

УДК 633.282:631.559:620.952

Закономірності зміни фотосинтетичних параметрів посівів проса прутіподібного за вирощування на маргінальних ґрунтах Правобережного Лісостепу України

В. В. Мусіч, О. І. Присяжнюк* 

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна,
*e-mail: ollpris@gmail.com

Мета. Установити закономірності формування фотосинтетичних параметрів посівів проса прутіподібного за вирощування на маргінальних ґрунтах Правобережного Лісостепу України. **Методи.** Дослідження проводили впродовж 2019–2022 рр. на Уладово-Люлинецькій дослідно-селекційній станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН за загальноприйнятими методиками. Просо прутіподібне 'Морозко' вирощували за схемою трифакторного польового досліду, із застосуванням вапнування ґрунту (25 % від потреби, або 1,6 т/га), адсорбенту MaxiMarin гранульований (30 кг/га), а також препаратів Гумат калію (Гуміфілд) (50 г/га) та Антистресант АміноСтар (1,0 л/га). Адсорбент вносили за два тижні перед сівбою культури локально в рядки, позакореневе підживлення рослин проводили у фазі кущіння та повторно через два тижні. **Результати.** Показники фотосинтетичних параметрів посівів, зокрема площі листової поверхні та фотосинтетичного потенціалу, підвищувалися з кожним наступним роком вирощування проса прутіподібного. У перший рік вегетації у фазі кущіння площа листової поверхні в середньому по досліді становила 1,3 тис. м²/га, виходу в трубку – 9,2, цвітіння – 23,8, на кінець вегетації – 20,4 тис. м²/га; на другий – 6,2; 20,0; 34,6 та 29,0 тис. м²/га, на третій – 8,2; 24,6; 41,3 та 35,4 тис. м²/га; на четвертий – 8,9; 27,3; 50,1 та 28,3 тис. м²/га відповідно. Фотосинтетичний потенціал посівів культури (в період від кущіння до завершення вегетації) у перший рік вирощування в середньому по досліді становив 1,47 тис. м²/га × діб, на другий – 3,01, на третій – 3,78, на четвертий – 4,64 тис. м²/га × діб. Застосування агротехнічних заходів позитивно позначилось на формуванні як площі листової поверхні посівів, так і їх фотосинтетичного потенціалу. Ефективнішим при цьому було позакореневе підживлення рослин у період вегетації, тоді як вплив чинників вапнування ґрунту та внесення адсорбенту був переважно тенденційним. Водночас показники чистої продуктивності фотосинтезу (в період від кущіння до завершення вегетації) різнились за роками досліджень – 0,18; 0,14; 0,18 та 0,16 г/м² за добу відповідно і практично не змінювались за варіантами досліді. **Висновки.** Основні закономірності формування фотосинтетичних параметрів посівів проса прутіподібного щороку були подібними й найвищі їх показники відзначались за комбінованого позакореневого підживлення рослин Гумат калію (Гуміфілд) + Антистресант АміноСтар на фоні застосування вапна та адсорбенту.

Ключові слова: вапнування ґрунту; адсорбент; гумат; площа листя; чиста продуктивність фотосинтезу; фотосинтетичний потенціал.

Вступ

Просо прутіподібне є посухостійким видом, рослини якого здатні рости й ефективно фотосинтезувати в умовах обмеження доступної ґрунтової вологи [1–3]. Нестача вологи може не спричинити зниження активності фотосинтезу культури, але призвести до значного зменшення його ефективності [4, 5], що може бути викликано супутніми фізіологічними змінами. Зокрема, накопичення вуглеводів та швидкість їх поглинання обмежують розвиток і фотосинтез листя в деяких багаторічних травах [6–8]. Наприклад, коли в досліді затінювали частину листків цукрової тростини, то фотосинтез у незатінених листках зріс на 32 %, а коли листя занурили в розчин сахарози, то його інтенсивність знизилася на 30–45 % через збільшення удвічі-тричі вмісту в листках сахарози та гексози [9].

Мусіч В. В., Присяжнюк О. І. Закономірності зміни фотосинтетичних параметрів посівів проса прутіподібного за вирощування на маргінальних ґрунтах Правобережного Лісостепу України. *Новітні агротехнології*. 2022. Т. 10, № 2. <https://doi.org/10.47414/na.10.2.2022.270474>

У другій половині вегетації зниження інтенсивності фотосинтезу може бути спричинене обмеженням поглинання в органах, які використовуються для зберігання вуглеводів [10, 11], адже з часом основні органи та процеси поглинання (наприклад, ріст, поповнення запасів вуглеводів, розмноження) припиняються й рослини обмежують споживання вуглеводів, що призводить до зниження потреби у продуктах фотосинтезу та до зниження фотосинтезу листя [12].

Зниження доступності ґрунтової вологи також негативно позначається на процесах накопичення вуглеводів і фотосинтезі загалом [13, 14]. З одного боку, обмеження вологи призводить до зниження інтенсивності фотосинтезу, що, своєю чергою, може призвести до виснаження вуглеводів у підземних органах зберігання [15–17]. Після зменшення водного стресу кореневища відновлять накопичення вуглеводів, даючи змогу фотосинтезу тривати довше протягом сезону. З іншого боку, обмеження доступності ґрунтової вологи також зменшує наземний і підземний ріст рослин [18, 19], що може спричинити додаткові обмеження поглинання.

Мета досліджень – установити закономірності формування фотосинтетичних параметрів посівів проса прутіподібного за вирощування на маргінальних ґрунтах Правобережного Лісостепу України.

Матеріали та методика досліджень

Польові дослідження проводили на Уладово-Люлинецькій дослідно-селекційній станції Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН упродовж 2019–2022 рр.

Ґрунт дослідного поля – чорнозем глибокий малогумусний вилугуваний піскуватий середньосуглинковий, що характеризується середньою забезпеченістю мінеральним азотом (нітратний – 16,4 мг/кг та амонійний – 38,7 мг/кг ґрунту). Уміст гумусу в орному шарі (0–30 см) становить 3,9 %, а забезпеченість рухомим фосфором низька (8,3 мг/кг ґрунту) та підвищена – обмінним калієм (10,3 мг/кг ґрунту). Реакція ґрунтового середовища кисла (рН 5,1), а Нг – 4,2 мг-екв/100 г ґрунту (підвищена). Тому, не зважаючи на сприятливу для вирощування біоенергетичних культур решту чинників живлення ґрунту, значна кислотність призводить до малодоступності рослинам основних елементів живлення та низької схожості насіння.

Погодні умови, що склались в роки проведення польових досліджень, були типовими для зони нестійкого зволоження Лісостепу України, мали відхилення від середньобогаторічних їх значень, однак це не стало на заваді отриманню об'єктивних експериментальних даних.

Дослідження виконували згідно зі схемою, наведеною в таблиці 1.

Таблиця 1

Розроблення елементів технології вирощування проса прутіподібного на маргінальних землях

Розкислення ґрунту	Застосування адсорбенту	Позакореневе підживлення
Без застосування вапна	Без адсорбенту	Без підживлення
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га
	MaxiMarin гранульований, 30 кг/га	Без підживлення
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га
Вапнування ґрунтів, 25 % від потреби (1,6 т/га)	Без адсорбенту	Без підживлення
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га
	MaxiMarin гранульований, 30 кг/га	Без підживлення
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га

Адсорбент уносили за два тижні перед сівбою проса прутіподібного локально в рядки, позакореневе підживлення рослин проводили у фазі кущіння та повторно через два тижні.

Площа посівної ділянки становила 35 м², облікової – 25 м²; повторність – триразова. Сорт проса прутноподібного 'Морозко', селекції ІБКіЦБ НААН.

Площу листової поверхні проса прутноподібного за формулою:

$$S = D \times \Pi \times K$$

де D – довжина листка, Π – ширина, K – перевідний коефіцієнт (0,67).

Фотосинтетичний потенціал (ФП) (тис. м²/га × діб):

$$\text{ФП} = \frac{L_1 + L_2}{2 \times 1000} T,$$

де $L_1 + L_2$ – площа листової поверхні, тис. м²/га, T – тривалість міжфазного періоду, діб.

Чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) (г/м² за добу):

$$\text{ЧПФ} = \frac{B_2 - B_1}{0,5 (L_1 + L_2) \times n},$$

де B_1 і B_2 – маса сухої речовини, г; ($B_2 - B_1$) – приріст маси сухої речовини за n діб, г; L_1 і L_2 – площа листя, м²; 0,5 ($L_1 + L_2$) середня площа листової поверхні; n – тривалість періоду між спостереженнями, діб.

Експериментальні дослідження проводили згідно з методиками польового досліду та спеціальними методиками [20–22].

Результати досліджень

У фазі кущіння в умовах вегетаційного періоду 2019 року (1-й рік вегетації) площа листової поверхні рослин проса прутноподібного становила в середньому 1,30 тис. м²/га з мінімальними відхиленнями за варіантами досліду (табл. 2), що викликане початковим розвитком з насінини за впливу багатьох інших чинників, зокрема й забур'янення. Тому вплив супутніх чинників виявився істотнішим, аніж досліджуваних в експерименті агротехнічних заходів.

Таблиця 2

Формування площі листової поверхні посівів проса прутноподібного 'Морозко' першого та другого років вегетації, тис. м²/га

Розкислення ґрунту	Застосування адсорбенту	Позакореневе підживлення	2019				2020			
			кущіння	вихід у трубку	цвітіння	кінець вегетації	кущіння	вихід у трубку	цвітіння	кінець вегетації
Без застосування вапна	Без адсорбенту	Без підживлення	1,32	8,05	20,2	17,4	5,78	16,9	29,3	24,8
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	1,34	8,81	22,4	19,2	6,26	18,7	32,4	27,2
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	1,31	9,15	23,5	20,2	6,30	19,9	34,0	28,9
	MaxiMarin гранульований, 30 кг/га	Без підживлення	1,25	8,25	21,0	17,7	5,88	17,7	30,2	25,1
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	1,29	9,33	24,1	20,8	6,30	20,1	35,0	29,3
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	1,35	9,88	25,6	22,1	6,40	21,7	37,5	31,7
	Без адсорбенту	Без підживлення	1,26	8,69	22,3	19,2	6,00	18,8	32,3	27,3
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	1,28	9,34	24,2	20,9	6,35	20,6	35,1	29,5
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	1,31	9,64	25,0	21,6	6,40	20,9	36,1	30,0
Вапнування ґрунтів, 25 % від потреби (1,6 т/га)	MaxiMarin гранульований, 30 кг/га	Без підживлення	1,29	8,96	23,0	19,6	6,20	19,2	33,4	28,2
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	1,31	10,01	26,1	22,3	6,36	22,1	37,8	31,9
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	1,32	10,59	27,8	24,1	6,45	23,5	40,5	34,2
	HIP _{0,05}		0,10	2,00	2,5	1,8	0,23	0,9	1,8	1,4

У фазі виходу в трубку посіви проса прутіподібного вже мали площу листя в середньому 9,23 тис. м²/га, що ще було недостатньо для ефективного контролювання забур'яненості. Однак у цій фазі ростові процеси піддавались впливу чинників – передусім позакореневого підживлення у фазі кушіння, тож уже була змога виявити деякі закономірності. Зокрема, внесення Гумату калію (Гуміфілд), 50 г/га сприяло збільшенню площі листя порівняно з контролем. Водночас найефективнішими були варіанти, де цей препарат застосовували сумісно з Антистресантом АміноСтар, 1,0 л/га.

У фазі цвітіння рослини проса прутіподібного першого року вегетації в середньому по досліді мали площу листя 23,8 тис. м²/га. Найліпші умови для формування цього показника виявлено за поєднання вапнування з унесенням адсорбенту та комбінованим застосуванням позакореневого підживлення рослин – 27,8 тис. м²/га. Це, на нашу думку, зумовлено позитивним оптимумом чинників живлення, забезпеченим вапнуванням та застосуванням адсорбенту, на фоні якого змогли якнайповніше проявитись препарати позакореневого удобрення.

На другий рік вегетації рослини проса прутіподібного відзначались значно інтенсивнішим формуванням площі листової поверхні. Зокрема, у фазі кушіння цей показник у середньому по досліді становив 6,2 тис. м²/га, у фазі виходу в трубку – 20,0, під час цвітіння – 34,6, а на кінець вегетації – 29,0 тис. м²/га. При цьому загальні закономірності зміни площі листя під впливом чинників досліді були аналогічні попередньому року.

У міру росту й розвитку рослин проса прутіподібного відповідно зростали й параметри їх листової поверхні. Зокрема, на третій рік вегетації (2021) у фазі кушіння площа листя становила у середньому по досліді 8,17 тис. м²/га, а післядія кращих варіантів досліді зберігалась і в початковій фазі росту (табл. 3). Це закономірне явище, оскільки в разі застосування додаткових елементів догляду рослини змогли накопичити в кореневій системі більшу кількість поживних речовин, а тому й наростання листової поверхні на початку вегетації було інтенсивнішим.

Таблиця 3

Формування площі листової поверхні проса прутіподібного 'Морозко' третього та четвертого років вегетації, тис. м²/га

Розкислення ґрунту	Застосування адсорбенту	Позакореневе підживлення	2021				2022			
			кущіння	вихід у трубку	цвітіння	кінець вегетації	кущіння	вихід у трубку	цвітіння	кінець вегетації
Без застосування вапна	Без адсорбенту	Без підживлення	7,50	20,8	35,2	29,9	8,30	23,2	43,0	23,8
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	8,00	23,0	38,9	33,5	8,60	25,5	48,5	26,7
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	8,25	24,4	40,4	34,3	8,96	27,0	50,1	27,5
	MaxiMarin гранульований, 30 кг/га	Без підживлення	8,10	21,4	36,2	30,8	8,59	23,9	44,4	24,8
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	8,20	24,7	42,0	36,5	8,92	27,6	51,8	29,6
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	8,39	26,5	44,7	38,4	9,26	29,3	55,0	30,9
Вапнування ґрунтів, 25 % від потреби (1,6 т/га)	Без адсорбенту	Без підживлення	8,00	22,9	38,6	33,2	8,50	25,7	47,9	26,7
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	8,20	25,4	42,2	36,3	8,80	28,0	52,2	29,1
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	8,40	25,8	42,8	36,8	9,23	28,4	52,3	29,1
	MaxiMarin гранульований, 30 кг/га	Без підживлення	8,20	23,6	40,1	34,4	8,70	26,2	49,2	27,4
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	8,36	27,2	45,3	39,0	9,14	30,4	56,5	30,9
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	8,42	29,0	48,8	41,8	9,40	32,2	60,4	33,3
НІР _{0,05}			0,20	2,3	2,9	2,5	1,00	2,0	3,2	1,8

У фазі виходу в трубку посіви проса прутноподібного вже мали площу листя 24,6 тис. м²/га, що достатньо для ефективного контролювання забур'яненості, а найефективнішими щодо формування показника були варіанти, де застосовували поєднання Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га.

У фазі цвітіння площа листової поверхні рослин третього року вегетації становила в середньому 41,3 тис. м²/га, досягаючи максимуму у варіанті поєднання вапнування з унесенням адсорбенту та комбінованим застосуванням позакореневого підживлення – 48,8 тис. м²/га. Аналогічна закономірність відзначалась і за обліків наприкінці вегетації проса прутноподібного, коли площа листової поверхні становила 35,4 тис. м²/га, що фактично відповідає тому, що в багаторічних біоенергетичних культур, зокрема проса прутноподібного, листя восени не опадає.

На четвертий рік вегетації у фазі кушіння площа листової поверхні становила вже 8,87 тис. м²/га, у фазі виходу в трубку – 27,3, під час цвітіння – 50,1, на кінець вегетації – 28,3 тис. м²/га. При цьому загальні закономірності її зміни під впливом чинників досліду були збережені й найефективнішими варіантами досліду аналогічно були ті, на яких проводили комбіноване позакореневе підживлення. Особливо вплив препаратів Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га підсилювався на фоні вапнування ґрунтів у поєднанні з застосуванням адсорбенту MaxiMarin гранульований.

Слід відзначити, що щорічно в посівах проса прутноподібного спостерігали тенденцію до збереження на рослинах листків на час завершення вегетації. Зокрема, у перший рік їх зберіглось 86 % від тих, що були у фазі цвітіння, на другий – 84, на третій – 86, а на четвертий – 80 %. Це сприяє збиранню більшої вегетативної маси як сировини для виробництва біопалива.

Проведемо оцінювання фотосинтетичного потенціалу (ФП) проса прутноподібного в період від кушіння до завершення вегетації, тобто від часу повного застосування досліджуваних агротехнічних заходів (табл. 4).

Таблиця 4

Фотосинтетичний потенціал посівів проса прутноподібного 'Морозко' в період від кушіння до завершення вегетації, тис. м²/га × діб

Розкислення ґрунту	Застосування адсорбенту	Позакореневе підживлення	2019	2020	2021	2022
Без застосування вапна	Без адсорбенту	Без підживлення	1,26	2,60	3,26	3,97
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	1,39	2,86	3,59	4,43
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	1,45	2,98	3,72	4,58
	MaxiMarin гранульований, 30 кг/га	Без підживлення	1,30	2,67	3,39	4,11
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	1,49	3,06	3,84	4,71
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	1,58	3,25	4,06	4,98
	Без адсорбенту	Без підживлення	1,38	2,84	3,56	4,37
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	1,49	3,07	3,86	4,73
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	1,54	3,14	3,92	4,77
Вапнування ґрунтів, 25 % від потреби (1,6 т/га)	MaxiMarin гранульований, 30 кг/га	Без підживлення	1,42	2,93	3,70	4,49
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	1,60	3,27	4,10	5,09
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	1,70	3,47	4,38	5,41
	Без адсорбенту	Без підживлення	1,38	2,84	3,56	4,37

Параметри ФП посівів дають змогу оцінити скільки листової поверхні може брати участь у процесах фотосинтезу за одиницю часу. Тобто цілком логічно, що чим вищий цей показник, то тим ліпші формуються умови для проходження фотосинтезу в посівах. Хоча, на практиці це далеко не так, оскільки значна кількість листків у рослин із С₃-типом фотосинтезу може просто бути затінена й ефективно не працювати, а за вирощування рослин із С₄-типом фотосинтезу – включаються механізми зменшення ефективності синтезу органічних сполук навіть добре освітлених листків. Звичайно, йдеться про випадки, коли рослини за тих чи інших обставин не можуть скористатись перевагами великої площі листового апарату.

Також значна площа листового апарату, що в 4–7 разів перевищує площу поверхні поля, формується рослинами із С₄-типом фотосинтезу передусім засіб ефективного пригнічення інших видів ценозу. Адже в багатьох критичних періодах вони мають уповільнений ріст, тому не здатні конкурувати з більш швидкорослими видами.

Що стосується ФП, то, як і площа листової поверхні рослин, його показники зростали з кожним наступним роком вегетації культури. У перший рік вирощування в середньому по досліді він був на рівні 1,47, на другий – 3,01, на третій – 3,78, а на четвертий – 4,64 тис. м²/га × діб. Якщо говорити про закономірності формування фотосинтетичного потенціалу по варіантах досліді, то вони щороку були подібними й найвищі показники формувались за комбінованого позакореневого удобрення рослин Гумат калію (Гуміфілд) + Антистресант АміноСтар на фоні застосування вапна та адсорбенту. За роками досліджень показники ФП у цьому варіанті становили 1,70; 3,47; 4,38 та 5,41 тис. м²/га × діб відповідно. Загалом варто відзначити, що застосування агротехнічних чинників впливу позитивно позначилось на стані рослин проса прутіподібного та його фотосистемі.

Також аналогічно проаналізуємо показники чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ) проса прутіподібного в період від куціння до завершення вегетації, тобто за період найбільш активного росту й розвитку рослин (табл. 5).

Таблиця 5

Чиста продуктивність фотосинтезу посівів проса прутіподібного 'Морозко' в період від куціння до завершення вегетації, г/м² за добу

Розкислення ґрунту	Застосування адсорбенту	Позакореневе підживлення	2019	2020	2021	2022
Без застосування вапна	Без адсорбенту	Без підживлення	0,15	0,16	0,20	0,17
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	0,15	0,15	0,19	0,15
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	0,15	0,14	0,18	0,16
	МахіМарін гранульований, 30 кг/га	Без підживлення	0,23	0,15	0,19	0,18
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	0,21	0,14	0,19	0,16
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	0,21	0,14	0,18	0,16
	Без адсорбенту	Без підживлення	0,14	0,14	0,18	0,16
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	0,15	0,14	0,18	0,14
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	0,15	0,13	0,18	0,16
Вапнування ґрунтів, 25 % від потреби (1,6 т/га)	МахіМарін гранульований, 30 кг/га	Без підживлення	0,21	0,14	0,18	0,16
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га	0,20	0,13	0,17	0,15
		Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га	0,21	0,13	0,16	0,15

ЧПФ – показник, що відображає скільки грамів сухої речовини накопичується одиницею листової поверхні за добу. Тобто він може визначати ефективність роботи фотосинтетичного апарату над створенням сухої речовини з енергії сонця. І для класичних сільськогосподарських культур цей показник є доцільним у плані вимірювання засвоювальної здатності посівів та порівняння їхньої ефективності. А от щодо біоенергетичних культур, особливо таких, як просо прутіподібне, то цей показник втрачає свою інформативність, що зумовлено не лише недосконалістю обчислень ЧПФ. Адже береться до уваги приріст вегетативної наземної маси, тоді як підземна маса досить складна до визначення, через значне поширення кореневої системи в глибокі шари ґрунту. А також, посіви проса прутіподібного формують значну площу листової поверхні, що відповідно спотворює значення чистої продуктивності фотосинтезу.

Фотосинтез багаторічних біоенергетичних культур, що можуть бути класифіковані як трав'янисті рослини, має чітку сезонність динаміки: пік вегетативного росту відбувається влітку та знижується до кінця літа за кілька тижнів до кінця вегетаційного періоду. Причому, на відміну від традиційних сільськогосподарських культур, біоенергетичні рослини не втрачають так інтенсивно листя, а тому показники ефективності фотосинтезу можуть бути далеко не ідеальними. Такі закономірності спостерігаються у багатьох біоенергетичних культур, зокрема проса прутіподібного та міскантусу [21, 24, 25].

Сезонні зміни інтенсивності фотосинтезу можуть бути пов'язані з ремобілізацією поживних речовин із листя до підземних багаторічних органів, що дає рослині змогу переробляти поживні речовини, які інакше були б втрачені через опадання листя. Тобто значна частина поживних речовин, синтезованих фотосинтетичним апаратом рослин, накопичується саме в підземній їх частині й у традиційних обрахунках ефективності фотосинтезу не задіяна [26–28].

Багаторічні біоенергетичні культури потребують щорічно значного збільшення площі кореневої системи адже вони, завдяки значній площі листя, що підтримується довгий час в активному стані, потребують багато вологи та поступово стають чутливішими до її нестачі, оскільки більша площа листя збільшує загальну потребу у воді та все більше виснажує її доступні запаси в ґрунті [29, 30].

Таким чином, спостережуване по роках зниження показників фотосинтезу може бути наслідком обмеження за доступною рослинам в ґрунті вологою, оскільки їх вимоги на наступні роки вегетації стають більшими, а ґрунтова вода стає менш доступною, особливо в другій половині щорічного вегетаційного періоду.

Висновки

Досліджено, що застосування вапнування ґрунтів (25 % від потреби, або 1,6 т/га) та внесення адсорбенту (MaxiMarin гранульований, 30 кг/га) слугувало оптимальним базисним варіантом формування високих показників площі листової поверхні посівів проса прутноподібного за позакореневого підживлення рослин. Зокрема, вплив препаратів Гумат калію (Гуміфілд), 50 г/га + Антистресант АміноСтар, 1,0 л/га підсилювався на фоні вапнування ґрунтів в поєднанні із застосуванням адсорбенту і на третій та четвертий роки вегетації площа листя у фазі цвітіння становила 48,8 та 60,4 тис. м²/га відповідно.

Щорічно в посівах проса прутноподібного спостерігали тенденцію до збереження на рослинах листків на час завершення вегетації. Зокрема, у перший рік їх зберіглося 86 % від тих, що були у фазі цвітіння, на другий – 84, на третій – 86, а на четвертий – 80 %. Це сприяє збиранню більшої вегетативної маси як сировини для виробництва біопалива.

Фотосинтетичний потенціал посівів культури у перший рік вирощування в середньому по досліді становив 1,47 тис. м²/га × діб, на другий – 3,01, на третій – 3,78, на четвертий – 4,64 тис. м²/га × діб. Найвищі показники ФП формувались за комбінованого позакореневого удобрення рослин Гумат калію (Гуміфілд) + Антистресант АміноСтар на фоні застосування вапна та адсорбенту: 1,70; 3,47; 4,38 та 5,41 тис. м²/га × діб за роками досліджень відповідно.

Показники чистої продуктивності фотосинтезу не є інформативними ознаками для посівів проса прутноподібного, які формують велику кількість площі листової поверхні, неоднаково задіяної в процесах фотосинтезу. Через те, що до кінця вегетації зберігається близько 80 % листя, то спостережуване зниження показників фотосинтезу за роками може бути наслідком обмеження за доступною рослинам у ґрунті вологою, оскільки вимоги рослин на наступні роки вегетації стають більшими, а ґрунтова вода стає менш доступною, особливо в другій половині щорічного вегетаційного періоду.

Використана література

1. Barney J. N., Mann J. J., Kyser G. B. et al. Tolerance of switchgrass to extreme soil moisture stress: Ecological implications. *Plant Science*. 2009. Vol. 177, Iss. 6. P. 724–732. doi: 10.1016/j.plantsci.2009.09.003
2. Chen P., Chen J., Sun M. et al. Comparative transcriptome study of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) homologous autopolyploid and its parental amphidiploid responding to consistent drought stress. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*. 2020. Vol. 13, Iss. 1. Article 170. doi: 10.1186/s13068-020-01810-z
3. Hawkes C., Kiniry J. Legacies in switchgrass resistance to and recovery from drought suggest that good years can sustain plants through bad years. *BioEnergy Research*. 2018. Vol. 11, Iss. 1. P. 86–94. doi: 10.1007/s12155-017-9879-7
4. Lovell J. T., Shakirov E. V., Schwartz S. et al. Promises and challenges of eco-physiological genomics in the field: Tests of drought responses in switchgrass. *Plant Physiology*. 2016. Vol. 172, Iss. 2. P. 734–748. doi: 10.1104/pp.16.00545
5. Taylor S. H., Lowry D. B., Aspinwall M. J. et al. QTL and drought effects on leaf physiology in lowland *Panicum virgatum*. *BioEnergy Research*. 2016. Vol. 9, Iss. 4. P. 1241–1259. doi: 10.1007/s12155-016-9768-5
6. De Souza A. P., Grandis A., Arenque-Musa B. C., Buckeridge M. S. Diurnal variation in gas exchange and nonstructural carbohydrates throughout sugarcane development. *Functional Plant Biology*. 2018. Vol. 45, Iss. 8. P. 865–876. doi: 10.1071/FP17268

7. McCormick A. J., Watt D. A., Cramer M. D. Supply and demand: Sink regulation of sugar accumulation in sugarcane. *Journal of Experimental Botany*. 2009. Vol. 60, Iss. 2. P. 357–364. doi: 10.1093/jxb/ern310
8. Ruiz-Vera U. M., De Souza A. P., Ament M. R. et al. High sink strength prevents photosynthetic down-regulation in cassava grown at elevated CO₂ concentration. *Journal of Experimental Botany*. 2021. Vol. 72, Iss. 2. P. 542–560. doi: 10.1093/jxb/eraa459
9. McCormick A. J., Cramer M. D., Watt D. A. Regulation of photosynthesis by sugars in sugarcane leaves. *Journal of Plant Physiology*. 2008. Vol. 165, Iss. 17. P. 1817–1829. doi: 10.1016/J.JPLPH.2008.01.008
10. De Souza A. P., Arundale R. A., Dohleman F. G. et al. Will the exceptional productivity of *Miscanthus × giganteus* increase further under rising atmospheric CO₂? *Agricultural and Forest Meteorology*. 2013. Vol. 171–172. P. 82–92. doi: 10.1016/j.agrformet.2012.11.006
11. Van Heerden P. D. R., Donaldson R. A., Watt D. A., Singels A. Biomass accumulation in sugarcane: Unravelling the factors underpinning reduced growth phenomena. *Journal of Experimental Botany*. 2010. Vol. 61, Iss. 11. P. 2877–2887. doi: 10.1093/jxb/erq144
12. Tejera M., Boersma N. N., Archontoulis S. V. et al. Photosynthetic decline in aging perennial grass is not fully explained by leaf nitrogen. *Journal of Experimental Botany*. 2022. Vol. 73, Iss. 22. P. 7582–7595. doi: 10.1093/jxb/erac382
13. Lemoine R., La Camera S., Atanassova R. et al. Source-to-sink transport of sugar and regulation by environmental factors. *Frontiers in Plant Science*. 2013. Vol. 4. Article 272. doi: 10.3389/fpls.2013.00272
14. Rodrigues J., Inzé D., Nelissen H., Saibo N. J. M. Source–sink regulation in crops under water deficit. *Trends in Plant Science*. 2019. Vol. 24, Iss. 7. P. 652–663. doi: 10.1016/j.tplants.2019.04.005
15. Boe A. Variation between two switchgrass cultivars for components of vegetative and seed biomass. *Crop Science*. 2007. Vol. 47, Iss. 2. P. 636–640. doi: 10.2135/CROPSCI2006.04.0260
16. Giannoulis K. D., Karyotis T., Sakellariou-Makrantonaki M. et al. Switchgrass biomass partitioning and growth characteristics under different management practices. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*. 2016. Vol. 78, Iss. 1. P. 61–67. doi: 10.1016/j.njas.2016.03.011
17. Liu Y., Zhang X., Tran H. et al. Assessment of drought tolerance of 49 switchgrass (*Panicum virgatum*) genotypes using physiological and morphological parameters. *Biotechnology for Biofuels*. 2015. Vol. 8, Iss. 1. Article 152. doi: 10.1186/s13068-015-0342-8
18. Hui D., Yu C.-L., Deng Q. et al. Effects of precipitation changes on switchgrass photosynthesis, growth, and biomass: A mesocosm experiment. *PloS One*. 2018. Vol. 13, Iss. 2. Article e0192555. doi: 10.1371/journal.pone.0192555
19. Mann J. J., Barney J. N., Kyser G. B., DiTomaso J. M. Root system dynamics of *Miscanthus × giganteus* and *Panicum virgatum* in response to rainfed and irrigated conditions in California. *BioEnergy Research*. 2013. Vol. 6, Iss. 2. P. 678–687. doi: 10.1007/s12155-012-9287-y
20. Присяжнюк О. І., Климович Н. М., Полуніна О. В. та ін. Методологія і організація наукових досліджень у сільському господарстві та харчових технологіях. Київ : Нілан-ЛТД, 2021. 300 с.
21. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6.0. Київ : ПоліграфКонсалтинг, 2007. 56 с.
22. Фучило Я. Д., Сінченко В. М., Ганженко О. М. та ін. Методологія дослідження енергетичних плантацій верб і тополь. Київ : Логос, 2018. 240 с.
23. Boersma N. N., Dohleman F. G., Miguez F. E., Heaton E. A. Autumnal leaf senescence in *Miscanthus × giganteus* and leaf [N] differ by stand age. *Journal of Experimental Botany*. 2015. Vol. 66, Iss. 14. P. 4395–4401. doi: 10.1093/jxb/erv129
24. Eggemeyer K. D., Awada T., Wedin, D. A. et al. Ecophysiology of two native invasive woody species and two dominant warm-season grasses in the semiarid grasslands of the Nebraska sandhills. *International Journal of Plant Sciences*. 2006. Vol. 167, Iss. 5. P. 991–999. doi: 10.1086/505797
25. Endres L., dos Santos C. M., Silva J. V. et al. Inter-relationship between photosynthetic efficiency, $\Delta^{13}\text{C}$, antioxidant activity and sugarcane yield under drought stress in field conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2019. Vol. 205, Iss. 5. P. 433–446. doi: 10.1111/jac.12336
26. Massey J., Antonangelo J., Zhang H. Nutrient dynamics in switchgrass as a function of time. *Agronomy*. 2020. Vol. 10, Iss. 7. Article 940. doi: 10.3390/AGRONOMY10070940
27. Yang J., Preiser A. L., Li Z. et al. Triose phosphate use limitation of photosynthesis: short-term and long-term effects. *Planta*. 2016. Vol. 243, Iss. 3. P. 687–698. doi: 10.1007/s00425-015-2436-8
28. Yang J., Udvardi M. Senescence and nitrogen use efficiency in perennial grasses for forage and biofuel production. *Journal of Experimental Botany*. 2018. Vol. 69, Iss. 4. P. 855–865. doi: 10.1093/JXB/ERX241
29. Liu J. C., Temme A. A., Cornwell W. K. et al. Does plant size affect growth responses to water availability at glacial, modern and future CO₂ concentrations? *Ecological Research*. 2016. Vol. 31, Iss. 2. P. 213–227. doi: 10.1007/s11284-015-1330-y
30. Mocko K., Jones C. S. Do seedlings of larger geophytic species outperform smaller ones when challenged by drought? *American Journal of Botany*. 2021. Vol. 108, Iss. 2. P. 320–333. doi: 10.1002/ajb2.1612

References

1. Barney, J. N., Mann, J. J., Kyser, G. B., Blumwald, E., Van Deynze, A., & DiTomaso, J. M. (2009). Tolerance of switchgrass to extreme soil moisture stress: Ecological implications. *Plant Science*, 177(6), 724–732. doi: 10.1016/j.plantsci.2009.09.003
2. Chen, P., Chen, J., Sun, M., Yan, H., Feng, G., Wu, B., ... Huang, L. (2020). Comparative transcriptome study of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) homologous autopolyploid and its parental amphidiploid responding to consistent drought stress. *Biotechnology for Biofuels and Bioproducts*, 13(1), Article 170. doi: 10.1186/s13068-020-01810-z
3. Hawkes, C., & Kiniry, J. (2018). Legacies in switchgrass resistance to and recovery from drought suggest that good years can sustain plants through bad years. *BioEnergy Research*, 11(1), 86–94. doi: 10.1007/s12155-017-9879-7
4. Lovell, J. T., Shakirov, E. V., Schwartz, S., Lowry, D. B., Aspinwall, M. J., Taylor, S. H., ... Juenger, T. (2016). Promises and challenges of eco-physiological genomics in the field: Tests of drought responses in switchgrass. *Plant Physiology*, 172(2), 734–748. doi: 10.1104/pp.16.00545
5. Taylor, S. H., Lowry, D. B., Aspinwall, M. J., Bonnette, J. E., Fay, P. A., & Juenger, T. E. (2016). QTL and drought effects on leaf physiology in lowland *Panicum virgatum*. *BioEnergy Research*, 9(4), 1241–1259. doi: 10.1007/s12155-016-9768-5
6. De Souza, A. P., Grandis, A., Arenque-Musa, B. C., & Buckeridge, M. S. (2018). Diurnal variation in gas exchange and nonstructural carbohydrates throughout sugarcane development. *Functional Plant Biology*, 45(8), 865–876. doi: 10.1071/FP17268
7. McCormick, A. J., Watt, D. A., & Cramer, M. D. (2009). Supply and demand: Sink regulation of sugar accumulation in sugarcane. *Journal of Experimental Botany*, 60(2), 357–364. doi: 10.1093/jxb/ern310
8. Ruiz-Vera, U. M., De Souza, A. P., Ament, M. R., Gleadow, R. M., & Ort, D. R. (2020). High sink strength prevents photosynthetic down-regulation in cassava grown at elevated CO₂ concentration. *Journal of Experimental Botany*, 72(2), 542–560. doi: 10.1093/jxb/eraa459
9. McCormick, A. J., Cramer, M. D., & Watt, D. A. (2008). Regulation of photosynthesis by sugars in sugarcane leaves. *Journal of Plant Physiology*, 165(17), 1817–1829. doi: 10.1016/J.JPLPH.2008.01.008
10. de Souza, A. P., Arundale, R. A., Dohleman, F. G., Long, S. P., & Buckeridge, M. S. (2013). Will the exceptional productivity of *Miscanthus × giganteus* increase further under rising atmospheric CO₂? *Agricultural and Forest Meteorology*, 171–172, 82–92. doi: 10.1016/j.agrformet.2012.11.006
11. van Heerden, P. D. R., Donaldson, R. A., Watt, D. A., & Singels, A. (2010). Biomass accumulation in sugarcane: Unravelling the factors underpinning reduced growth phenomena. *Journal of Experimental Botany*, 61(11), 2877–2887. doi: 10.1093/jxb/erq144
12. Tejera, M., Boersma, N. N., Archontoulis, S. V., Miguez, F. E., VanLoocke, A., & Heaton, E. A. (2022). Photosynthetic decline in aging perennial grass is not fully explained by leaf nitrogen. *Journal of Experimental Botany*, 73(22), 7582–7595. doi: 10.1093/jxb/erac382
13. Lemoine, R., Camera, S. L., Atanassova, R., Dédaldéchamp, F., Allario, T., Pourtau, N., ... Durand, M. (2013). Source-to-sink transport of sugar and regulation by environmental factors. *Frontiers in Plant Science*, 4, Article 272. doi: 10.3389/fpls.2013.00272
14. Rodrigues, J., Inzé, D., Nelissen, H., & Saibo, N. J. M. (2019). Source–sink regulation in crops under water deficit. *Trends in Plant Science*, 24(7), 652–663. doi: 10.1016/j.tplants.2019.04.005
15. Boe, A. (2007). Variation between two switchgrass cultivars for components of vegetative and seed biomass. *Crop Science*, 47(2), 636–640. doi: 10.2135/CROPSCI2006.04.0260
16. Giannoulis, K. D., Karyotis, T., Sakellariou-Makrantonaki, M., Bastiaans, L., Struik, P. C., & Danalatos, N. G. (2016). Switchgrass biomass partitioning and growth characteristics under different management practices. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*, 78(1), 61–67. doi: 10.1016/j.njas.2016.03.011
17. Liu, Y., Zhang, X., Tran, H., Shan, L., Kim, J., Childs, K., ... Zhao, B. (2015). Assessment of drought tolerance of 49 switchgrass (*Panicum virgatum*) genotypes using physiological and morphological parameters. *Biotechnology for Biofuels*, 8(1), Article 152. doi: 10.1186/s13068-015-0342-8
18. Hui, D., Yu, C.-L., Deng, Q., Dzantor, E. K., Zhou, S., Dennis, S., ... Luo, Y. (2018). Effects of precipitation changes on switchgrass photosynthesis, growth, and biomass: A mesocosm experiment. *PloS One*, 13(2), Article e0192555. doi: 10.1371/journal.pone.0192555
19. Mann, J. J., Barney, J. N., Kyser, G. B., & DiTomaso, J. M. (2012). Root system dynamics of *Miscanthus × giganteus* and *Panicum virgatum* in response to rainfed and irrigated conditions in California. *BioEnergy Research*, 6(2), 678–687. doi: 10.1007/s12155-012-9287-y
20. Prysiashniuk, O. I., Klymovych, N. M., Polunina, O. V., Yevchuk, Ya. V., Tretiakova, S. O., Kononenko, L. M., Voitovska, V. I., & Mykhailovyn, Yu. M. (2021). *Methodology and organization of scientific research in agriculture and food technologies*. Kyiv: Nilan-LTD. [In Ukrainian]
21. Ermantraut, E. R., Prysiashniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statistical analysis of agronomic study data in the Statistica 6.0 software suite*. Kyiv: PolihrafKonsal'tynh. [In Ukrainian]

22. Fuchylo, Ya. D., Sinchenko, V. M., Hanzhenko, O. M., Humentyk, M. Ya., Pyrkin, V. I., Prysiazniuk O. I., ... Zelinskyi B. V. (2018). *Research methodology of willow and poplar energy plantations*. Kyiv: Lohos. [In Ukrainian]
23. Boersma, N. N., Dohleman, F. G., Miguez, F. E., & Heaton, E. A. (2015). Autumnal leaf senescence in *Miscanthus* × *giganteus* and leaf [N] differ by stand age. *Journal of Experimental Botany*, 66(14), 4395–4401. doi: 10.1093/jxb/erv129
24. Eggemeyer, K. D., Awada, T., Wedin, D. A., Harvey, F. E., & Zhou, X. (2006). Ecophysiology of two native invasive woody species and two dominant warm-season grasses in the semiarid grasslands of the Nebraska sandhills. *International Journal of Plant Sciences*, 167(5), 991–999. doi: 10.1086/505797
25. Endres, L., dos Santos, C. M., Silva, J. V., Barbosa, G. V. de S., Silva, A. L. J., Froehlich, A., & Teixeira, M. M. (2019). Inter-relationship between photosynthetic efficiency, $\Delta^{13}\text{C}$, antioxidant activity and sugarcane yield under drought stress in field conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 205(5), 433–446. doi: 10.1111/jac.12336
26. Massey, J., Antonangelo, J., & Zhang, H. (2020). Nutrient dynamics in switchgrass as a function of time. *Agronomy*, 10(7), Article 940. doi: 10.3390/AGRONOMY10070940
27. Yang, J. T., Preiser, A. L., Li, Z., Weise, S. E., & Sharkey, T. D. (2015). Triose phosphate use limitation of photosynthesis: short-term and long-term effects. *Planta*, 243(3), 687–698. doi: 10.1007/s00425-015-2436-8
28. Yang J., Udvardi M. Senescence and nitrogen use efficiency in perennial grasses for forage and biofuel production. *Journal of Experimental Botany*, 69(4), 855–865. doi: 10.1093/JXB/ERX241
29. Liu, J.-C., Temme, A. A., Cornwell, W. K., van Logtestijn, R. S. P., Aerts, R., & Cornelissen, J. H. C. (2016). Does plant size affect growth responses to water availability at glacial, modern and future CO_2 concentrations? *Ecological Research*, 31(2), 213–227. doi: 10.1007/s11284-015-1330-y
30. Mocko, K., & Jones, C. S. (2021). Do seedlings of larger geophytic species outperform smaller ones when challenged by drought? *American Journal of Botany*, 108(2), 320–333. doi: 10.1002/ajb2.1612

UDC 633.282:631.559:620.952

Musich, V. V., & Prysiazniuk, O. I.* (2022). Patterns of changes in photosynthetic parameters of switchgrass grown on marginal lands of the Right Bank Forest Steppe of Ukraine. *Advanced Agritechnologies*, 10(2). <https://doi.org/10.47414/na.10.2.2022.270474> [In Ukrainian]

*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, *e-mail: ollpris@gmail.com*

Purpose. To establish the patterns of the photosynthetic parameters of switchgrass sowings cultivated on marginal land of the Right Bank Forest Steppe of Ukraine. **Methods.** The research was carried out in the years 2019–2022 at the Uladivske-Liulyntsi Experimental Breeding Station of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet National Academy of Agrarian Sciences according to generally accepted methods. Switchgrass variety 'Morozko' was cultivated in a three-factor field experiment. The soil was amended with lime (25% of the need, i.e. 1.6 t/ha), granulated adsorbent MaxiMarin (30 kg/ha), potassium humate Humifield (50 g/ha) and the antistress formulation AminoStar (1.0 l/ha). The adsorbent was applied in the rows two weeks before sowing. Foliar application of fertilisers was carried out twice: in the tillering stage and two weeks after the first application. **Results.** Photosynthetic parameters of crops, in particular leaf area and photosynthetic potential, increased with each subsequent year of switchgrass cultivation. In the 1st year of cultivation, in the tillering stage, the average leaf area (thousand m^2/ha) in the experiment was 1.3, while in the stage of leaf-tube formation it was 9.2, in flowering 23.8, and at end of the vegetation 20.4; in the 2nd year, the values were 6.2, 20.0, 34.6 and 29.0, respectively; in the 3rd year 8.2, 24.6, 41.3 and 35.4, respectively; in the 4th year 8.9, 27.3, 50.1 and 28.3, respectively. The average photosynthetic potential (thousand $\text{m}^2/\text{ha} \times \text{days}$) of crops in the period from tillering to the end of vegetation in the 1st year of cultivation was 1.47, in the 2nd 3.01, in the 3rd 3.78, and in the 4th 4.64. Applied agronomic practices positively affected the formation of both leaf area and the photosynthetic potential of crops. At the same time, foliar application of fertilisers during vegetation was more effective, while the influence of soil liming and the incorporation of adsorbent was mostly tendentious. At the same time, the indicators of the net productivity of photosynthesis (in the period from tillering to the end of vegetation) differed over the years of research (0.18, 0.14, 0.18 and 0.16 g/m^2 per day, respectively) and did not significantly changed over the experiment. **Conclusions.** The main patterns of the formation of photosynthetic parameters of switchgrass sowings were similar every year, and their highest values were noted for the combined foliar application of fertilisers Humifield (potassium humate) + antistress formulation AminoStar against the background of the incorporation of lime and adsorbent.

Keywords: soil liming; adsorbent; humate; leaf area; net productivity of photosynthesis; photosynthetic potential.

Надійшла / Received 04.10.2022
Погоджено до друку / Accepted 27.10.2022