

УДК 633.171;631.527;
581.13.1.1.035.2
© 2010

*О.І. Рудник-Іващенко,
кандидат сільсько-
господарських наук
Українська академія
аграрних наук*

ВПЛИВ МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ НА ФОТОСИНТЕЗ ПРОСА ПОСІВНОГО

Установлено залежність фотосинтетичного потенціалу рослин проса від умов мінерального живлення та тривалості міжфазних періодів, а також величини врожаю від площі та продуктивності листової поверхні. Експериментальними дослідженнями визначено оптимальні режими мінерального живлення рослин проса за фазами їхнього розвитку.

Основна фізіологічна властивість рослин проса полягає у тому, що фотосинтез у них здійснюється за типом C_4 (подібно до рослин сорго і кукурудзи та інших рослин тропічного кліматичного поясу), тоді як у більшості культур помірної кліматичної зони – за типом C_3 . Дослідниками встановлено, що головною відмінністю між ними є те, що рослини типу C_4 менш вибагливі до насичення повітря CO_2 (насичення наближене до природної концентрації – 0,03%), і досить високе його засвоєння відбувається за рахунок низького виділення під час фотодихання. Оскільки фотосинтез тісно пов'язаний з мінеральним живленням рослин і потребою у волозі, то оптимізація умов мінерального живлення та вологозабезпеченості рослин зумовлює краще використання продуктів фотосинтезу і вплив на процеси росту і розвитку рослин, формування урожаю.

Просо як типовий представник культур типу C_4 має здатність ефективніше використовувати азот з ґрунту і накопичувати значну суху масу на одиницю засвоєння азоту. Саме тому рослини цієї культури є дуже продуктивними, з високою стійкістю до несприятливих умов вирощування, що представляє безсумнівний інтерес у вивченні фотосинтетичної діяльності.

Мета досліджень — вивчення особливостей розвитку продукованого процесу рослин проса залежно від умов мінерального живлення.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводили впродовж 2006—2008 рр. у фермерському господарстві «Широкоступ», розташованому в Гагарлицькому районі Київської області. Клімат цієї зони помірно континентальний, з нестійким режимом зволоження. Тривалість періоду із середньодобовою температурою понад $10^\circ C$ становить 160—165 днів, $15^\circ C \approx 115$ днів. Надходження сумарної сонячної радіації сягає 90—95 ккал/см² за рік, а поверхню землі поглинається у вигляді радіаційного балансу 40—45 ккал/см², що значною мірою визначає термічний режим території. Ґрунти господарства — чорноземи опідзолені

середньосуглинкові на лесі. Уміст гумусу — 2,8—3,2%; рН сольової витяжки — 6,1—6,3; низька забезпеченість лужногідролізованим азотом (за Корнфільдом) — 100—120 мг/кг, середнім і підвищеним умістом рухомого фосфору і обмінного калію (за Чиріковим) — відповідно 90—120 і 70—100 мг/кг ґрунту та сумою увібраних основ (за Каппеном-Гільковіцем) у межах 28—30 ммоль на 100 г ґрунту.

Схема досліду передбачала різне поєднання доз мінеральних добрив під сорт проса Київське 87. Технологія вирощування проса – загальноприйнята в зоні. Для захисту від бур'янів використовували гербіцид базагран, 48% (д.р. бентазон) у нормі витрати 3 л/га (у фазі куцїння рослин культури). Повторність варіантів досліду — 4-разова. Площа посівної ділянки — 130 м², облікової – 100 м², культурою попередником була соя.

Мінеральні добрива (карбамід, амофос, хлористий калій) вносили згідно зі схемою досліду під передпосівний обробіток ґрунту. У варіанті з унесенням азоту підживлення проводили у фазі куцїння рослин культури карбамідом дозою 30 кг/га д.р. Обробіток ґрунту включав зяблеву оранку на глибину 23—25 см, осінню культивування на глибину 10 см, 2 весняні культивування, передпосівну культивування на глибину загортання насіння 2 см. Сівбу проса проводили в III декаді травня суцільним рядковим способом сівалкою СПУ-4 з нормою висіву 4 млн схожих насінин на 1 га. Збирали врожай зерна проса комбайном «Сампо-500» у фазі повної стиглості.

Зразки рослин проса відбирали у фазах куцїння, виходу в трубку, викидання волоті, дозрівання для визначення площі листової поверхні, накопичення біомаси, розрахунку фотосинтетичного потенціалу і чистої продуктивності фотосинтезу, визначення умісту та засвоєння основних елементів живлення (азоту, фосфору, калію). Статистичне опрацювання здійснювали методами дисперсійного аналізу із застосуванням комп'ютерних програм, за яки-

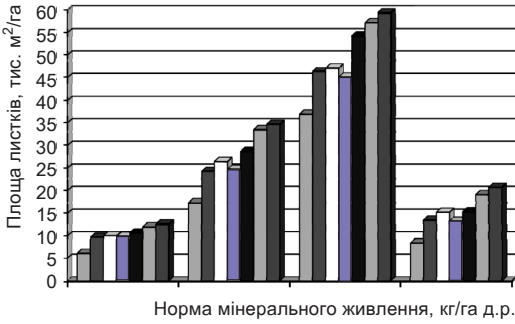


Рис. 1. Динаміка накопичення листової поверхні рослинами проса залежно від рівня мінерального живлення: ■ – без добрив; ■ – N₆₀K₉₀; □ – N₆₀P₄₀; ■ – P₄₀K₉₀; ■ – N₆₀P₄₀K₉₀; ■ – N₉₀₊₃₀P₄₀K₉₀

ми визначали основні показники варіаційного ряду: середнє арифметичне та її похибку (M+mM), коефіцієнт варіації та її похибку (V+mv), коефіцієнт кореляції (r). Показники фотосинтетичної діяльності посівів (площу листків, фотосинтетичний потенціал, чисту продуктивність фотосинтезу, накопичення біомаси) визначали за загальноприйнятими методиками. Площу листків вираховували за формулою:

$$S_n = 0,67ab,$$

де a – найбільша ширина листка, см; b – довжина листка, см; S_n – площа одного листка, см²; 0,67 – коефіцієнт, який відображає конфігурацію листка.

Фотосинтетичний потенціал визначали за формулою:

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

де L₁, L₂ – площа листової поверхні в конкретні фази розвитку, тис. м²/га; T – довжина міжфазного періоду, доба.

Чисту продуктивність фотосинтезу вираховували за формулою:

$$\text{ЧПФ} = V_1 - V_2 / 0,5(L_1 + L_2)T \times 100,$$

де ЧПФ – чиста продуктивність фотосинтезу, г/м² за добу; V₁ і V₂ – біомаса рослин на початку та у кінці облікового періоду, ц/га.

Результати досліджень. Основний показник, що характеризує стан посівів з погляду фотосинтетичної діяльності (площа листової поверхні за фазами росту і розвитку рослин), має безпосередній вплив на накопичення біомаси рослин у процесі вегетації. Дослідженнями встановлено, що основним фактором визначення приросту листової поверхні є рівень мінерального живлення рослин (рис. 1).

Застосування фосфорних і калійних добрив забезпечило збільшення листової поверхні на 3,81–8,77 тис. м²/га залежно від фаз розвитку рослин проса порівняно з варіантом без добрив. Проте найбільший вплив на утворення листової поверхні проса мало азотне добриво. Внесення N₆₀ під передпосівне культивування забезпечило збільшення цього показника залежно від фази на 0,97–9,25 тис. м²/га щодо доз азоту до N₁₂₀, з яких 30 кг/га д.р. застосовували як підживлення. Це сприяло збільшенню площі листків у фазах виходу в трубку на 18,2%, викидання волоті – 9,9, повної стиглості – на 36,5%. Максимальної площі листової поверхні (61,28 тис. м²/га) в експериментальних варіантах було досягнуто у фазі викидання волоті за основного внесення N₉₀P₄₀K₉₀ і застосування N₃₀ у підживленні у фазі куцїння рослин культури.

Аналізуючи зміну площі листків за фазами розвитку рослин проса, встановлено, що найбільший приріст цього показника був у міжфазний період куцїння – викидання волоті. Так, у варіанті досліду без добрив площа листової поверхні збільшилась на 31,13 тис. м²/га, за внесення P₄₀K₉₀ – 36,29 тис. м²/га, із застосуванням N₉₀₊₃₀P₄₀K₉₀ – 47,21 тис. м²/га.

У фазі досягання рослин відзначено скорочення листової поверхні в 3–4,5 раза за всіма досліджуваними варіантами, хоча у варіантах з унесенням азотних добрив цей показник різнився: листкова поверхня зменшилась у 2,9–3,7 раза.

Було встановлено тісну залежність урожаю від параметрів і продуктивності листової поверхні, що підтверджує висновок деяких учених про таку залежність у інших зернових культурах, зокрема пшениці. Це підтверджується у наших дослідженнях позитивною кореляцією урожайності зерна з площею листової поверхні рослин проса. У фазах виходу рослин проса в трубку ця залежність визначалась рівнянням:

$$Y = -0,4749S^2 + 1,3356S + 7,1945, R^2 = 0,96,$$

викидання волоті –

$$Y = -0,0079S^2 + 1,3672S - 12,4179, R^2 = 0,96.$$

У наведених випадках приблизно 96% варіювання урожайності зерна проса визначається величиною листової поверхні рослин проса.

Мінеральні добрива сприяли інтенсивнішому накопиченню сухої біомаси рослин проса за всіма фазами росту і розвитку. При цьому від фази куцїння до фази дозрівання рослин відбувалось накопичення загальної біомаси посівів. До того ж з розвитком рослин збільшувалась різниця у накопиченні біомаси за досліджуваними варіантами. Проте найбільший вплив на

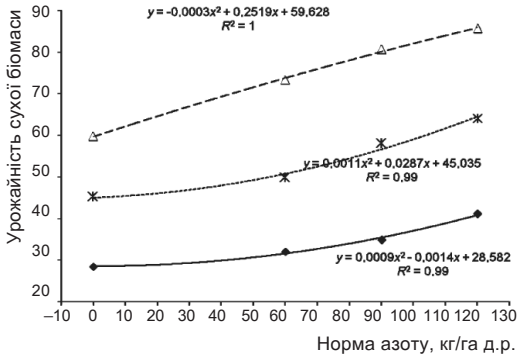


Рис. 2. Залежність урожайності сухої біомаси за фазами розвитку рослин проса від норм мінерального азоту: \triangle — вихід у трубку; \ast — викидання волоті; \blacklozenge — дозрівання

накопичення сухої біомаси рослин і формування листової поверхні мали азотні добрива.

Нами встановлено кореляційно-регресійну залежність накопичення сухої біомаси рослинами проса в основні фази росту і розвитку залежно від норм мінерального азоту (рис. 2).

Також встановлено достовірне підвищення сухої біомаси при внесенні зростаючих доз азотних добрив, середній приріст на кожні 10 кг/га азоту у фазах виходу в трубку становив 1,4 ц/га сухої речовини, викидання волоті — 2,1, досягання — 2,3 ц/га сухої речовини.

Найбільший вплив добрив на формування урожаю проса можна оцінити, враховуючи величину фотосинтетичного потенціалу (ФП) рослин. Цей показник характеризує фотосинтетичну потужність посівів за весь вегетаційний період або окремий проміжок часу. Позитивний взаємозв'язок ФП рослин проса відзначено з площею листової поверхні та тривалістю міжфазних періодів, тобто чим довше листок перебуває у функціональному стані, тим вищі темпи продуктивних процесів у рослині. На думку вчених-фізіологів, ФП повинен становити не

менше 2 млн m^2 /га на добу в розрахунку на кожні 100 діб фактичної вегетації. Фотосинтетичний потенціал рослин проса безпосередньо залежить від застосування мінеральних добрив і тривалості міжфазних періодів (табл. 1). Так, унесення $P_{40}K_{90}$ у наших дослідах збільшило цей коефіцієнт на 30,1—59,5% за всіма фазами розвитку порівняно з контрольним варіантом. Підвищені дози азоту збільшили цей показник на 0,04—0,39 млн m^2 /га за добу. Максимального значення фотосинтетичного потенціалу (1,32 млн m^2 /га за добу) рослини проса досягали в міжфазний період викидання волоті — дозрівання на фоні $N_{90+30}P_{40}K_{90}$, де 30 кг/га д.р. вносили як підживлення у фазі кущіння.

Як свідчать дані табл. 1, показник фотосинтетичного потенціалу різнився за фазами розвитку рослин. Мінімальне його значення спостерігали в міжфазний період кущіння — вихід у трубку (0,13—0,25 млн m^2 /га за добу), найбільше — у період викидання волоті — дозрівання (0,69—1,32 млн m^2 /га за добу). Оптимальним варіантом за величиною фотосинтетичного потенціалу і отриманим урожаєм зерна проса є унесення $N_{90}P_{40}K_{90}$, що забезпечило показник 1,24 млн m^2 /га за добу та врожайність зерна 44 ц/га.

Результуючим показником продуктивного процесу є чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ), яка дає змогу врахувати не лише темпи утворення органічної речовини на одиницю листової поверхні, а й її втрати в результаті процесу дихання, відмирання та опадання частково листків упродовж вегетації. ЧПФ безпосередньо визначає рівень отриманих урожаїв і тісно корелює з кількістю органічної речовини, утвореної в окремих варіантах досліду. У нашому випадку 62% варіювання урожайності зерна проса визначали різною величиною чистої продуктивності фотосинтезу:

$$Y = -0,4325\text{ЧПФ}^2 + 1,1822\text{ЧПФ} + 6,1511, R^2 = 0,63.$$

1. Залежність продуктивності рослин проса від фотосинтетичного потенціалу

Варіант досліду	Міжфазний період, млн m^2 /га за добу			Урожайність зерна, ц/га
	кущіння — вихід у трубку	вихід у трубку — викидання волоті	викидання волоті — дозрівання	
Без добрив	0,13	0,28	0,69	29,8
$N_{60}K_{90}$	0,17	0,38	0,92	36,3
$N_{60}P_{40}$	0,20	0,40	0,94	37,7
$P_{40}K_{90}$	0,18	0,37	0,90	37,0
$N_{60}P_{40}K_{90}$	0,21	0,45	1,08	41,1
$N_{90}P_{40}K_{90}$	0,24	0,49	1,24	44,0
$N_{90+30}P_{40}K_{90}$	0,25	0,51	1,32	41,9
$НІР_{0,05}$				1,5

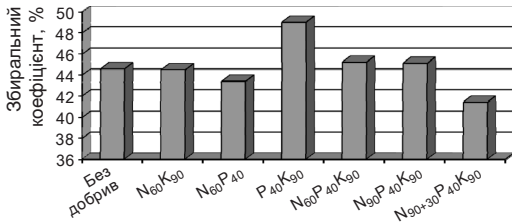


Рис. 3. Коефіцієнт господарської ефективності фотосинтезу

Важливою перевагою вважається достовірне збільшення коефіцієнта господарської ефективності, який характеризує розподіл пластичних речовин між господарською частиною урожаю і загальною біомасою. Цей коефіцієнт господарської ефективності фотосинтезу вираховували за формулою:

$$K_{\text{Гос}} = (Y/B)100\%,$$

де $K_{\text{Гос}}$ — коефіцієнт господарської ефективності фотосинтезу (збиральний коефіцієнт), %; Y — урожай зерна, ц/га; B — урожайність надземної біомаси (зерна та соломи), ц/га.

Коефіцієнт господарської ефективності фотосинтезу у дослідженнях (рис. 3) виявився дещо вирівняним і коливався від 43,5 до 48,9%. В оптимальному за врожайністю варіанті N₉₀P₄₀K₉₀ він становив 44,9%.

Важливим моментом у розвитку рослин є поглинання ними елементів живлення, яке перебуває у деякій залежності від їхньої фотосин-

тетичної діяльності. За допомогою кореляційно-регресійного аналізу встановлено, що з ростом листової поверхні збільшується поглинання основних елементів живлення за фази розвитку рослин проса (табл. 2). Потреба в сполуках мінерального живлення у рослин змінюється протягом періоду вегетації, що, передусім, пояснюється змінами проходження біохімічних процесів.

Оцінюючи динаміку надходження макроелементів у рослини проса за основними фазами розвитку, можна помітити, що їх споживання визначається дозами внесених мінеральних добрив. У середньому за 3 роки досліджень засвоєння азоту до фази куціння у контрольному варіанті без унесення добрив не перевищувало 26,9 кг/га, фосфору — 9,1 і калію — 43,2 кг/га. На фоні P₄₀K₉₀ споживання азоту збільшувалося на 12,7 кг/га, фосфору — 7,1, калію — 32 кг/га, а за внесення повного мінерального добрива N₆₀P₄₀K₉₀ — на 16,1; 6,9 та 31,5 кг/га відповідно. Збільшення дози внесення азотних добрив призводило до наступного наростання обсягів споживання елементів живлення рослин проса. Найбільш високий рівень споживання просом сполук азоту, фосфору і калію за всіма фазами розвитку рослин був у варіанті N₉₀₊₃₀P₄₀K₉₀.

Споживання макроелементів просом упродовж вегетації було нерівномірним. Так, якщо у варіанті N₆₀P₄₀K₉₀ у середньому за 3 роки досліджень споживання елементів живлення до фази куціння рослин становило: азоту — 42,1, фос-

2. Кореляційний зв'язок площі листової поверхні рослин проса із засвоєнням елементів живлення

Елемент живлення	Рівняння регресії	Коефіцієнт детермінації, R ²
<i>Фаза виходу в трубку</i>		
Азот	$Y=0,037x^2+1,2914x+4,21$	0,95
Фосфор	$Y=-0,0124x^2+1,541x-17,521$	0,90
Калій	$Y=-0,0072x^2+4,91x-34,173$	0,92
<i>Фаза викидання волоті</i>		
Азот	$Y=0,0824x^2-5,4221x+173,55$	0,90
Фосфор	$Y=0,0181x^2-0,4542x+20,706$	0,90
Калій	$Y=0,0542x^2-1,2441x+89,121$	0,93

3. Кореляційна залежність урожайності зерна від обсягів споживання основних елементів живлення

Елемент живлення	Рівняння регресії	Коефіцієнт детермінації, R ²
Азот	$Y=-0,0044x^2+1,1519x-29,112$	0,94
Фосфор	$Y=-0,0191x^2+2,2915x-6,7127$	0,90
Калій	$Y=-0,0005x^2+0,3704x-9,300$	0,94

фору — 15,8, калію 73,5 г/га, то до фази виходу в трубку значення цих показників збільшились на 71,3; 48,5; 77,9% відповідно. До фази викидання волоті у рослин проса ці показники збільшились відповідно на 32,0; 31,2 та 43,9% щодо фази виходу в трубку. У фазі дозрівання

відбувалось зниження обсягів засвоєння азоту на 4,9 і калію — 60,5 кг/га. Споживання фосфору, навпаки, зросло на 11,9 кг/га. Нами встановлено тісну кореляційно-регресійну залежність величини врожаю зерна проса від обсягів засвоєння елементів живлення (табл. 3).

Висновки

Застосування мінеральних добрив позитивно впливало на фотосинтетичну діяльність рослин проса, яке вирощували на опідзолених чорноземних ґрунтах.

Оптимальна площа листової поверхні посівів проса у фазі викидання волоті у рослин культури — 57,91 тис. м²/га формувалась за внесення N₉₀P₄₀K₉₀. Така площа листової поверхні забезпечила накопичення 81 ц/га сухої речовини до фази повної стиглості рослин і

врожайність зерна 44 ц/га. Значення фотосинтетичного потенціалу при цьому становило 1,24 млн м²/га за добу, а чиста продуктивність фотосинтезу була 1,960 г/м² за добу.

Максимально високий рівень засвоєння сполук азоту, фосфору, калію за всіма фазами розвитку рослин проса відзначено у варіанті із застосуванням N₉₀₊₃₀P₄₀K₉₀: по азоту — 55,4—139,1, фосфору — 19,1—25,7, калію — 91,9—241,7 кг/га.

Бібліографія

1. Кулаковская Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений/Т.Н. Кулаковская; сост. Л.П. Детковская. — М.: Агропромиздат, 1990. — С. 31—34.
2. Мокронос А.Г. Онтогенетический аспект фотосинтеза. — М.: Наука, 1981. — 196 с.
3. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений/Н.П. Третьяков [и др.]; под общ. ред. Н.П. Третьякова. — М.: Колос, 1998. — 639 с.
4. Церлинг В.В. Агрономические основы диаг-

ности минерального питания сельскохозяйственных культур/В.В. Церлинг. — М.: Колос, 1978. — 213 с.

5. Penning de Vries F.V.T. Use of assimilates in higher plants. — In: Photosynthesis and productivity in different environment. J.P. Cooper (Ed.)// Cambridge Univ. Press, 1975. — P. 459—480.

6. Greenwood E.A.N. Nitrogen stress in plants/ E.A.N. Greenwood//Adv. Agron. — 1976. — V. 28. — P. 1—35.

ВІСТІ З НАУКОВИХ УСТАНОВ

МУТАГЕННА АКТИВНІСТЬ ЕКЗОМЕТАБОЛІТІВ

Генетичний матеріал організмів є основою їхньої життєдіяльності, зокрема підтримання гомеостазу та продовження роду. Мутагени, які ушкоджують молекулу ДНК, впливають на нормальний перебіг окремих метаболічних процесів і в цілому є постійною загрозою для живих істот. Саме тому проблема виявлення мутагенних сполук і джерел їхнього походження є вкрай важливою. Здатність утворювати мутагенні сполуки фітопатогенними бактеріями майже не досліджували. Тому нами вивчено здатність вірулентного та авірулентного штамів *Pseudomonas syringae* pv. *atofaciens* — збудника базального бактеріозу зернових культур утворювати екзометаболіти з мутагенною активністю.

Виявлено, що вірулентний штам *P. syringae* pv. *atofaciens* 9400 не продукував екзометаболітів, які б виявляли мутагенну активність у прокаріотичному тесті Еймса чи еукаріотичному тесті на цибулі ріпчастій *Allium cepa*. Натомість екзометаболіти авірулентного штаму *P. syringae* pv. *atofaciens* 9417 хоч і не впливали на спонтанний фон мутацій у прокаріотичного тест-об'єкта, підвищували у 1,4 раза ушкодженість аберантних клітин апікальної меристеми корінців *A. cepa*. Одержані результати свідчать про здатність фітопатогенних бактерій продукувати мутагенні сполуки. Це питання потребує подальших досліджень з метою вивчення ширшого кола збудників захворювань важливих сільськогосподарських культур і встановлення впливу фітопатогенних бактерій на геном людини і тварин.

Р.І. Гвоздяк, доктор біологічних наук
Ю.М. Богдан
Інститут мікробіології і вірусології
ім. Д.К. Заболотного НАН України