

4. Barr D. B., Thomas K., Curwin B., Landsittel D., Raymer J., Lu C. et al. Biomonitoring of exposure in farmworker studies. *Environ Health Perspect.* 2006. № 114(6). P. 936–42.

5. Alavanja M. C., Hoppin J. A., Kamel F. Health effects of chronic pesticide exposure: cancer and neurotoxicity. *Ann Rev Public Health.* 2004. № 25. P. 155–97.

6. Про пестициди і агрохімікати : закон України (від 2 березня 1995 року № 86/95–ВР). *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*. 1995. № 14. С. 92.

7. Регламентация польових токсиколого-біологічних випробувань пестицидів на прикладі країн Європейського Союзу. Виклики для України. (Огляд нормативно-правових та науково-методичних документів) / М. Г. Проданчук, І. В. Лепюшкін, О. П. Кравчук [та ін.]. *Сучасні проблеми токсикології, харчової та хімічної безпеки*. 2018. № 1/2(64/65). С. 10-26.

8. Перелік пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні : офіц. видання. Дніпропетровськ, 2006. 318 с.

УДК 633.11:581.1:631.559:632.11

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.131.13>

ВПЛИВ ФОТОСИНТЕЗУ НА ВРОЖАЙНІСТЬ ПШЕНИЦІ ЗА СТРЕСОВИХ УМОВ

Кобилінська О.М. – здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії
четвертого року навчання,
Полтавський державний аграрний університет

Використання сучасних сортів пшениці озимої зі значним генетичним потенціалом продуктивності рослин потребують належних умов для росту та розвитку на всіх етапах органогенезу. Важлива роль в оптимізації умов вирощування та підвищенні рівня реалізації потенціалу зернової продуктивності пшениці озимої відіграють своєчасні заходи з удобрення та захисту від хвороб, що зберігають асиміляційну поверхню листків і продовжують їх продуктивне дозрівання. В результаті відбувається покращення швидкості фотосинтезу та збільшення надходження пластичних речовин до зернівки, що сприяє підвищенню врожайності зерна рослин озимої пшениці. У формуванні зернини найбільшу участь приймають прапорцевий і підпрапорцевий листки (41%), третій і четвертий листки (32%), стебло (19%) і колос (7%). Оптимальний розвиток посівів пшениці озимої відбувається за умови площі листків на рівні 40–50 тис. м²/га, тобто коли індекс листової поверхні дорівнює 4–5.

Важливим для рослин пшениці озимої є період куціння, коли відбувається закладання продуктивних стебел і елементів колосу, які в значній мірі формують майбутню врожайність. Ефективне поглинання фотосинтетичної радіації й активне нарощування біомаси посівами пшениці озимої розпочинається з появою третього листка та продовжується до завершення молочної стиглості. У перші тижні після цвітіння відбувається період активного формування зернівок до колоса за надходження асимілянтів. Після колосіння у колосі, прапорцевому та підпрапорцевому листках синтезуються запасні речовини, які транспортуються та накопичуються в ендоспермі зернівок. Ефективність перебігу цього фізіологічного процесу впливає на масу кожної зернини, а, отже, і на масу 1000 насінин. Таким чином, тісний взаємозв'язок хлорофільного фотосинтетичного потенціалу листків засвідчує важливість регулювання потужності фотосинтетичного апарату для отримання потенційних урожаїв.

Ключові слова: продуктивність, потенціал, вегетація, удобрення, фотосинтетична продуктивність, асимілянти, індекс листової поверхні.

Kobylynska O.M. The effect of photosynthesis on wheat yield capacity under stress conditions

The use of modern winter wheat varieties with the significant genetic potential of plant productivity requires the appropriate conditions for their growth and development at all stages of organogenesis. Timely measures for fertilization and protection against diseases play the important role in optimizing growth conditions and raising the level of the implementation of winter wheat grain productivity. Such measures preserve the assimilation leaf area and prolong their productive longevity. As a result, the improvement of photosynthesis rate and increase of incoming plastic substances to the kernel take place, which leads to raising the yield capacity of winter wheat plants grain. Flag and sub-flag leaves (41%), the third and fourth leaves (32%), the stem (19%), and the spike (7%) participate most of all in kernel formation. The optimal development of winter wheat areas takes place at the level of 40–50 m²/ha leaf area that is when the leaf area index is 4–5.

The period of tillering is important for winter wheat plants when the formation of productive stems and spike elements takes place. They considerably form future yields. The effective absorption of photosynthetic radiation and active increase of biomass by winter wheat areas starts with the appearance of the third leaf goes on to milky ripeness completion. During the first weeks after blooming, the period of active kernel formation in the spike takes place in case of assimilates incoming. After tillering, the reserve substances are synthesized in the spike, flag and sub-flag leaves. These substances are transported and accumulated in the kernel endosperm. The effectiveness of this physiological process flow affects the weight of each kernel and, finally, the thousand-kernel weight. Thus, the close connection of leaf chlorophyll photosynthetic potential proves the significance of regulating the power of photosynthetic mechanism for obtaining potential yields.

Key words: productivity, potential, vegetation, fertilization, photosynthetic productivity, assimilates, leaf area index.

Постановка проблеми. Вирощування пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.) в Україні займає перше місце серед посівних площ сільськогосподарських культур і за 2019–2021 рр. становить 22,8–24,2 % загальної площі або 49,4–51,4 % площі зернових і зернобобових культур з часткою валового збору 36,5–37,4 % [1]. З урахуванням мінливості природно-кліматичних умов, загострення економічних проблем сільськогосподарських виробників, зменшення посівних площ у результаті воєнних дій (тимчасова окупація, замінування тощо) питання збільшення врожайності пшениці озимої є актуальним.

Як відомо, основними компонентами, що формують рівень урожаю зерна, є: кількість продуктивних стебел на одиницю площі (м²); кількість колосків і зернин у колосі; маса 1000 насінин (натура зерна). При цьому, ефективність синтезу запасних речовин у колосі, які транспортуються та накопичуються в ендоспермі зернівок, впливає на масу кожної зернини, що в результаті формує масу 1000 насінин. Загальна маса зерна на 41 % забезпечується асимілянтами, які утворюються у прапорцевому та підпрапорцевому листках [2], що свідчить про вплив фотосинтезу на врожайність пшениці озимої.

Дослідженнями [3, 4] виявлено у різних генотипів пшениці озимої тісний кореляційний зв'язок між фотосинтетичним потенціалом хлорофілу в листі та продуктивністю культури, що дозволяє прогнозувати величину врожайності. Висока кореляція між фотосинтетичним потенціалом хлорофілу та врожайністю сільськогосподарських культур зумовлена репрезентативністю фотосинтетичного потенціалу хлорофілу як параметра, що відображає динаміку виробництва біомаси й ефект поглинутої фотосинтетично активної радіації у посівах протягом вегетації [5, 6].

Через глобальні кліматичні зміни частота та тривалість періодів з підвищеними температурами в Україні значно зросла, що викликає у пшениці озимої високотемпературний стрес, який пригнічує синтез хлорофілу та фотосинтетичну

активність, прискорює старіння листя, зменшує тривалість життя листя, пригнічує та перешкоджає формуванню елементів колосу та фертильності пилку, пригнічує формування та налив насіння, що зрештою спричиняє зменшення кількості та маса зерна в колосі [7, 8].

Постановка завдання. Мета статті – дослідити вплив фотосинтезу на врожайність пшениці озимої задля зменшення впливу стресових умов.

Виклад основного матеріалу дослідження. Природно-кліматичні умови сьогодення створюють достатньо значні стресові умови для вегетації й урожайності пшениці озимої, які проявляються у вигляді посух, суховіїв, злив і градів, безсніжних теплих зим, несприятливих умов перезимівлі, нестачі вологи або її надлишок під час наливання зерна [9]. Стресові умови додатково створюються дефіцитом або незбалансованістю елементів живлення, підвищеною кислотністю чи лужністю ґрунту, впливом хімічних препаратів, шкідниками, хворобами тощо [10].

Перебування рослин у стресі потребує витрачання багато енергії на їх переборення, що відображається негативно на продуктивному розвитку. При цьому є періоди, коли стресові фактори характеризуються найбільшим негативним впливом на розвиток рослин озимої пшениці (фази проростання, кущення, трубкування, цвітіння, наливу зерна). Знаходячись у стресовому стані, рослини пшениці озимої можуть втратити потенціал урожайності на 6–7 т з 1 га (див. рис. 1) [11, 12].

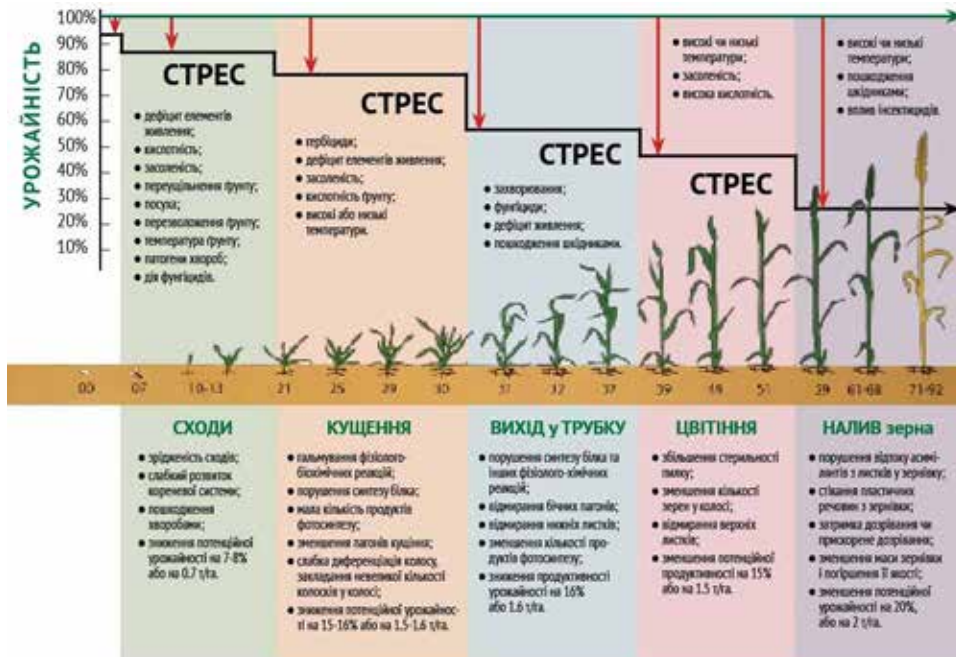


Рис. 1. Вплив стресових умов на врожайність пшениці озимої

Отже, надзвичайно важливо, щоб рослини пшениці озимої зазнавали найменшого стресу та перші тижні після цвітіння у період активного формування зернівок до колоса відбувалося надходження асимілянтів. Окрім прапорцевого та

підпрапорцевого листків, на 51 % у формуванні зернини беруть участь стебло, третій і четвертий листки, а 7 % з накопичених асимілянтів синтезуються безпосередньо у самому колосі (рис. 2, 3) [2]. Таким чином, вирішальне значення у формуванні зернової продуктивності пшениці озимої має асиміляційна поверхня трьох верхніх листків рослини [13].

У період між 10–25-м днем після цвітіння більше 50 % органічних речовин синтезуються та надходять до зернівки пшениці озимої, що обумовлює особливу увагу в цей період до захисту рослин від хвороб поряд із системою удобрення. Завдяки таким заходам можливе максимальне збереження асиміляційної поверхні листків з продовженням їх продуктивного довголіття, що сприятиме покращенню швидкості фотосинтезу та збільшенню надходження пластичних речовин до зернівки, а це може зрештою підвищити врожайність зерна рослин озимої пшениці [14].

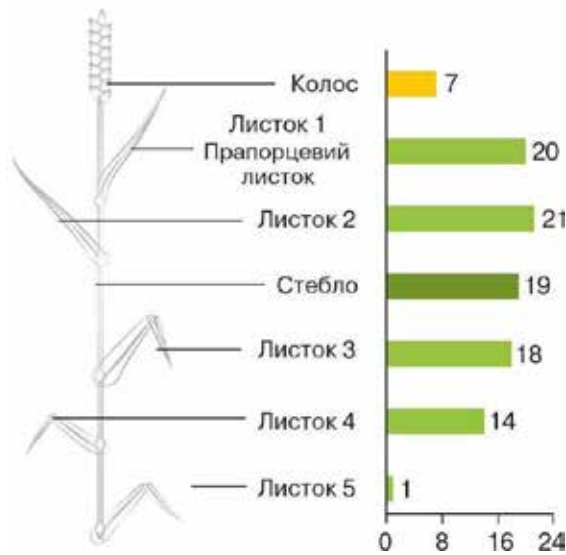


Рис. 2. Розподіл фотосинтетичної поверхні між окремими частинами рослин зернових культур

Таким чином, хвороби листя пшениці озимої є головною причиною зменшення її площі фотосинтетичної поверхні протягом періоду вегетації та можуть сприяти її передчасному завершенню. Тому вирішальним завданням, яке покладено на систему захисту, – уникнення подібних втрат і забезпечення максимально тривалого функціонування фотосинтетичного апарату рослини. Це підтверджується дослідженнями [15], згідно з якими врожайність пшениці озимої, перш за все, знаходиться в залежності від сумарної фотосинтетичної продуктивності, яка визначається за величиною асиміляційної поверхні й інтенсивністю наростання.

На рис. 4 відображено динаміку збільшення площі фотосинтетичної поверхні посівів (через індекс листової поверхні, GAI) пшениці озимої, де темно-зеленим кольором зображено цей процес у захищених рослин, зеленим – у хворих рослин (знають стрес) [2].



Рис. 3. Процес біосинтезу та перерозподілу асимілянтів у рослинах пшениці озимої в репродуктивному періоді

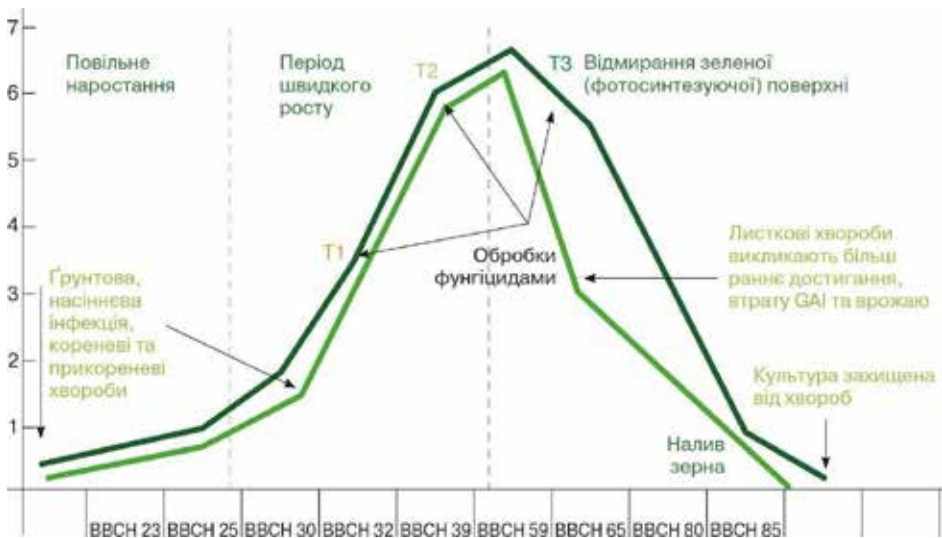


Рис. 4. Динаміка формування площі фотосинтетичної поверхні рослин пшениці озимої

Оптимальний розвиток посівів пшениці озимої буде за умови площі листків на рівні 40–50 тис. м²/га, тобто коли індекс листової поверхні дорівнює 4–5. Так, якщо площа фотосинтетичної поверхні дорівнює 40 тис. м²/га (GAI = 4), відбувається поглинається до 70–80 % сонячної радіації, а за умови досягнення 50 тис. м²/га (GAI = 5) вбирається до 95 % енергії світла (ФАР). Якщо площа листків рослини менша за оптимальну, це свідчить про неефективне засвоєння ФАР, а більша – про порушення газообміну й освітленості у посівах, взаємозатінення значної частини листків середнього та нижнього ярусів викликає їх часткове чи повне відмирання, що призводить до зниження продуктивності фотосинтезу [16].

Також важливим є період кушіння (початок виходу в трубку) для рослин пшениці озимої, оскільки у цей період відбувається закладання продуктивних стебел і елементів колосу – складових, які в значній мірі формують майбутню врожайність. За стресових умов у цьому періоді зниження потенційної врожайності може становити 15–16 % (рис. 1, 4) [2, 11].

Згідно з рис. 4 доцільно стверджувати, що ефективне поглинання фотосинтетичної радіації й активне нарощування біомаси посівами пшениці озимої розпочинається з появою третього листка (ВВСН 32) та продовжується до завершення молочної стиглості (ВВСН 79) [2]. У зв'язку з цим, задля реалізації максимального генетичного потенціалу продуктивності посіви пшениці озимої повинні бути на 100 % захищені в цей період від ураження хворобами, а також не відчувати дефіциту вологи й елементів живлення (див. рис. 1).

Результати досліджень підтверджують, що достатній рівень забезпечення елементами живлення забезпечує зростання показників фотосинтетичної діяльності посівів пшениці озимої – індексу листової поверхні та вмісту хлорофілу в листках. В результаті істотне збільшення хлорофільного потенціалу посівів (на 50–100 % відносно контролю) відбулося у варіантах із високими дозами мінерального живлення [17]. При цьому, треба враховувати [18, 19], що пшениця озима характеризується високою кореляцією між фотосинтетичним потенціалом хлорофілу та продуктивністю за оптимальних погодних умов.

Висновки. Використання закономірностей формування врожаю пшениці озимої та факторів, що його формують, дозволяє ефективно використовувати ресурси добрив, забезпечувати захист від хвороб, згладжувати негативний вплив природно-кліматичних умов задля отримання потенційних урожаїв. Важливу роль у цьому процесі необхідно приділяти процесу фотосинтезу на різних стадіях вегетації, оскільки існує тісний кореляційний зв'язок між фотосинтетичним потенціалом хлорофілу в листі та продуктивністю культури, що дозволяє прогнозувати величину врожайності. Своєчасні заходи з підживлення рослин і захисту від хвороб дозволяє зберегти асиміляційну поверхню листків з продовженням їх продуктивного довголіття, що сприятиме покращенню швидкості фотосинтезу та збільшенню надходження пластичних речовин до зернівки, а це зрештою підвищує врожайність зерна рослин озимої пшениці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Сільське господарство України 2021. Київ : Державна служба статистики України, 2022. 222 с.
2. Фази розвитку зернових і процес формування врожаю. URL: <https://www.agronom.com.ua/fazy-rozvytku-zernovyh-i-protses-formuvannya-vrozhayu/> (дата звернення: 25.04.2023 р.).
3. Прядкіна Г.О., Стасік О.О. Спосіб прогнозування врожайності озимої пшениці. Патент на використання моделі 67232 (Україна) МПК (2012.01) А 01G 7/00

A01G 1/00. Інститут фізіології рослин і генетики НАН України (Україна). № у 2011 086464. Заявл. 06.01.11. Опубл. 10.02.12 р. *Бюл. № 3*.

4. Короткова І.В., Чайка Т.О., Ромашко Т.П., Рибальченко А.М. Вміст фотосинтетичних пігментів у рослинах пшениці полби як критерій продуктивності за традиційної та органічної технології вирощування. *Innovative biosystems and bioengineering*. 2022. № 6 (1). С. 31–39. DOI 10.20535/ibb.2022.6.1.255277.

5. Calderini D.F., Dreccer M.F., Slafer G.A. Consequences of plant breeding on biomass growth, radiation interception and radiation use efficiency in wheat. *Field Crops Research*. 1997. Vol. 3. P. 271–281.

6. Effect of irrigation and planting patterns on radiation use efficiency and yield of winter wheat in North China / Q. Li et al. *Agricultural Water Management*. 2008. Vol. 4. P. 469–476. DOI 10.1016/j.agwat.2007.11.010.

7. Bojović B., Stojanović J. Chlorophyll and carotenoid content in cultivars as function of mineral nutrition. *Archives of Biological Sciences*. 2005. Vol. 4. 283–290.

8. Long S.P., Ort D.R. More than taking the heat: crops and global change. *Current Opinion in Plant Biology*. 2010. Vol. 3. P. 241–248. DOI 10.1016/j.pbi.2010.04.008.

9. Kutasy E., Csajbók J., Hunyadi Borbély É. Relations between yield and photosynthetic activity of winter wheat varieties. *Proceedings of the IV. Alps-Adria Scientific Worksop* (February 28 – March 5, 2005). Portoroz, Slovenia, 2005. Vol. 33, No. 1. P. 173–176.

10. Priadkina G.A., Stasik O.O., Mikhalskaya L.N., Shvartau V.V. A relationship between chlorophyll photosynthetic potential and yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) at elevated temperatures. *Agricultural biology*. 2014. № 5. P. 88–95. DOI 10.15389/agrobiol.2014.5.88eng

11. Іванчук М.Д. Вплив стресів на потенційну продуктивність озимої пшениці. URL: <https://www.agroone.info/publication/vpliv-stresiv-na-potencijnu-produktivnist-ozimoj-pshenicj/> (дата звернення: 25.04.2023 р.).

12. Вплив комплексних добрив на біопродуктивність та функціональний стан фотосинтетичного апарату у високоінтенсивних сортів пшениці озимої / В.О. Стороженко та ін. *Вісник аграрної науки*. 2012. № 3. С. 17–20.

13. Рожков А.О., Чигрин О.В. Біометричні показники розвитку пшениці озимої за умов дії комплексних добрив і передпосівної стимуляції насіння. *Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва* : VI Міжнародна науково-практична конференція. https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/28176/1/6_SCIENTIFIC%20BASIS_2022-254-257.pdf (дата звернення: 25.04.2023 р.).

14. Improving winter wheat photosynthesis, nitrogen use efficiency, and yield by optimizing nitrogen fertilization / M. S. Kubar et al. *Life*. 2022. Vol. 12, Issue 10, 1478. DOI 10.3390/life12101478.

15. Araus J., Sanchez-Bragado R., Vicente R. Improving crop yield and resilience through optimization of photosynthesis: panacea or pipe dream? *Journal of Experimental Botany*. 2021. Vol. 72, Issue 11. P. 3936–3955. DOI 10.1093/jxb/erab097.

16. Панфілова А. В., Гамаюнова В. В. Фотосинтетична діяльність посівів пшениці озимої залежно від сорту та живлення в умовах південного Степу України. *Наукові горизонти*. 2018. № 2 (65). С. 3–10.

17. Прядкіна Г.О., Швартау В.В., Михальська Л.М. Потужність фотосинтетичного апарату, зернова продуктивність та якість зерна інтенсивних сортів м'якої озимої пшениці за різного рівня мінерального живлення. *Фізіологія і біохімія культурних рослин*. 2011. Т. 43. № 2. С. 158–163.

18. Photosynthetic and Yield Characteristics of Winter Wheat under Two Rounds of Irrigation during Spring / X.S. Li et al. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 427, 012012. DOI 10.1088/1755-1315/427/1/012012.

19. Ashraf M., Harris P.J.C. Photosynthesis under stressful environment: An overview. *Photosynthetica*. 2013. Vol. 51 (2). P. 163–190. DOI 10.1007/s11099-013-0021-6.