHARYNSKA N.M.¹, POLIOVYI A.M.²

¹ Institute of Plant Physiology and Genetics of Natl. Acad. Sci. of Ukraine, Ukraine, 03022, Kyiv, Vasylkivska str., 31/17

² Odessa State Ecological University, Ukraine, 65016, Odessa, Lvivska str., 15

ESTIMATION OF PHOTOSYNTHETIC LIGHT ENERGY CONVERSION EFFICIENCY IN WINTER WHEAT VARIETIES UNDER DROUGHT

Aim. Search for physiological characteristics of high-yielding varieties of winter wheat based on a comparative analysis of efficiency of solar energy conversion into biomass under natural drought during the grain filling period. **Methods.** Morphometric, actinometric, statistical. **Results.** It was found that high-yielding varieties of winter wheat had higher, than less productive ones, increment of aboveground dry matter and the radiation use efficiency in the reproductive period of development. A positive correlation was established between the radiation use efficiency of winter wheat varieties at that period and grain yield, and weight of 1000 grains. It has been suggested that the higher efficiency of light energy conversion to biomass at drought conditions in high-yielding varieties may be related to the higher demand for assimilate due to grain filling and high drought-tolerance of photosynthetic apparatus. **Conclusions.** A significant genotypic difference in the radiation use efficiency between winter wheat varieties of one maturity group at the reproductive period was established. Higher radiation use efficiency in the reproductive period contributed to the increase of grain productivity due to better grain filling, as evidenced by the positive correlation with the mass of 1000 grains. The presence of significant genotypic variability in this trait indicates that it can be used for genetic improvement of wheat productivity. It was found that the varieties of winter wheat Kyivska 17 and Horodnytsia can be used as donors of valuable breeding traits.

Keywords: *Triticum aestivum* L., yield, radiation use efficiency, drought.