

ФОТОСИНТЕЗ І ВРОЖАЙ: ПРОБЛЕМИ, ДОСЯГНЕННЯ, ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В.І. ДУБРОВСЬКИЙ, канд. с.-г. наук

Інститут садівництва (ІС) НААН України, 03027, Київ-27, вул. Садова, 23

В.В. ШВАРТАУ, доктор біол. наук, професор, член-кор. НАН України

Л. М. МИХАЛЬСЬКА, канд. біол. наук

Інститут фізіології рослин і генетики НАН України,

03022, м. Київ, вул. Васильківська, 31/17,

e-mail: no-reply@researchgatemail.net

Розглянуто питання підвищення продуктивності сільськогосподарських культур, в тому числі й деревних, зокрема, у зв'язку з оптимізацією фізіологічних процесів у рослинах. На основі літературних даних і результатів власних експериментів проаналізовано закономірності формування агроценозів з підвищеною фотосинтетичною продуктивністю. Розглянуто ключові характеристики фотосинтетичного апарату, що визначають ефективність фотосинтезу. Показано зміни його інтенсивності, обумовлені коливаннями концентрації атмосферного вуглекислого газу і температури, а також взаємозалежність цих показників.

Ключові слова: продуктивність, фотосинтез, фотодихання, хлорофіл, вуглекислий газ, концентрація CO₂.

Життя сучасної людини неможливе без вирощування різних культурних рослин. Органічні речовини, які утворюються ними у процесі фотосинтезу, служать основою харчування, виготовлення ліків, вони необхідні для виготовлення паперу, меблів, будівельних матеріалів і т.п.

Культурні рослини утворюють велику кількість різноманітних органічних речовин у тому числі в результаті фотосинтезу – 95 відсотків своєї сухої речовини [1], швидко розмножуються, покривають зеленим килимом листової поверхні величезні площі. Можемо стверджувати, що керування цим процесом фотосинтезу – один із найефективніших шляхів вирощування рослин на продуктивність, на їх урожай. Фізіологи абсолютно правильно вважають, що основною функцією цього процесу є збереження та підтримка на вищому рівні фотосинтетичної діяльності природної рослинності планети, максимальне підвищення фотосинтетичної продуктивності культурних рослин [2].

Які ж шляхи управління людиною фотосинтетичною діяльністю рослин?

Часто стримувальним фактором фотосинтезу є недостатня кількість у повітрі вуглекислого газу, (зазвичай близько 0,03 %). Проте над посівами, де інтенсивно проходить цей процес, вміст вуглекислого газу, знижується іноді у три-чотири рази в порівнянні з наведеною цифрою. Природно, що цей фактор гальмує фотосинтез. Тим часом для отримання середнього врожаю гектар його посівів повинен засвоїти за добу близько 300-400 кг вугле-

кислого газу [3, 4, 5]. Збільшення кількості вуглекислого газу в атмосфері до 1,5 % призводить до прямо пропорційного зростання інтенсивності фотосинтезу [6]. Таким чином, одним зі шляхів підвищення його продуктивності фотосинтезу – збільшення концентрації вказаної речовини в повітрі.

Сучасний рівень технології в цілому, дозволяє вирішити це завдання у глобальних масштабах. Однак дуже сумнівно, щоб людина зважилася на практиці здійснити цей проект. Справа в тому, що збільшення кількості вуглекислого газу в повітрі може призвести до зміни теплого балансу планети, до її перегріву внаслідок так званого «парникового ефекту», обумовленого тим, що за наявності великої кількості названої речовини атмосфера сильніше затримує теплові промені, що випускаються поверхнею Землі [7].

Перегрів планети може спричинити танення льоду в полярних областях і у високогір'ї, підняття рівня Світового океану, скорочення площі суші, в тому числі зайнятої під культурними рослинами. Якщо врахувати, що населення Землі збільшується щотижня на мільйон 400 тисяч осіб, то зрозуміла небажаність таких змін [8].

Крім того людство стурбоване природним зростанням концентрації вуглекислого газу в атмосфері, котре спостерігається останніми роками в результаті інтенсивного розвитку промисловості, автомобільного, залізничного та авіаційного транспорту. Тому воно не наважиться коли-небудь свідомо стимулювати цей процес у глобальних масштабах.

У теплицях і на полі підвищення вмісту вуглекислого газу має важливе значення для зростання врожайності сільськогосподарських рослин. З цією метою в теплицях спалюють тирсу, розкладають сухий лід на стелажах теплиць, випускають вуглекислий газ із балонів. Основний спосіб підвищення концентрації CO_2 над полем – активізація життєдіяльності ґрунтових мікроорганізмів шляхом внесення в ґрунт органічних і мінеральних добрив. У процесі дихання мікроби виділяють велику кількість CO_2 . Останніми роками для збагачення ґрунту і цією речовиною поля стали поливати водою, насиченою нею [9, 10].

Інший шлях подолання негативного впливу низької концентрації вуглекислого газу в атмосфері на врожай – поширення таких форм рослин, які дуже інтенсивно здійснюють фотосинтез навіть за досить низького його вмісту. Це рослини з фотосинтезом C_4 , у яких рекордні показники інтенсивності фотосинтезу [11].

Поширення таких рослин, подальше вивчення особливостей їх фотосинтезу є досить необхідним і перспективним.

Рослинність земної кулі використовує сонячну енергію досить неефективно. Коефіцієнт корисної дії (ККД) в більшості дикорослих рослин складає всього 0,2, у культурних він – 1 %. За оптимального постачання останніх водою, мінеральними солями коефіцієнт корисного використання світла підвищується до 4-6 %. Теоретично можливе підвищення до 8-10 %. Зіставлення наведених цифр свідчить про великі можливості у зростанні фотосинтетичної продуктивності рослин. Але, практична їх реалізація зустрічає великі труднощі.

Підвищити ефективність використання сонячної енергії у процесі фотосинтезу можна, розмістивши рослини на оптимальній відстані одну від одної. У зріджених посівах значна частина світла пропадає дарма, а в загущених – вони затіняють одна одну, їх стебла витягуються і стають ламкими, легко полягають від дощу та вітру. В тому та іншому випадках відбувається

ся зниження врожаю. Тому дуже важливим є підбір для кожної культури найоптимальнішої відстані для посадки. При цьому необхідно враховувати, що оптимальна щільність посівів може бути різною в залежності від забезпеченості рослин водою, елементами мінерального живлення та від їх особливостей. На жаль, не завжди агрономи беруть до уваги названі фактори, тому так поволи росте продуктивність наших полів. Найчастіше рослини неефективно здійснюють фотосинтез через нестачу води та елементів мінерального живлення. Якщо поліпшити умови водопостачання та живлення, то розміри листової поверхні збільшаться, а між ними та величиною врожаю звичайно існує пряма залежність.

Проте відмічено деяку межу зростання ефективності фотосинтезу, коли подальше поліпшення водопостачання та мінерального живлення не дає результатів. Справа в тому, що при певних розмірах листової поверхні (звичай, коли на 1 м² посівів припадає 4-5 м² листя) рослини поглинають практично всю енергію світла. Якщо ж цей показник вищий, то в результаті затінювання одна одною рослини витягнуться, інтенсивність фотосинтезу знизиться. Тому подальше поліпшення забезпечення рослин водою та елементами мінерального живлення неефективне.

У чому ж вихід із такого становища? Вчені вважають, що він полягає у створенні нових сортів культурних рослин, які б задовольняли вимоги, особливо у вигідній побудові морфологічних ознак, які найбільше приймають участь у фотосинтезі. Зокрема, в них повинен бути компактний низькорослий габітус, з вертикально спрямованими листками, добре розвинута коренева система та репродуктивні органи [12].

На підвищення родючості ґрунту і поліпшення водопостачання ці сорти реагують інтенсивності фотосинтезу, помірним споживанням його продуктів (асимілятів); а також активним використанням останніх на формування чітких репродуктивних органів.

Зрозуміло, що без тісного співробітництва селекціонерів з фізіологами не створення таких перспективних сортів буде стає практично неможливим.

Селекціонери створили сорти, що відповідають сучасним вимогам. Серед них низькорослий рис з Міжнародного інституту рису в Манілі, (Філіппіни) бавовник Дуплекс з вертикально спрямованими листками, що не затіняють один одного, карликова пшениця мексиканської селекції. Ці сорти на фонах високої родючості дають у півтора раза вищі врожаї, ніж їх попередники. Проте це лише один зі шляхів підвищення фотосинтетичної продуктивності рослин. Подальші зусилля повинні бути направлені на ріст активності самого фотосинтетичного апарату.

Як відомо, фотосинтезу здійснюється в особливих органідах – хлоропластах. Тут відбувається безліч реакцій, перш ніж з вуглекислого газу та води утворюються молекули органічних речовин. Управляти цими процесами, безумовно, непросто, але можливо. Про це свідчить той факт, що інтенсивність фотосинтезу в різних рослин неоднакова. В одних листові поверхні площею 10 см² засвоює за годину від чотирьох до семи міліграмів CO₂, а в інших – 60-80 і навіть 100, тобто у 20 разів більше. Рослини неоднаково реагують на його низьку концентрацію в повітрі, інтенсивність освітлення і т.п.

Вивчення особливостей фотосинтезу в різних рослин, безумовно, сприятиме розширенню можливостей людини в керуванні їх фотосинтетичною діяльністю, продуктивністю і врожаєм.

Стосовно деревних порід, як показали результати досліджень, характер денного проходження фотосинтезу в них загальні риси. Незважаючи на різний рівень інтенсивності в більшості з цих рослин відмічено депресію фотосинтезу в полуденний час. Це явище можна пояснити деякою фізіологічною «втомою» за високого його піку, та посиленням дихання в ранішній час при підвищеній температурі частковим замиканням продохів до полудня або дією максимального опромінення, що є стресом для рослини.

Необхідно відмітити, що фотосинтез листяних порід за різної інтенсивності світла проходить потужніше ніж у хвойних. Так, горіх волоський засвоює 2,9 мг $\text{CO}_2/\text{г}$, тоді як хвойні – 0,8-0,9. Загальною закономірністю тут є те, що останні асимілюють вуглекислий газ слабше порівняно з листяними [13].

Незважаючи на те, що інтенсивність фотосинтезу листяних дерев відрізняється від хвойних майже вчетверо, в цілому вони дають однакову річну продуктивність.

Ліси називають легенями планети, маючи на увазі, що в них рослини в результаті фотосинтезу цілорічно виділяють в атмосферу величезну кількість кисню і відповідно зв'язують адекватну кількість вуглекислого газу. Тому їх вирубка на сьогодні у великих кількостях для отримання деревини та в інших цілях є серйозною проблемою, що може призвести, і ми вже це спостерігаємо, до глобальних змін в атмосфері.

Список використаної літератури

1. Андрианова Ю.Е., Тарчевский И.А. Хлорофилл и продуктивность растений. М.: Наука, 2000. 135 с.
2. Гуляев Б.И., Ильяшук Е.М., Митрофанов Б.А. Фотосинтез и продукционный процесс и продуктивность растений. К.: Наук. думка, 1989. 152 с.
3. Киризий Д.А. Роль акцепторов ассимилятов в регуляции фотосинтеза и распределения углерода в растении. *Физиология и биохимия культ. растений*. 2003. № 5. С. 382-391.
4. Фотосинтез. Ассимиляция CO_2 и механизмы ее регуляции / Киризий Д.А., Стасик О.О., Прядкина Г.А., Шадчина Т.М. К.: Логос. Т. 2. 2014. 480 с.
5. Ничипорович А.А. Фотосинтетическая деятельность растений и пути повышения их продуктивности. *Теоретические основы фотосинтетической продуктивности*. М.: Наука, 1972. С. 511-527.
6. Любименко В.Н. Фотосинтез и хемосинтез в растительном мире. Л.: Сельхозгиз, 1935. 322 с.
7. Прядкіна Г.О. Фотосинтетичні пігменти, ефективність використання сонячної радіації та продуктивність рослин у агроценозах: автореф. дис. д-ра біол. наук. Київ, 2013. 44 с.
8. Іващенко О.О., Рудник-Іващенко О.І. Напрями адаптації аграрного виробництва до змін клімату. *Вісник аграрної науки*. 2011. № 8. С. 10-12.

9. Шадчина Т.М., Гуляев Б.І., Кірізій Д.А. Регуляція фотосинтезу і продуктивність рослин. Фізіологічні та екологічні аспекти. К.: Укр. фітосоціол. центр, 2006. 383 с.
10. Carmo-Silva E.E., Scales J.C. Optimising Rubisco and its regulation for greater use efficiency. *Plant Cell Environ.* 2015. 38, N 9. P. 1817-1832.
11. Photoinhibition and zeaxanthin formation in intact leaves. A possible role of the xanthophyll cycle in the dissipation of excess light energy / Demmig B. et al. *Plant Physiol.* 1987. 84, N 2. P. 218-224.
12. FAO. How to feed the world in 2050. URL: <http://www.fao.org> (дата звернення 15.12.2019).
13. Клейтон Р. Фотосинтез. Физические механизмы и химические модели. М.: Мир, 1984. 350 с.

PHOTOSYNTHESIS AND CROP: PROBLEMS, ACHIEVEMENTS, RESEARCH PROSPECTS

V.I. DUBROVSKY, PhD

Institute of Horticulture, NAAS of Ukraine, 03027, Kyiv-27, Sadova Str., 23

V.V. SCHWARTAU, Doctor, Professor, Corresponding Member of NAS Ukraine

L.M. MYKHALSKA, PhD

Institute of Plant Physiology and Genetics of NAS of Ukraine,

03022, Kyiv, 31/17, Vasylykivska,

e-mail: no-reply@researchgatemail.net

The problems of the agricultural the crops productivity increasing have been considered including woody ones, and of improving the photosynthetic apparatus characteristics. On the basis of literature data and results of own experiments regularities of formation of agrocenoses with the increased photosynthetic productivity are analyzed. The key photosynthetic apparatus characteristics are considered that determine the photosynthesis productivity and efficiency. The changes in the intensity of photosynthesis of plants caused by the changes in the atmospheric carbon dioxide concentration and temperature, are shown as well as the dependence of the photosynthesis intensity on its concentration. The review of the explorations results as regards increasing the agricultural crops photosynthetic apparatus productivity shows that the increase of the carbon dioxide amount in the atmosphere to 1.5 % brings about the directly proportional rise of the photosynthesis intensity. An example is given of growing sugar beets, which form an average yield per hectare of its crops, absorbing about 300-400 kg of carbon dioxide per day. The nature of the daytime photosynthesis in the woody species has common sings, although there is a photosynthesis depression in these plants at noon, due to the increased respiration during this period at elevated temperatures or the maximum radiation, which is stressful for the plant.

The conclusion has been made that one of the ways to increase the photosynthesis productivity is to increase the carbon dioxide concentration in the air. The further efforts of breeders in the creation of new cultivars should be aimed at increasing the plant photosynthetic apparatus activity. These are just new directions in science.

Key words: productivity, photosynthesis, photorespiration, chlorophyll, carbon dioxide, CO₂ concentration.

ФОТОСИНТЕЗ И УРОЖАЙ: ПРОБЛЕМЫ, ДОСТИЖЕНИЯ, ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В.И. ДУБРОВСКИЙ, канд. с.-х. наук

Институт садоводства НААН Украины, 03027, Киев-27, ул. Садовая, 23

В.В. ШВАРТАУ, доктор биол. наук, профессор, член-корр. НАН Украины

Л.Н. МИХАЛЬСКА, канд. биол. наук

Институт физиологии растений и генетики НАН Украины,

03022, Киев, ул. Васильковская, 31/17,

e-mail: no-reply@researchgate.net

Рассмотрены вопросы повышения продуктивности сельскохозяйственных культур, в том числе и древесных, в частности в связи с оптимизацией физиологических процессов. На основании литературных данных и результатов собственных экспериментов проанализированы закономерности формирования агроценозов с повышенной фотосинтетической продуктивностью. Рассмотрены ключевые характеристики фотосинтетического аппарата, определяющие эффективность фотосинтеза. Показаны изменения его интенсивности, обусловленные колебанием концентрации атмосферного углекислого газа и температуры, а также взаимозависимость этих показателей.

Ключевые слова: производительность, фотосинтез, фотодыхание, хлорофилл, углекислый газ, концентрация CO₂

Одержано редколлегією 29.05.2020