



**Збірник матеріалів
Міжнародної науково–практичної конференції**

ЗЕЛЕНЕ ПОВОЄННЕ ВІДНОВЛЕННЯ ПРОДОВОЛЬЧИХ СИСТЕМ В УКРАЇНІ

**26 січня 2023 року
м. Одеса**

УДК 551.521+58.03

Польовий А.М.,
доктор географічних наук, професор,
завідувач кафедри агроекології та агрометеорології,
apolevoy@te.net.ua,
Божко Л.Ю.,
кандидат географічних наук,
доцент кафедри агроекології та агрометеорології,
bozko@i.ua,
Барсукова О.А.,
кандидат географічних наук,
доцент кафедри агроекології та агрометеорології,
lena5933@ukr.net,
Одеський державний екологічний університет,
м. Одеса, Україна

ОЦІНКА ВПЛИВУ ПІДВИЩЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ CO₂ В АТМОСФЕРІ НА ФОТОСИНТЕЗ ЗЕЛЕНОГО ЛИСТКА

Анотація

Розглядається вплив зміни вмісту CO₂ в атмосфері на інтенсивність фотосинтезу зеленого листка в умовах різної щільності потоку фотосинтетично активної радіації (ФАР).

Ключові слова: листок, концентрація CO₂, примежевий шар, швидкість вітру, сонячна радіація, температура повітря, світлова крива фотосинтезу, вуглекислотна крива фотосинтезу, продукційний процес

Вступ. Останні десятиліття характерним є постійно зростаюча увага до проблеми підвищення концентрації CO₂ в атмосфері. В рамках сучасної теорії продукційного процесу рослин CO₂ є найважливішим аргументом функції фотосинтезу листка, який в значній мірі визначає інтенсивність фотосинтезу і сумарну продуктивність будь-якого рослинного організму.

Основною метою дослідження є оцінка впливу збільшення концентрації CO₂ в атмосфері на інтенсивність фотосинтезу зеленого листка.

Результати дослідження та їх аналіз. Встановлено [2], що в оптимальних умовах освітлення й температури інтенсивність фотосинтезу листя рослин при підвищенні концентрації CO₂ в атмосфері до 0,10–0,20 % зростає в 2–4 рази. Ця властивість рослин, що встановлена в короткочасних вимірах газообміну листка при різних концентраціях CO₂, дає унікальну можливість вивчення взаємодії фотосинтезу й росту в системі цілої рослини, впливу надлишку асимілятів на активність і властивості фотосинтетичного апарату, взаємозв'язку інтенсивності фотосинтезу і продуктивності, в експериментах із тривалим вирощуванням рослин в атмосфері з підвищеним вмістом вуглекислого газу.

Найбільш однозначною реакцією рослин на тривале вирощування в атмосфері з підвищеним вмістом CO₂ є збільшення площі їхньої листкової поверхні, зменшення співвідношення площі листя до сухої маси рослини (відносної площі листя рослини), зростання відносної швидкості росту сухої біомаси, але в основному тільки у початковий період вегетації, і значення чистої продуктивності фотосинтезу.

В роботі [5] наводяться узагальнені дані про реакцію рослин на збільшення CO₂ в атмосфері (табл. 1) у вигляді відношення E інтенсивності фотосинтезу листка $\Phi_{\text{екс}}$ при підвищеному вмісті CO₂ в повітрі до інтенсивності фотосинтезу листка Φ_{200} за умови концентрації CO₂ в повітрі на рівні 200 ppm ($E = \Phi_{\text{екс}} / \Phi_{200}$).

Таблиця 1

Порівняння ефекту зміни інтенсивності фотосинтезу при збільшенні концентрації CO₂ у повітрі [5]

Рослина	Інтенсивність ФАР, Вт/м ²	Концентрація CO ₂ , ppm		E
		низька	висока	
Модель C ₃ листка	400	200	800	3,7
Томати	150	200	800	3,2
Пшениця	300	200	500	2,6
Цукровий буряк	300	200	800	2,5
Соняшник	116	200	800	1,7
Гвоздика	450	200	800	2,2
Цукровий очерет	380	200	800	2,8

Як видно з даних табл. 1, величина відношення E коливається в досить широкому інтервалі. Досить вірогідно, що хоча ефект збагачення атмосфери вуглекислим газом для продуктивності рослин завжди позитивний, однак його величина змінюється в широких межах і визначається, насамперед, ступенем детермінованості вегетативного росту генотипу і зовнішніми умовами (світловим і температурним режимами, генетичною взаємодією рослин і т. п.).

Процес фотосинтезу в листках підрозділяється на два етапи: дифузія молекул CO_2 з повітря до центрів карбоксилування у клітині та біохімічний цикл фотосинтезу в хлоропластах. Відповідно цьому існують два типи моделей фотосинтезу листка: дифузійні моделі фотосинтезу листка та моделі біохімічного циклу газообміну CO_2 в середині листка.

До першого типу моделей відноситься модель Гаастра [3] для опису дифузії молекул CO_2 у листок, яка записується у вигляді

$$\Phi_L = \frac{C_0 - C_{cl}}{r_a + r_s + r_m}, \quad (1)$$

де C_0 і C_{cl} – концентрація CO_2 (м $\text{CO}_2/\text{см}^3$) відповідно у зовнішньому повітрі й поблизу хлоропластів; r_a, r_s, r_m – дифузійні опори для молекул CO_2 відповідно в примежовому шарі листка, устячках і клітинах мезофілу.

Біохімічний цикл газообміну CO_2 в середині листка описує модель Монсі та Саєкі [4]:

$$\Phi_L(Q_\phi) = \frac{\Phi_{\max} - Q_\phi}{\Phi_{\max} / a_\phi + Q_\phi}, \quad (2)$$

де a_ϕ – нахил світлової кривої фотосинтезу при малій інтенсивності ФАР, тобто $a_\phi = \Phi_L/Q_\phi$ при $Q_\phi \rightarrow 0$; Φ_{\max} – насичена інтенсивність фотосинтезу; Q_ϕ – інтенсивність ФАР.

Робота В.О. Горбачова [1] містить огляд різних спрощених моделей біохімічного циклу фотосинтезу, які можна звести до узагальненої формули типу

$$\Phi_L = \frac{1}{\frac{r_c}{C_c} + \frac{1}{a_\phi I_{\text{ФАР}}} + \sum \frac{1}{A_0 k_i x_i}}, \quad (3)$$

де A_0 – резерв акцептора CO_2 ; x_i – кількість i -го ферменту, який бере участь у реакції карбоксилування зі швидкістю k_i

Таким чином формула (3) поєднує залежність фотосинтезу зеленого листка від радіації, концентрації CO_2 і від дифузійних опорів, що дозволяє в чисельних експериментах дослідити питання про ефективність утилізації сонячної енергії в залежності від різних коливань концентрації CO_2 в атмосфері, щільності потоку ФАР та турбулентного режиму.

Нами при дослідженні розглядалися умови, які характеризуються оптимальною температурою повітря (25°C) та оптимальним вологозабезпеченням (запаси продуктивної вологи в шарі ґрунту 0–100 см становлять 0,75 найменшої вологоємності в цьому шарі).

При невисоких швидкостях вітру спостерігається найбільший опір примежового шару зеленого листка дифузії CO_2 (рис. 1). Найбільш значний він при швидкостях вітру до 0,5 м/с. При подальшому збільшенню швидкості вітру опір примежового шару листка суттєво зменшується. При швидкості вітру 2–2,5 м/с він в п'ять разів менший, ніж при швидкості 0,2 м/с. Збільшення швидкості вітру більше 3–4 м/с незначною мірою зменшує опір примежового шару листка.

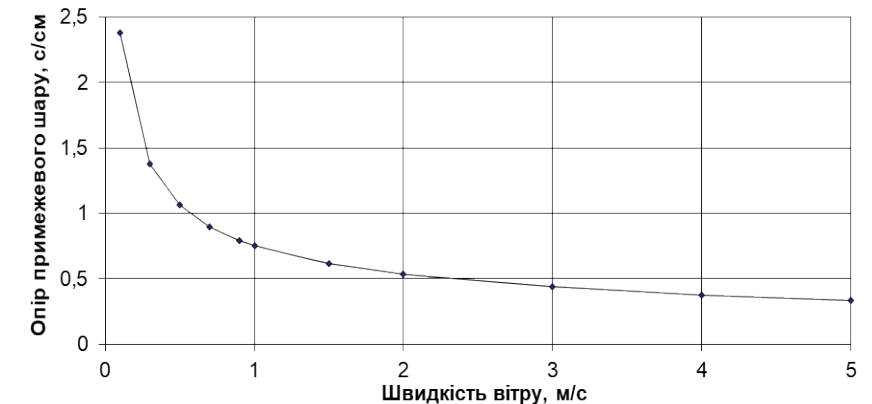


Рис. 1. Залежність опору примежового шару зеленого листка дифузії CO_2 від швидкості вітру

Результати розрахунків показують (рис. 2), що найменш сприятливими умовами для газообміну листка є поєднання малих швидкостей вітру з низькими концентраціями CO₂ в повітрі.

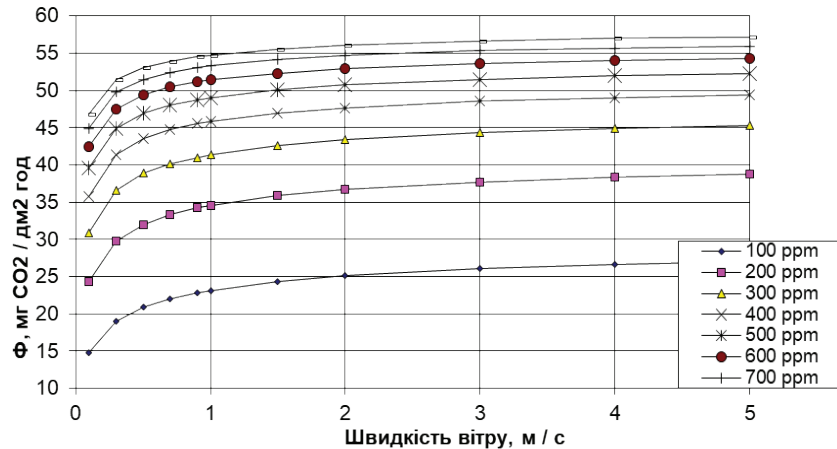


Рис. 2. Залежність інтенсивності фотосинтезу зеленого листка (Ф) від швидкості вітру при різній концентрації CO₂ в атмосфері

Так, при швидкості вітру 5 м/с та зростанні концентрації CO₂ в повітрі з 200 ppm до 800 ppm інтенсивність фотосинтезу листка зростає в 1,47 рази. Отримана нами величина зміни інтенсивності фотосинтезу задовільно співпадає з наведеними в табл. 1 даними, які характеризують зміну рівня фотосинтезу в залежності від зростання концентрації CO₂ у повітрі. Деякі розходження пояснюються різними умовами проведення досліджень та розрахунків, частково рівнем температури повітря, умовами зволоження та турбулентного режиму.

За всіх умов збільшення концентрації CO₂ в повітрі викликає підвищення інтенсивності газообміну (рис. 3). Розрахунки виконані при умовах: оптимальна температура повітря, оптимальні умови вологозабезпечення, щільність потоку ФАР 400 Вт/м², швидкість вітру 0,5 м/с. Вуглекислотна крива фотосинтезу надає уяву про залежність інтенсивності фотосинтезу зеленого листка від концентрації CO₂ в атмосфері. Параметри цієї кривої характеризуються нахилом

вуглекислотної кривої фотосинтезу при малій концентрації CO₂ в повітрі, тобто $a_c = \Phi_L / C_A$ при $C_A \rightarrow 0$, та величиною насиченої інтенсивності фотосинтезу Φ_{max} при $C_A \rightarrow \infty$. Особливо стрімке зростання інтенсивності фотосинтезу листка спостерігається при збільшенні концентрації CO₂ від 100–200 до 400 ppm.

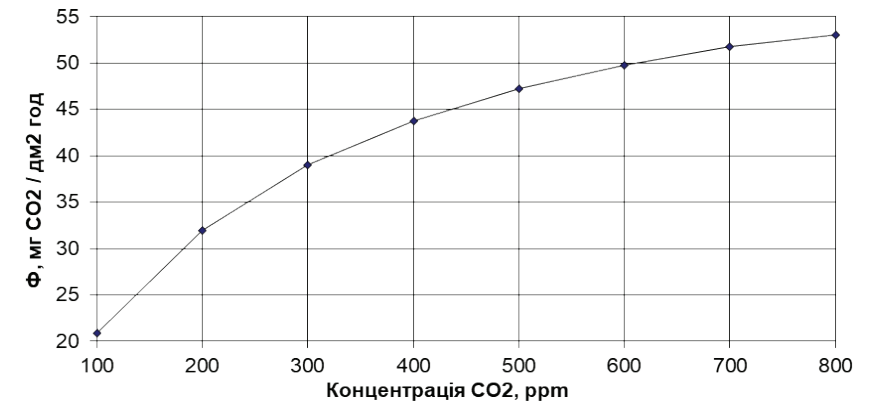


Рис. 3. Залежність інтенсивності фотосинтезу зеленого листка (Ф) від концентрації CO₂ в атмосфері при щільності потоку ФАР 400 Вт/м²

Висновки. Чисельні експерименти демонструють високу чутливість опору примежового шару зеленого листка до режиму турбулентності. Отримана кількісна оцінка впливу швидкості вітру на інтенсивність фотосинтезу при різній концентрації CO₂. Встановлено, що найменш сприятливими умовами для газообміну листка є поєднання малих швидкостей вітру з низькими концентраціями CO₂ у повітрі. Отримана вуглекислотна крива фотосинтезу листка.

Список використаних джерел:

1. Горбачев В.А. Математическое моделирование углекислотного режима сельскохозяйственных посевов. *Обзорная информация ВНИИГМИ-МЦД. Серия: Метеорология.* 1983. Вып. 10. 44 с.
2. Фотосинтез, продукционный процесс и продуктивность растений / Б.И. Гуляев, И.И. Рожко, А.Д. Рогаченко и др. Киев : Наукова Думка, 1989. 152 с.