

DOI: 10.32636/01308521.2022-(72)-1-4

УДК 633.174:631.5

Л. А. ПРАВДИВА, кандидат с.-г. наук

В. А. ДОРОНІН, доктор с.-г. наук

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН

вул. Клінічна, 25, м. Київ,

03141, e-mail: bioplant\_@ukr.net

## **ВПЛИВ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ НА ФОТОСИНТЕТИЧНУ ПРОДУКТИВНІСТЬ СОРГО ЗЕРНОВОГО**

Сорго зернове – це культура, яка має вагомі переваги над іншими сільськогосподарськими культурами за рахунок своїх господарсько цінних біологічних особливостей. Завдяки ксеноморфній структурі рослин, посухо- і спекостійкості, солевитривалості, невибагливості до умов вирощування культура формує високу продуктивність зерна і є широко відомою у світовому землеробстві. Використовують сорго зернове в продовольчих, кормових та технічних цілях, тому дослідження елементів технології вирощування, а саме внесення мінеральних добрив, належить до актуальних завдань, що сприятиме формуванню високої фотосинтетичної продуктивності культури.

У статті представлено результати досліджень впливу різних доз мінеральних добрив на площу листової поверхні, фотосинтетичну діяльність та чисту продуктивність фотосинтезу рослин сортів сорго зернового в Правобережному Лісостепу України.

Метою роботи було дослідити вплив мінерального живлення рослин на фотосинтетичну продуктивність сорго зернового в Правобережному Лісостепу України.

Дослідження проводили у 2016–2020 рр. в умовах Білоцерківської дослідно-селекційної станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН у Правобережному Лісостепу України.

Досліджено, що збільшення площі листової поверхні рослин сорго зернового відбувалося за рахунок підвищення дози мінеральних добрив. Найвищою вона була за внесення розрахункової ( $N_{50}P_{40}K_{70}$ ) та високих доз ( $N_{90}P_{90}K_{90}$  і  $N_{120}P_{120}K_{120}$ ) добрив у період викидання волоті – цвітіння. Чиста продуктивність фотосинтезу та урожайність зерна обох сортів у цих варіантах досліду були також найвищими.

Встановлено лінійну кореляційну залежність між площею листової поверхні та чистою продуктивністю фотосинтезу, яка описується рівнянням регресії  $y = 2,0818x + 26,668$  ( $R^2 = 0,9596$ ) і  $y = 2,8377x + 21,114$  ( $R^2 = 0,975$ ), а також між чистою продуктивністю фотосинтезу та урожайністю зерна сорго зернового:  $y = 1,0421x + 0,8623$  ( $R^2 = 0,9441$ ) та  $y = 1,3854x - 1,0694$  ( $R^2 = 0,938$ ).

© Правдива Л. А., Доронін В. А., 2022

**Ключові слова:** сорти, удобрення, площа листкової поверхні, фотосинтетичний потенціал, чиста продуктивність фотосинтезу.

**Liudmyla Pravdyva, Volodymyr Doronin**

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of NAAS of Ukraine

### **Influence of mineral fertilizers on photosynthetic productivity of grain sorghum**

Grain sorghum is a crop that has significant advantages over other crops due to its economically valuable biological features. Due to the xenomorphic structure of plants, drought and heat resistance, salt tolerance, unpretentiousness to growing conditions, the culture forms a high grain productivity and is widely known in agriculture world. Grain sorghum is used for food, feed and technical purposes. Therefore, the study of elements of cultivation technology, namely the application of mineral fertilizers, is one of the urgent tasks that will contribute to the formation of high photosynthetic productivity of the culture.

The article presents the results of research on the effect of different doses of mineral fertilisers on leaf surface area, photosynthetic activity and net productivity of photosynthesis of sorghum plants in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine.

The purpose of the research is to investigate the influence of mineral nutrition of plants on the photosynthetic productivity of grain sorghum in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine.

The research was conducted in 2016–2020 in the conditions of the Bila Tserkva research and selection station of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beets NAAS on the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine.

It was investigated that the increase in the leaf surface area of sorghum plants was due to the increase in doses of mineral fertilisers. It was highest with the estimated application (N<sub>50</sub>P<sub>40</sub>K<sub>70</sub>) and high doses of fertilisers (N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> and N<sub>120</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub>) during the period of panicles' ejection – flowering. The net productivity of photosynthesis and grain yield of both varieties in these variants of the experiment were also the highest.

A linear correlation was found between leaf surface area and net photosynthesis productivity, which is described by the regression equation  $y = 2.0818x + 26.668$  ( $R^2 = 0.9596$ ) and  $y = 2.8377x + 21.114$  ( $R^2 = 0.975$ ), as well as between net productivity photosynthesis and grain yield of sorghum:  $y = 1.0421x + 0.8623$  ( $R^2 = 0.9441$ ) and  $y = 1.3854x - 1.0694$  ( $R^2 = 0.938$ ).

**Keywords:** varieties, fertilizers, leaf surface area, photosynthetic potential, net productivity of photosynthesis.

**Вступ.** Суттєві зміни клімату в Україні спонукають сільгоспвиробників переглядати концепції та практичні підходи до формування спектру культур агроценозів, спроможних забезпечувати отримання стабільних і економічно вигідних урожаїв у все більш жорстких за значенням гідротермічного коефіцієнта умовах [1, 4, 5].

Сорго звичайне, двокольорове (зернове) (*Sorghum bicolor L.*) – одна з найдавніших культур у світовому землеробстві. Його батьківщина – країни Африки, Індія і Китай. Посівні площі сорго у світі становлять приблизно 50 млн га. Найбільші посівні площі сорго в Індії – 16 млн га, в країнах Африки – 14 млн га, у США – 6 млн га [7, 15]. У світі за площами вирощування сорго посідає п'яте місце після пшениці, рису, кукурудзи і ячменю та третє серед зернофуражних культур [6].

Серед польових культур сорго беззаперечно є лідером за здатністю переносити тривалі посухи, високі температури повітря та ґрунту [9, 17, 25], адже листки рослин C<sub>4</sub> типу фотосинтезу значно менше потерпають від сильного нагрівання та економніше витрачають вологу [2, 20, 22, 28]. Транспіраційний коефіцієнт сорго становить 300, тоді як кукурудзи – 338, пшениці озимої – 513, а сої – 520. Тому навіть за наявності незначних кількостей вологи в ґрунті сорго продовжує ріст та розвиток попри сильну спеку та суховії. А коли вологи в ґрунті недостатньо, рослини сорго здатні впадати в анабіоз та відновлювати свою вегетацію після надходження опадів [10, 13].

Донедавна сорго широко використовували в харчовій та кормовій промисловості [12, 26, 30], проте в останні роки він став сировиною для виробництва біопалива (біоетанолу та твердого палива) як енергетична культура [14, 18, 23, 29].

Одним з основних процесів життєдіяльності рослин є фотосинтез, у результаті якого в листках за безпосередньої участі світла, вуглекислого газу, води та елементів мінерального живлення утворюються органічні речовини, формується врожай певної величини та якості. Врожайність польової культури визначається насамперед оптимальними розмірами та продуктивністю роботи фотосинтетичного апарату, який у процесі росту й розвитку рослин повинен якомога швидше досягти належних параметрів. Одним із факторів, що регулює площу асиміляційної поверхні, є рівень мінерального живлення рослин, тому в період вегетації необхідно створювати найсприятливіші умови живлення, щоб рослини сформували оптимальну площу листків для ефективної фотосинтетичної діяльності [11, 21]. Дефіцит мінерального живлення призводить до зниження фотосинтетичної асиміляції культури й параметрів урожайності [16, 27, 31].

Формування високі врожайності культури залежить від фотосинтетичної діяльності агроценозу, який визначається такими показниками, як площа листової поверхні, фотосинтетичний потенціал,

чиста продуктивність фотосинтезу [3]. Проте фотосинтетична діяльність залежить від потенціалу вирощуваної культури та елементів технології вирощування, зокрема, удобрення [19, 24].

Застосування різних доз добрив до сорго зернового недостатньо вивчено в Україні, тому потребує детального аналізу.

Мета досліджень – дослідити вплив мінерального живлення рослин на фотосинтетичну продуктивність сорго зернового в Правобережному Лісостепу України.

**Матеріали і методи.** Дослідження проводили у 2016–2020 рр. в умовах Білоцерківської дослідно-селекційної станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України.

В досліді вивчали сорти (фактор А) Дніпровський 39 і Вінець, а також дози добрив (фактор В):  $N_0P_0K_0$  – без добрив (контроль);  $N_{30}P_{30}K_{30}$ ;  $N_{60}P_{60}K_{60}$ ;  $N_{90}P_{90}K_{90}$ ;  $N_{120}P_{120}K_{120}$  та розрахункова доза добрив, яка в середньому за роки досліджень становила  $N_{50}P_{40}K_{70}$ .

Дослід закладали за методом систематичних повторювань: у кожному повторенні варіанти дослідів розміщували по ділянках послідовно. Повторюваність дослідів – чотириразова. Сівбу здійснювали у II декаді травня з нормою висіву 200 тис. шт./га й шириною міжрядь 45 см.

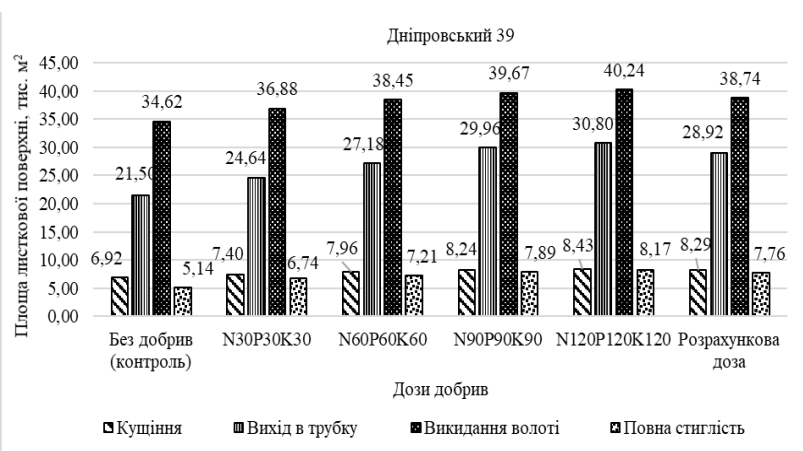
Площу листової поверхні та чисту продуктивність фотосинтезу визначали за методикою А. А. Ничипоровича [8]. Розрахункову дозу добрив розраховували за балансово-розрахунковим методом.

Об'єктом досліджень були ранньостиглі сорти сорго зернового Дніпровський 39 (Синельниківська СДС ДУ «Інститут зернових культур» НААНУ) та Вінець (Генічеська ДС ДУ ІЗК НААНУ).

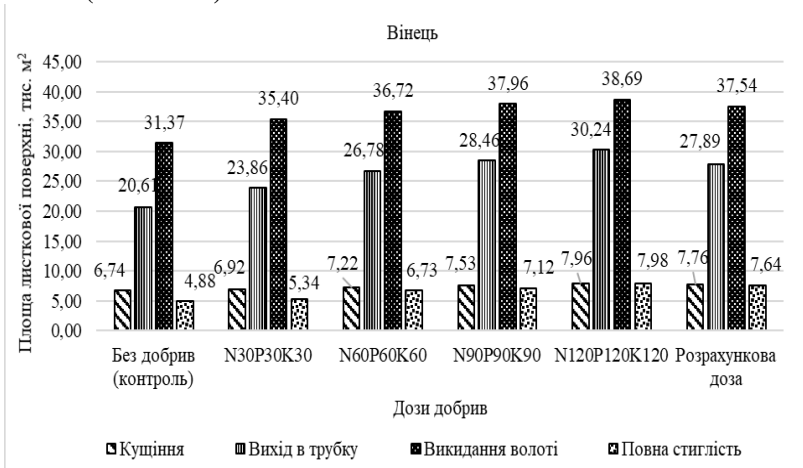
Ґрунти дослідної ділянки – чорноземи типові глибокі малогумусні крупно-пилувато-середньосуглинкового гранулометричного складу. Карбонати магнію та кальцію залягають на глибині 55–65 см. В орному шарі (0–30 см) міститься приблизно 17% мулуватих частинок і від 46 до 54% – крупного пилу. Рельєф рівнинний, глибина залягання ґрунтових вод – 8 м. Ступінь насиченості основами – 90%.

Погодні умови в роки проведення досліджень були сприятливими для вирощування сорго зернового, проте з певними перевищеннями середніх багаторічних показників.

**Результати та обговорення.** Результати отриманих досліджень свідчать, що площа листової поверхні змінювалась залежно від настання певних періодів вегетації та від різних доз добрив (рис. 1, 2).



**Рис. 1.** Площа листкової поверхні рослин сорго зернового сорту Дніпровський 39 залежно від рівня мінеральних добрив, тис. м<sup>2</sup> (2016–2020)



**Рис. 2.** Площа листкової поверхні рослин сорго зернового сорту Вінець залежно від рівня мінеральних добрив, тис. м<sup>2</sup> (2016–2020)

Збільшувалась вона від появи сходів до фази викидання волоті – цвітіння. Від фази цвітіння до фази досягання з розвитком рослин сорго зернового знижуються темпи наростання листкової площі,

відповідно, і продуктивність фотосинтезу в результаті всихання листків нижніх ярусів. У цей період відбувається перерозподіл і відтік пластичних речовин вегетативних органів у генеративні.

Найменшу площу листової поверхні спостерігали у варіанті без внесення добрив упродовж усього вегетаційного періоду. Із збільшенням доз добрив від  $N_{30}P_{30}K_{30}$  до  $N_{120}P_{120}K_{120}$  площа листової поверхні в період максимального наростання збільшувалась від 36,88 до 40,24 тис.  $m^2$  у сорту Дніпровський 39 та від 35,40 до 38,69 тис.  $m^2$  у сорту Вінець.

За розрахункової дози добрив площа листової поверхні у період максимального наростання дорівнювала 38,74 тис.  $m^2$  у сорту Дніпровський 39 та 37,54 тис.  $m^2$  у сорту Вінець, що вище за контроль на 11,9 та 19,6% відповідно.

Тривалість сформованої асиміляційної поверхні є однією з важливих умов забезпечення високої продуктивності культури й виражається показником фотосинтетичного потенціалу, який узагальнено характеризує фотосинтетичну діяльність рослин упродовж періоду вегетації. Залежно від умов вирощування культури він може варіювати в значних межах.

Фотосинтетичний потенціал змінювався залежно від розміру площі листової поверхні в період вегетації, яка, у свою чергу, залежала від внесення різних доз мінеральних добрив (табл. 1).

Так, найвищий фотосинтетичний потенціал спостерігався за внесення розрахункової та високих доз добрив  $N_{90}P_{90}K_{90}$  і  $N_{120}P_{120}K_{120}$  та становив, відповідно, 1,39; 1,42 і 1,47 млн  $m^2/га$  за добу в сорту Дніпровський 39 та 1,32; 1,34 і 1,37 млн  $m^2/га$  за добу в сорту Вінець.

У варіанті без внесення добрив фотосинтетичний потенціал був найнижчим і дорівнював 1,24 млн  $m^2/га$  в сорту Дніпровський 39 та 1,18 млн  $m^2/га$  за добу в сорту Вінець.

Чиста продуктивність фотосинтезу є показником, який характеризує інтенсивність фотосинтезу посівів і показує відношення добового приросту сухої речовини до площі листків.

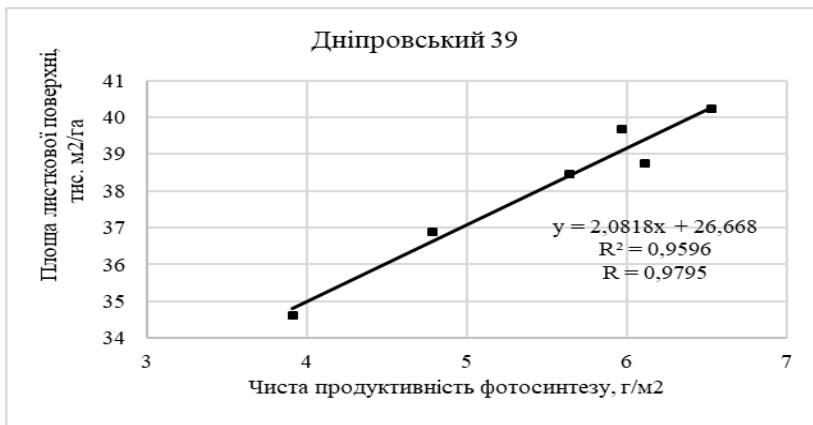
Найвищою чиста продуктивність фотосинтезу асиміляційного апарату рослин сорго була у варіанті з розрахунковою дозою добрив та за внесення  $N_{90}P_{90}K_{90}$  і  $N_{120}P_{120}K_{120}$  і становила в сорту Дніпровський 39 – 5,97; 6,53 і 6,11  $г/м^2$  за добу, в сорту Вінець 5,81; 6,29 і 5,97  $г/м^2$  за добу, що вдвічі вище за контроль (на 50–70%). За внесення  $N_{30}P_{30}K_{30}$  та  $N_{60}P_{60}K_{60}$  чиста продуктивність фотосинтезу була дещо нижчою і становила 4,78 та 5,64  $г/м^2$  у сорту Дніпровський 39 і 4,95 та 5,32  $г/м^2$  у сорту Вінець.

### 1. Показники фотосинтетичної продуктивності та урожайність зерна сорго зернового залежно від рівня мінеральних добрив (2016–2020)

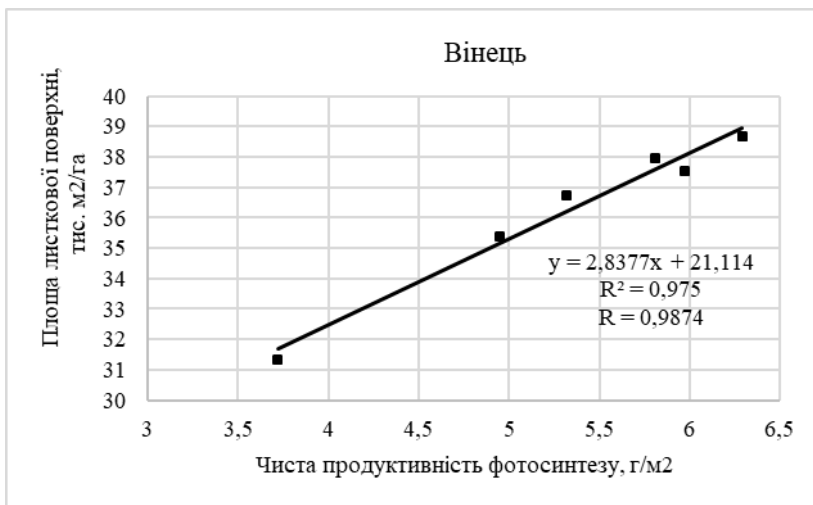
Сорт	Варіант	Фотосинтетичний потенціал, (млн м <sup>2</sup> /га) × діб	Чиста продуктивність фотосинтезу, г/м <sup>2</sup>	Урожайність зерна, т/га
Дніпровський 39	Без добрив (контроль)	1,24	3,91	5,2
	N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	1,32	4,78	5,6
	N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	1,38	5,64	6,4
	N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	1,42	5,97	7,1
	N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	1,47	6,53	7,9
	Розрахункова доза	1,39	6,11	7,3
	Вінець	Без добрив (контроль)	1,18	3,72
N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>		1,27	4,95	5,2
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>		1,31	5,32	6,5
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>		1,34	5,81	7,2
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>		1,37	6,29	7,8
Розрахункова доза		1,32	5,97	7,0
НР <sub>0,05</sub>		0,05	0,04	1,4

Внесення добрив сприяло збільшенню врожайності зерна порівняно з контролем. За внесення їх у дозі N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>, N<sub>120</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub> та розрахунковій N<sub>50</sub>P<sub>40</sub>K<sub>70</sub> урожайність зерна достовірно зросла порівняно з контролем і в сорту Дніпровський 39 дорівнювала 7,1; 7,9 та 7,3 т/га, що вище на 1,9; 2,7 та 2,1 т/га порівняно з контролем. У сорту Вінець за цих доз добрив урожайність зерна становила 7,2; 7,8 та 7,0 т/га, що вище за контроль на 2,9; 3,5 та 2,7 т/га відповідно.

За результатами кореляційно-регресійного аналізу отримано сильну лінійну кореляцію між площею листової поверхні та чистою продуктивністю фотосинтезу з коефіцієнтом детермінації  $R^2 = 0,9596$  у сорту Дніпровський 39 та  $R^2 = 0,9750$  у сорту Вінець, коефіцієнт кореляції при цьому становив  $R = 0,9795$  та  $R = 0,9874$  (рис. 3, 4).



**Рис. 3.** Кореляційно-регресійний зв'язок між площею листової поверхні та чистою продуктивністю фотосинтезу сорго зернового сорту Дніпровський 39 (2016–2020)

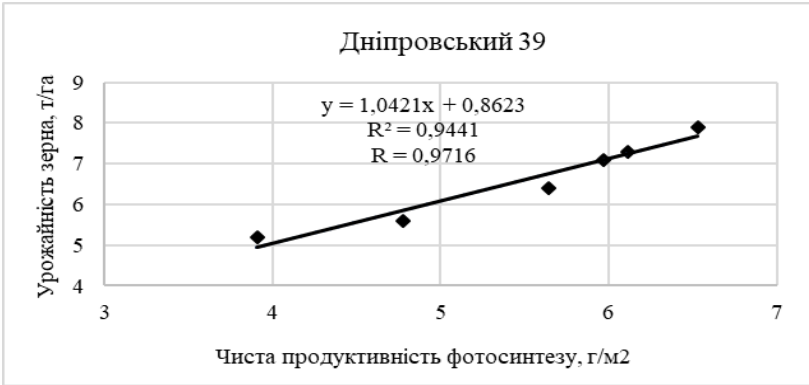


**Рис. 4.** Кореляційно-регресійний зв'язок між площею листової поверхні та чистою продуктивністю фотосинтезу сорго зернового сорту Вінець (2016–2020)

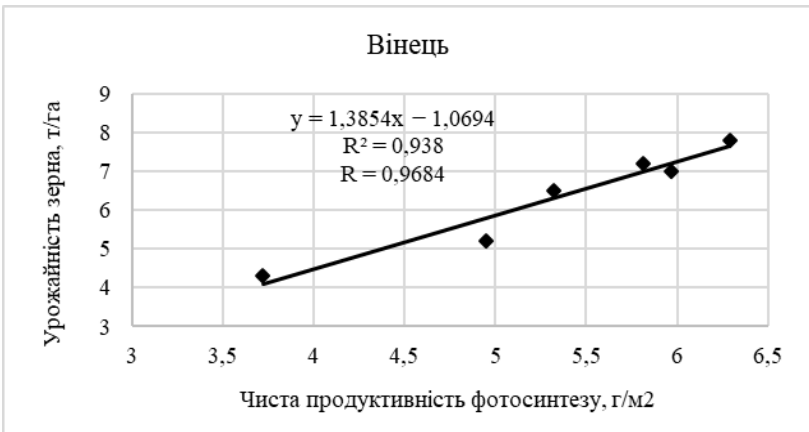
Отримані результати досліджень виявили, що із збільшенням чистої продуктивності фотосинтетичної діяльності збільшувалась і



ISSN 0130-8521. Передгірне та гірське землеробство і тваринництво. 2022. Вип. 72 (1)  
врожайність сорго зернового. Це підтверджено кореляційно-регресійним аналізом, який довів суттєву залежність між чистою продуктивністю фотосинтезу й урожайністю зерна (рис. 5, 6). Коефіцієнт детермінації та кореляції при цьому становив  $R^2 = 0,9441$  та  $R = 0,9716$  у сорту Дніпровський 39 і  $R^2 = 0,938$  та  $R = 0,9684$  у сорту Вінець.



**Рис. 5.** Кореляційно-регресійний зв'язок між урожайністю зерна та чистою продуктивністю фотосинтезу сорго зернового сорту Дніпровський 39 (2016–2020)



**Рис. 6.** Кореляційно-регресійний зв'язок між урожайністю зерна та чистою продуктивністю фотосинтезу сорго зернового сорту Вінець (2016–2020)

**Висновки.** Досліджено, що збільшення площі листової поверхні рослин сорго зернового відбувалося за рахунок збільшення дози мінеральних добрив. Найвищою вона була за внесення розрахункової ( $N_{50}P_{40}K_{70}$ ) та високих доз ( $N_{90}P_{90}K_{90}$  і  $N_{120}P_{120}K_{120}$ ) добрив у період викидання волоті – цвітіння. Чиста продуктивність фотосинтезу та урожайність зерна обох сортів у цих варіантах досліду були також найвищими.

Встановлено лінійну кореляційну залежність між площею листової поверхні та чистою продуктивністю фотосинтезу, яка описується рівнянням регресії  $y = 2,0818x + 26,668$  ( $R^2 = 0,9596$ ) і  $y = 2,8377x + 21,114$  ( $R^2 = 0,975$ ), а також між чистою продуктивністю фотосинтезу та урожайністю зерна сорго зернового:  $y = 1,0421x + 0,8623$  ( $R^2 = 0,9441$ ) та  $y = 1,3854x - 1,0694$  ( $R^2 = 0,938$ ).

#### Список використаної літератури

1. Алексеев Я. В. Продуктивність сорго зернового гібриду Прайм залежно від площі живлення в умовах Північного Степу України. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2020. Вип. 33. С. 9–15. DOI: <https://www.doi.org/10.37406/2706-9052-2020-2-1>.
2. Безручко О. І., Джулай Н. П. Поповнення ринку сортів рослин України: сорго звичайне (двокольорове) (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.). *Plant Var. Stud. Prot.* 2012. № 3. С. 45–51. DOI: [https://www.doi.org/10.21498/2518-1017.3\(17\).2012.58830](https://www.doi.org/10.21498/2518-1017.3(17).2012.58830).
3. Василенко Р. М. Фотосинтетична продуктивність сорго зернового залежно від умов зволоження на півдні України. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2018. Вип. 2. С. 46–50.
4. Гирка А. Д., Алексеев Я. В. Особливості росту і розвитку сорго зернового сорту Дніпровський 39 залежно від щільності агроценозу в умовах Північного Степу України. *Аграрні інновації*. 2020. № 4. С. 10–17. DOI: <https://www.doi.org/10.32848/agrar.innov.2020.4.3>.
5. Іваніна В. В., Пашинська К. Л., Смірних В. М. Винос і баланс елементів живлення в агроценозі сорго зернового

#### References

1. Aliexsieiev Ya. V. Productivity of sorghum grain hybrid Prime depending on the feeding area in the northern steppe of Ukraine. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika*. 2020. No. 33. P. 9–15. DOI: <https://www.doi.org/10.37406/2706-9052-2020-2-1>.
2. Bezruchko O. I., Dzhulay N. P. Replenishment of the market of plant varieties of Ukraine: sorghum (two-color) (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.). *Plant Var. Stud. Prot.* 2012. No. 3. P. 45–51. DOI: [https://www.doi.org/10.21498/2518-1017.3\(17\).2012.58830](https://www.doi.org/10.21498/2518-1017.3(17).2012.58830).
3. Vasylenko R. M. Photosynthetic productivity of grain sorghum depending on humidification conditions in the south of Ukraine. *Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomoria*. 2018. Vol. 2. P. 46–50.
4. Hyrka A. D., Aliexsieiev Ya. V. Peculiarities of growth and development of grain sorghum Dniprovsky 39 depending on the density of agrocenosis in the Northern Steppe of Ukraine. *Ahrarni innovatsii*. 2020. No. 4. P. 10–17. DOI: <https://www.doi.org/10.32848/agrar.innov.2020.4.3>.
5. Ivanina V. V., Pashynska K. L., Smirnykh V. M. Removal and balance of nutrients in the agrocenosis of grain sorghum

- залежно від удобрення. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 12. С. 28–32. DOI: <https://www.doi.org/10.31073/agrovisnyk202112-03>.
6. Каленська С. М., Найденко В. М. Якісний склад зерна сорго залежно від елементів технології вирощування. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 105. С. 82–89.
7. Каражбей Г. М. Стан і перспективи сорго зернового в Україні. *Селекція і насінництво*. 2012. № 101. С. 37–42. DOI: <https://www.doi.org/10.30835/2413-7510.2012.59749>.
8. Ничипорович А. А. Физиология фотосинтеза и продуктивность растений. *Физиология фотосинтеза*. Москва : Наука, 1982. С. 7–33.
9. Присяжнюк О. І., Сторожик Л. І., Завгородня С. В. Екологічна пластичність сорго зернового. *Новітні агротехнології*. 2019. № 7. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/novagr\\_2019\\_7\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/novagr_2019_7_11).
10. Рудник-Івашченко О. І., Сторожик Л. І. Стан і перспективи соргових культур в Україні. *Вісник ЦНЗ АПВ Харківської області*. 2011. Вип. 10. С. 198–206.
11. Фотосинтетична продуктивність посівів сорго зернового залежно від системи удобрення / Р. Є. Грищенко та ін. *Зернові культури*. 2020. № 1. С. 122–129. DOI: <https://www.doi.org/10.31867/2523-4544/0115>.
12. Abdulraheem M. I., Ojeniyi S. O., Charles E. F. Integrated application of urea and sawdust ash: effect on soil chemical properties, plant nutrients and sorghum performance. *International Organization of Scientific Research-Journal of Agriculture and Veterinary science (IOSR-JAVS)*. 2012. No. 1 (4). P. 38–41.
13. Almodares A., Hotjatabady R. H., Mirniam E. Effects of drought stress on biomass and carbohydrate contents of two sweet sorghum cultivars. *J. Environ. Biol*. 2013. Vol. 34. P. 585–589.
14. Assessing sorghum [*Sorghum bicolor* (L) Moench] germplasm for new traits: food, fuels & unique uses / J. Dahlberg depending on the fertilizer. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2021. No. 12. P. 28–32. DOI: <https://www.doi.org/10.31073/agrovisnyk202112-03>.
6. Kalenska S. M., Naidenko V. M. Qualitative composition of sorghum grain depending on the elements of cultivation technology. *Tavriyskiy naukoviy visnyk*. 2019. No. 105. P. 82–89.
7. Karazhbei H. M. Status and prospects of grain sorghum in Ukraine. *Seleksiia i nasinnnytstvo*. 2012. No. 101. P. 37–42. DOI: <https://www.doi.org/10.30835/2413-7510.2012.59749>.
8. Prysyporovych A. A. Physiology of photosynthesis and plant productivity. *Physiology of photosynthesis*. Moskva : Nauka, 1982. P. 7–33.
9. Prysiazhniuk O. I., Storozhyk L. I., Zavorodnia S. V. Ecological plasticity of grain sorghum.. *Novitni ahrotekhnolohii*. 2019. No. 7. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/novagr\\_2019\\_7\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/novagr_2019_7_11).
10. Rudnyk-Ivashchenko O. I., Storozhyk L. I. Status and prospects of sorghum crops in Ukraine. *Visnyk TsNZ APV Kharkivskoi oblasti*. 2011. No. 10. P. 198–206.
11. Photosynthetic productivity of sorghum crops depending on the fertilizer system / R. Ie. Hryshchenko et al. *Zernovi kultury*. 2020. No. 1. P. 122–129. DOI: <https://www.doi.org/10.31867/2523-4544/0115>.
12. Abdulraheem M. I., Ojeniyi S. O., Charles E. F. Integrated application of urea and sawdust ash: effect on soil chemical properties, plant nutrients and sorghum performance. *International Organization of Scientific Research-Journal of Agriculture and Veterinary science (IOSR-JAVS)*. 2012. No. 1 (4). P. 38–41.
13. Almodares A., Hotjatabady R. H., Mirniam E. Effects of drought stress on biomass and carbohydrate contents of two sweet sorghum cultivars. *J. Environ. Biol*. 2013. Vol. 34. P. 585–589.
14. Assessing sorghum [*Sorghum bicolor* (L) Moench] germplasm for new traits: food, fuels & unique uses / J. Dahlberg

et al. *Maydica*. 2011. Vol. 56-1750. P. 85–92.

15. Assessment of Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) productivity under different weed control methods, mineral and nano fertilization / M. A. Goma'a et al. *Egypt. Acad. J. Biolog. Sci.* 2020. Vol. 11 (1). P. 1–11.

16. Bagayoko M. Effects of plant density, organic matter and nitrogen rates on rice yields in the system of rice intensification (SRI) in the 'office du Niger' in Mali. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*. 2012. Vol. 7. No. 8. P. 620–632.

17. Cruickshank A. Sorghum Grain, Its Production and Uses: Overview. *Encyclopedia of Food Grains (Second Edition)*. 2016. Vol. 1. P. 153–158.

18. Diversity, genetic erosion and farmer's preference of sorghum varieties (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) growing in North–Eastern Benin / I. Dossou-Aminon et al. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2014. Vol. 3. Is. 10. P. 531–552.

19. Effect of time planting on cane yield and quality characters in sweet sorghum / V. Chamarthy et al. *Journal of sustainable bioenergy systems*. 2012. Vol. 2. P. 1–9. DOI: <https://www.doi.org/10.4236/jsbs.2012.21001>.

20. Fracasso A., Trindade L., Amaducci S. Drought tolerance strategies highlighted by two *Sorghum bicolor* accessions in a dry-down experiment. *J. Plant Phys.* 2016. No. 190. P. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.10.009>.

21. Genetic analysis and phenotypic characterization of leaf photosynthetic capacity in a sorghum (*Sorghum* spp.) diversity panel / S. Fernandez et al. *Genet. Resour. Crop Evol.* 2015. Vol. 62. P. 939–950. DOI: <https://www.doi.org/10.1007/s10722-014-0202-6>.

22. Harnessing genetic variation in leaf angle to increase productivity of sorghum bicolor / S. Truong et al. *Genetics*. 2015. Vol. 201. Is. 3. P. 1229–1238. DOI: <https://www.doi.org/10.1534/genetics.115.178608>.

et al. *Maydica*. 2011. Vol. 56-1750. P. 85–92.

15. Assessment of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) productivity under different weed control methods, mineral and nano fertilization / M. A. Goma'a et al. *Egypt. Acad. J. Biolog. Sci.* 2020. Vol. 11 (1). P. 1–11.

16. Bagayoko M. Effects of plant density, organic matter and nitrogen rates on rice yields in the system of rice intensification (SRI) in the 'office du Niger' in Mali. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*. 2012. Vol. 7. No. 8. P. 620–632.

17. Cruickshank A. Sorghum Grain, Its Production and Uses: Overview. *Encyclopedia of Food Grains (Second Edition)*. 2016. Vol. 1. P. 153–158.

18. Diversity, genetic erosion and farmer's preference of sorghum varieties (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) growing in North–Eastern Benin / I. Dossou-Aminon et al. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2014. Vol. 3. Is. 10. P. 531–552.

19. Effect of time planting on cane yield and quality characters in sweet sorghum / V. Chamarthy et al. *Journal of sustainable bioenergy systems*. 2012. Vol. 2. P. 1–9. DOI: <https://www.doi.org/10.4236/jsbs.2012.21001>.

20. Fracasso A., Trindade L., Amaducci S. Drought tolerance strategies highlighted by two *Sorghum bicolor* accessions in a dry-down experiment. *J. Plant Phys.* 2016. No. 190. P. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.10.009>.

21. Genetic analysis and phenotypic characterization of leaf photosynthetic capacity in a sorghum (*Sorghum* spp.) diversity panel / S. Fernandez et al. *Genet. Resour. Crop Evol.* 2015. Vol. 62. P. 939–950. DOI: <https://www.doi.org/10.1007/s10722-014-0202-6>.

22. Harnessing genetic variation in leaf angle to increase productivity of sorghum bicolor / S. Truong et al. *Genetics*. 2015. Vol. 201. Is. 3. P. 1229–1238. DOI: <https://www.doi.org/10.1534/genetics.115.178608>.

23. Moseki B., Dintwe K. Effect of water stress on photosynthetic characteristics of two sorghum cultivars. *The African Journal of Plant Science and Biotechnology, special issue*. 2011. P. 89–91.
24. Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorghum / D. Zhao et al. *European Journal of Agronomy*. 2005. Vol. 22. No. 3. P. 321–403. DOI: <https://www.doi.org/10.1016/j.eja.2004.06.005>.
25. Prioritization of feasible physiological parameters in drought tolerance evaluation in sorghum: a grey relational analysis / N. Wang et al. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2015. Vol. 102. No. 4. P. 457–464. DOI: <https://www.doi.org/10.13080/z-a.2015.102.059>.
26. Production and evaluation of transgenic sorghum for resistance to stem borer. / K. Visarada et al. *In Vitro Cellular and Developmental Biology. Plant*. 2014. Vol. 50 (2). P. 176–189. DOI: <https://www.doi.org/10.1007/s11627-013-9561-5>.
27. Productivity and water use efficiency of sorghum [sorghum bicolor (L.) moench] grown under different nitrogen applications in Sudan Savanna Zone, Nigeria / H. A. Ajeigbe et al. *International Journal of Agronomy*. 2018. Vol. 2018. 11 p. DOI: <https://www.doi.org/10.1155/2018/7676058>.
28. Sweet sorghum ideotypes: genetic improvement of the biofuel syndrome / S. E. Anami et al. *Food Energy Secur.* 2015. No. 4. P. 159–177. DOI: <https://www.doi.org/10.1002/fes3.63>.
29. The prospect of sweet sorghum as the source for high biomass crop / S. Tang et al. *Agriculture Science Bottom*. 2018. Vol. 2. P. 5–11. DOI: <https://www.doi.org/10.35841/2591-7897.2.3.5-11>.
30. The relationship between plant height and sugar accumulation in the stems of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) / S. Shukla et al. *Field Crops Research*. 2017. Vol. 203. P. 181–191. DOI: <https://www.doi.org/10.1016/j.fcr.2016.12.004>.
23. Moseki B., Dintwe K. Effect of water stress on photosynthetic characteristics of two sorghum cultivars. *The African Journal of Plant Science and Biotechnology, Special issue*. 2011. P. 89–91.
24. Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorghum / D. Zhao et al. *European Journal of Agronomy*. 2005. Vol. 22. No. 3. P. 321–403. DOI: <https://www.doi.org/10.1016/j.eja.2004.06.005>.
25. Prioritization of feasible physiological parameters in drought tolerance evaluation in sorghum: a grey relational analysis / N. Wang et al. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2015. Vol. 102. No. 4. P. 457–464. DOI: <https://www.doi.org/10.13080/z-a.2015.102.059>.
26. Production and evaluation of transgenic sorghum for resistance to stem borer. / K. Visarada et al. *In Vitro Cellular and Developmental Biology. Plant*. 2014. Vol. 50 (2). P. 176–189. DOI: <https://www.doi.org/10.1007/s11627-013-9561-5>.
27. Productivity and water use efficiency of sorghum [sorghum bicolor (L.) moench] grown under different nitrogen applications in Sudan Savanna Zone, Nigeria / H. A. Ajeigbe et al. *International Journal of Agronomy*. 2018. Vol. 2018. 11 p. DOI: <https://www.doi.org/10.1155/2018/7676058>.
28. Sweet sorghum ideotypes: genetic improvement of the biofuel syndrome / S. E. Anami et al. *Food Energy Secur.* 2015. No. 4. P. 159–177. DOI: <https://www.doi.org/10.1002/fes3.63>.
29. The prospect of sweet sorghum as the source for high biomass crop / S. Tang et al. *Agriculture Science Bottom*. 2018. Vol. 2. P. 5–11. DOI: <https://www.doi.org/10.35841/2591-7897.2.3.5-11>.
30. The relationship between plant height and sugar accumulation in the stems of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) / S. Shukla et al. *Field Crops Research*. 2017. Vol. 203. P. 181–191. DOI: <https://www.doi.org/10.1016/j.fcr.2016.12.004>.

31. Yield stability of photoperiod sensitive sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) accessions under diverse climatic environments / A. L. Abdulai et al. *International Journal of Agricultural Research*. 2012. Vol. 7. No. 1. P. 17–32. DOI: <https://www.doi.org/10.3923/ijar.2012.17.32>.

31. Yield stability of photoperiod sensitive sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) accessions under diverse climatic environments / A. L. Abdulai et al. *International Journal of Agricultural Research*. 2012. Vol. 7. No. 1. P. 17–32. DOI: <https://www.doi.org/10.3923/ijar.2012.17.32>.

Отримано: 8 вересня 2022 р.  
Погоджено до друку: 16 вересня 2022 р