

SỰ KHÁC NHAU TRONG CƠ CHẾ QUANG HỢP VÀ ẢNH HƯỞNG CỦA NỒNG ĐỘ CO_2 TĂNG CAO ĐỐI VỚI THỰC VẬT C_3 , C_4 VÀ CAM

DIFFERENCES IN PHOTOSYNTHETIC MECHANISMS AND EFFECTS OF ELEVATED CO_2 CONCENTRATIONS ON C_3 , C_4 AND CAM PLANTS

ThS. Trương Thúy Vân

TS. Nguyễn Quốc Hậu

Phòng KH&HTQT – Trường ĐHXD Miền Tây

Email: truongthuyvan@mtu.edu.vn

Điện thoại: 0975 022 297

Ngày nhận bài: 01/03/2023

Ngày gửi phản biện: 13/03/2023

Ngày chấp nhận đăng: 24/03/2023

Tóm tắt:

Quang hợp là trung tâm của quá trình chuyển hóa dinh dưỡng của thực vật và việc tăng nồng độ CO_2 trong khí quyển cho quá trình quang hợp có thể tác động sâu sắc đến sự phát triển và nhiều khía cạnh sinh lý của thực vật. Thực vật C_3 , C_4 và CAM có con đường quang hợp riêng biệt được đặc trưng bởi các quá trình sinh hóa và sinh lý khác nhau. Những con đường này cho phép thực vật thích nghi với nhiều điều kiện môi trường và tối ưu hóa việc sử dụng các nguồn tài nguyên như nước và carbon dioxide. Hiểu được sự khác biệt giữa thực vật C_3 , C_4 và CAM có thể cung cấp cái nhìn sâu sắc về sự tăng trưởng và năng suất của cây trồng và các loài thực vật khác, đồng thời cung cấp thông tin về các biện pháp quản lý hiệu quả và bền vững hơn. Nội dung bài viết tóm tắt sự khác biệt cơ bản trong phản ứng quang hợp của thực vật C_3 , C_4 và CAM và ảnh hưởng của nồng độ CO_2 tăng cao đến quá trình quang hợp của các nhóm thực vật này.

Từ khóa: Thực vật C_3 , C_4 và CAM, các con đường quang hợp, nồng độ CO_2 tăng cao.

Abstract:

Photosynthesis is central to plant nutrient metabolism and increasing atmospheric CO₂ concentrations for photosynthesis can have profound effects on plant growth and many physiological aspects. C₃, C₄ and CAM plants have distinct photosynthetic pathways characterized by different biochemical and physiological processes. These pathways allow plants to adapt to a variety of environmental conditions and optimize the use of resources such as water and carbon dioxide. Understanding the differences between C₃, C₄ and CAM plants can provide insight into the growth and yield of crops and other plant species and inform management practices more efficient and sustainable. In this review article, we summarize the basic differences in photosynthetic reactions in C₃, C₄ and CAM plants and the effect of elevated CO₂ concentrations on the photosynthesis of these groups of plants.

Keywords: C₃, C₄ and CAM plants, photosynthetic pathways, elevated CO₂.

1. Giới thiệu

Carbon dioxide (CO₂) là một trong những khí chính gây ra hiệu ứng nhà kính. Những năm gần đây, sự phát thải của khí này vào khí quyển liên tục tăng, nồng độ CO₂ trong khí quyển tăng từ 280 ppm đạt 407 ppm vào năm 2018 [1], dự đoán mức tăng nồng độ CO₂ trong khí quyển sẽ đạt 700 ppm vào năm 2100 [2]. Những thay đổi về nồng độ CO₂ trong khí quyển có ý nghĩa quan trọng đối với sự phát triển ở tất cả các loài thực vật vì nó là nguyên liệu thô cần thiết cho quá trình quang hợp. Sự gia tăng nồng độ CO₂ trong khí quyển làm quá trình quang hợp ở thực vật tăng dẫn đến các tác động tích cực như sự tăng trưởng, sinh khối trên mặt đất và năng suất ở thực vật sẽ lớn hơn. Tuy nhiên, nồng độ CO₂ tăng cao cũng gây ra những ảnh hưởng tiêu cực đến chất lượng của các loại cây trồng bao gồm làm suy giảm nhiều loại chất dinh dưỡng như nồng độ protein trong hạt lúa mì, gạo và lúa mạch, và trong củ khoai tây, giảm 5–14% khi CO₂ tăng cao; giảm nồng độ các khoáng chất dinh dưỡng quan trọng trong cây trồng bao gồm canxi, magiê và photpho [3]. Khả năng điều chỉnh quá trình quang hợp khi nồng độ CO₂ tăng cao của các loài thực vật là khác nhau với các loài thực vật C₃, C₄ và CAM. Chính vì vậy, việc nghiên cứu sự khác nhau trong cơ chế quang hợp và ảnh hưởng của nồng độ CO₂ đối với quá trình quang hợp ở các nhóm thực vật này là điều rất cần thiết.

2. Kết quả và thảo luận

2.1. Cơ chế quang hợp ở thực vật

Quang hợp là quá trình có ý nghĩa quyết định sự tồn tại của sinh giới, nhờ có quang hợp thực vật trở thành sinh vật sản xuất, sự tồn tại của sinh vật sản xuất quyết định sự tồn tại của sinh vật tiêu thụ. Quang hợp còn có ý nghĩa quan trọng với môi trường vì tất cả các loài thực vật đều hấp thụ carbon dioxide trong khí quyển và chuyển đổi nó thành đường và tinh bột thông qua quá trình quang hợp, giúp tỷ lệ CO_2/O_2 trên trái đất được giữ ổn định.

Quá trình quang hợp bao gồm 2 pha: pha sáng và pha tối.

Pha sáng quang hợp: xảy ra trong hệ thống Thylakoit, nơi chứa sắc tố quang hợp. Pha sáng hấp thu năng lượng ánh sáng bởi diệp lục, vận chuyển năng lượng hấp thu vào trung tâm phản ứng và chuyển năng lượng từ photon ánh sáng sang phân tử ATP (Adenosin Triphosphat) và NADPH_2 (Nicotinamit Adenin Dinucleotidophosphat) mà cụ thể là năng lượng hóa học của các liên kết cao năng của phân tử ATP và tạo nên hợp chất khử mạnh NADPH_2 . Pha sáng gồm hai giai đoạn kế tiếp nhau: giai đoạn quang vật lý và giai đoạn quang hóa học. Pha sáng tạo nguồn năng lượng ATP và hợp chất khử NADPH_2 để khử CO_2 thành glucit và các chất hữu cơ khác trong pha tối, về cơ bản, pha sáng của quang hợp ở tất cả các nhóm thực vật là giống nhau [4].

Pha tối quang hợp: là tập hợp một chuỗi các phản ứng hóa sinh nhờ các enzym xúc tác xảy ra ở chất nền (stroma) của lục lạp mà không cần điều kiện ánh sáng (có thể xảy ra trong tối) nhưng lại có quan hệ mật thiết với pha sáng thông qua việc sử dụng sản phẩm từ phản ứng sáng là ATP, NADPH_2 [4].

Có nhiều con đường đồng hóa CO_2 xảy ra trong thực vật, mỗi con đường đặc trưng cho một nhóm thực vật nhất định. Cho đến nay đã phát hiện được 3 con đường đồng hóa CO_2 xảy ra ở lá đó là chu trình Calvin-Beson, chu trình Hatch-Slack và chu trình CAM. Ngoài ra còn có quá trình đồng hóa CO_2 ở rễ [4].

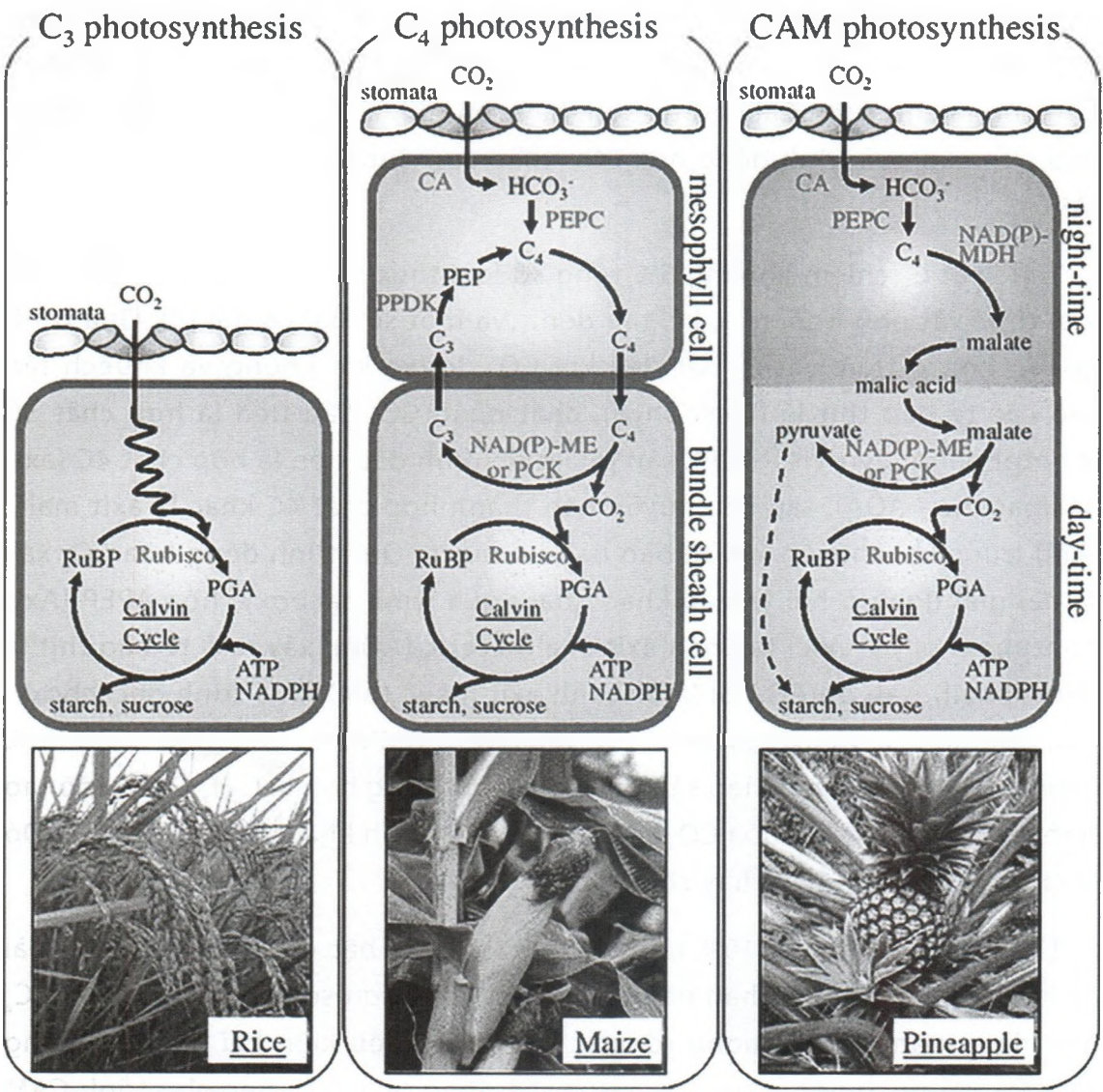
2.2. Sự khác nhau trong cơ chế quang hợp ở thực vật C_3 , C_4 và CAM

Thực vật C_3 đại diện cho khoảng 85% tổng số loài thực vật bậc cao bao gồm nhiều loài cây quan trọng như lúa mì, gạo và đậu nành... [5]. Quá trình quang hợp ở thực vật C_3 bắt đầu khi CO_2 đi vào khí khổng và khuếch tán vào các tế bào thịt lá (Mesophyll), chất nhận CO_2 là Ribulose-1,5-diphosphate

(viết tắt RiBP), sản phẩm tạo ra đầu tiên trong quá trình đồng hóa CO_2 là axit photphoglyxeric (APG) và quá trình đồng hóa CO_2 xảy ra theo chu trình khép kín – đó là chu trình Calvin-Ben son, hay còn gọi là chu trình C_3 vì sản phẩm đầu tiên của quá trình đồng hóa CO_2 theo con đường này là hợp chất có 3C (APG).

Thực vật C_4 chiếm khoảng 5% tổng số loài thực vật bậc cao bao gồm các loài thực vật như ngô, mía, kê, rau dền...và một số loài cỏ dại [5]. Quá trình quang hợp ở thực vật C_4 bắt đầu khi CO_2 đi vào khí khổng và khuếch tán vào các tế bào thịt lá (Mesophyll), chất nhận CO_2 đầu tiên là hợp chất 3C (photphoenol pyruvic – PEP), sản phẩm ổn định đầu tiên là hợp chất 4C (axit oxaloacetic – AOA), sau đó chuyển hóa thành hợp chất 4C khác là axit malic (AM) trước khi chuyển vào tế bào bao bó mạch. Quá trình đồng hóa CO_2 xảy ra hai giai đoạn ở hai tế bào khác nhau: quá trình cacboxyl hóa APEP (Axit photphoenol pyruvic) tạo nên axit oxalo acetic (AOA), xảy ra ở tế bào thịt lá (Mesophyll), sau đó AOA bị khử thành axit malic (AM); quá trình decacboxyl hóa AM tạo CO_2 và axit pyruvic, CO_2 tách ra từ AM được RiBP tiếp nhận thực hiện chu trình Calvin để tạo sản phẩm sơ cấp quang hợp là $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ sau đó tạo tinh bột. Cơ chế đồng hóa CO_2 xảy ra theo chu trình khác với chu trình C_3 . Đó là chu trình Hatch-Slack hay chu trình C_4 .

Thực vật CAM chiếm 10% tổng số loài thực vật bậc cao, bao gồm các loài có khả năng chịu đựng hạn hán và nhiệt độ cao hơn so với thực vật C_3 và C_4 như dứa, thanh long, xương rồng... [5]. Trong điều kiện khí hậu khô nóng kéo dài, để thích nghi thực vật có cơ chế đồng hóa CO_2 theo chu trình CAM (Crassulacean Acid Metabolism), nhằm tiết kiệm nước, ở nhóm thực vật này chỉ mở khí khổng để thực hiện quá trình thoát hơi nước vào ban đêm, do vậy ban đêm lá mới có CO_2 của không khí cung cấp cho quang hợp. Khác với thực vật C_4 , ở thực vật CAM con đường đồng hóa CO_2 xảy ra 2 giai đoạn được tách biệt khác nhau về thời gian. Giai đoạn cacboxyl hóa tạo nên axit oxalo acetic (AOA), sau đó AOA bị khử thành AM xảy ra vào ban đêm khi khí khổng mở, lá tiếp nhận được CO_2 từ môi trường; giai đoạn decacboxyl hóa AM tạo CO_2 và axit pyruvic, CO_2 này tham gia vào chu trình Calvin để tạo ra $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ sau đó tạo tinh bột, giai đoạn này xảy ra vào ban ngày.



Hình 1. Sự khác nhau trong cơ chế quang hợp ở thực vật C₃, C₄ và CAM [6]

Quá trình đồng hóa CO₂ là quá trình phức tạp, xảy ra theo các con đường khác nhau. Những con đường này cho phép thực vật thích nghi với một loạt các điều kiện môi trường và tối ưu hóa việc sử dụng tài nguyên của chúng như nước và carbon dioxide. Tóm tắt những khác biệt cơ bản trong các phản ứng quang hợp ở thực vật C₃, C₄ và CAM (bảng 1), có thể cung cấp cái nhìn sâu sắc về sự tăng trưởng của thực vật trước tác động của môi trường.

Bảng 1. So sánh một số đặc điểm của quá trình đồng hóa CO₂ của thực vật C₃, C₄ và CAM [4].

Đặc điểm	Thực vật C ₃	Thực vật C ₄	Thực vật CAM
Cấu tạo lá	- 01 tế bào tham gia quang hợp (tế bào thịt lá) - Tế bào có cấu trúc xếp lớp	- 02 tế bào tham gia quang hợp (tế bào thịt lá; tế bào bao bó mạch) - Thịt lá mỏng hướng tâm, bao bó mạch xếp lớp.	- 01 tế bào tham gia quang hợp (tế bào thịt lá) - Tế bào có cấu trúc xếp lớp
Hoạt động khí khổng	Khí khổng mở ban ngày	Khí khổng mở ban ngày	Khí khổng mở ban đêm
Nhu cầu nhiệt tối ưu	10-25 °C	30-45 °C	30-45 °C
Nhu cầu ánh sáng	- Trung bình - Điểm no thấp 1/3 AS mặt trời toàn phần	- Mạnh - Không có điểm no	- Thay đổi - Điểm no thấp, 1/3 AS mặt trời toàn phần
Điểm bù CO ₂	30-70 mol/l	0-10 mol/l	Thay đổi
Nhu cầu nước	Cao	Thấp (bằng ½ thực vật C ₃)	Thấp
Sự kìm hãm O ₂ nồng độ cao	Có	Không (O ₂ 1-100% không ảnh hưởng)	Có
Chất nhận CO ₂	Ribulose - 1,5 - diphosphate	- PEP - Ribulose - 1,5 - diphosphate	- PEP - Ribulose - 1,5 - diphosphate
Sản phẩm	APG (C ₃)	axit oxalo acetic (C ₄)	- Sáng: APG - Tối: axit oxalo acetic (C₄)
Tốc độ đồng hóa	Chậm (10-35 mg/dm ² /h)	Cao (40-60 mg/dm ² /h)	Rất chậm (< 10mg CO ₂ /dm ² /h)

2.3. Ảnh hưởng của sự gia tăng nồng độ CO_2 trong khí quyển đối với thực vật C_3 , C_4 và CAM

Thực vật C_3 có thể phát triển tốt trong điều kiện nồng độ CO_2 trong khí quyển cao nhưng nhạy cảm hơn với hạn hán và nhiệt độ cao so với thực vật C_4 và CAM. Thực vật C_3 kém hiệu quả hơn trong việc cố định CO_2 ở nhiệt độ cao và nồng độ CO_2 trong khí quyển thấp. Tuy nhiên thách thức lớn đối với thực vật C_3 là khi nồng độ CO_2 trong khí quyển tăng lên, năng suất ban đầu của chúng sẽ tăng, do sự gia tăng của CO_2 đối với quang hợp nhưng hiệu ứng này có khả năng tồn tại trong thời gian ngắn, vì nồng độ CO_2 cao hơn cũng có thể dẫn đến nhiệt độ cao hơn và giảm lượng nước, từ đó giảm sự tăng trưởng và năng suất của chúng.

Thực vật C_4 thích nghi với điều kiện khô, nóng, có thể phát triển tốt ở nhiệt độ cao và nồng độ CO_2 trong khí quyển thấp so với cây C_3 . Thực vật C_4 không hiệu quả trong việc cố định CO_2 trong điều kiện mát và ẩm như thực vật C_3 . Thực vật C_4 nhạy cảm với bóng râm, cần nhiều năng lượng hơn thực vật C_3 để sản xuất. Tác động của việc tăng nồng độ CO_2 trong khí quyển cũng là một thách thức lớn đối với sự tăng trưởng và năng suất của chúng. Mặc dù thực vật C_4 hiệu quả hơn trong việc cố định CO_2 ở nhiệt độ cao và nồng độ CO_2 trong khí quyển thấp so với thực vật C_3 , nhưng chúng vẫn có thể bị giảm năng suất trong điều kiện nắng nóng và hạn hán khắc nghiệt.

Thực vật CAM thực hiện con đường quang hợp theo chu trình CAM (Crassulacean Acid Metabolism). Thực vật CAM có khả năng chịu hạn hán và nhiệt độ cao hơn so với cây C_3 và C_4 , thích nghi và phát triển tốt với môi trường khô hạn. Chúng bảo tồn nước bằng cách mở khí khổng vào ban đêm và đóng chúng vào ban ngày để giảm mất nước qua quá trình thoát hơi nước. Thực vật CAM có thể đồng hóa CO_2 vào ban đêm, khi khí khổng mở và khi nồng độ CO_2 trong khí quyển cao. Tuy nhiên so với thực vật C_3 , C_4 , thực vật CAM cần nhiều năng lượng hơn để sản xuất và hiệu quả trong việc cố định CO_2 thấp hơn, nhạy cảm với bóng râm hơn thực vật C_3 và C_4 . Tác động của nồng độ CO_2 trong khí quyển tăng lên cũng là một thách thức lớn đối với sự tăng trưởng và năng suất của thực vật CAM. Mặc dù chúng có thể bảo tồn nước và chịu được hạn hán và nhiệt độ cao tốt hơn so với cây C_3 và C_4 , chúng vẫn có thể giảm năng suất trong điều kiện nhiệt độ cao và hạn hán.

4. Kết luận

Thực vật C_3 , thực vật C_4 và thực vật CAM (Crassulacean Acid Metabolism) là ba nhóm thực vật sử dụng các cơ chế khác nhau để quang hợp - quá trình thực vật

chuyển đổi năng lượng ánh sáng thành năng lượng hóa học. Sự khác biệt chính giữa quang hợp C_3 , C_4 và CAM là quang hợp C_3 tạo ra hợp chất ba carbon thông qua chu trình Calvin và quang hợp C_4 tạo ra hợp chất bốn carbon trung gian, phân tách thành hợp chất ba carbon cho chu trình Calvin, trong khi CAM quang hợp nhận ánh sáng mặt trời vào ban ngày và cố định carbon dioxide vào ban đêm.

Quá trình quang hợp là quá trình sinh lý phức tạp ở thực vật và chịu ảnh hưởng của nhiều nhân tố môi trường khác nhau như nhiệt độ, cường độ ánh sáng, nước ... trong đó có nồng độ CO_2 và các yếu tố này có sự tác động tổng hợp lên quá trình quang hợp. Về cơ bản, đối với các loài thực vật C_3 như lúa mì, gạo và đậu nành..., sử dụng chu trình Calvin để cố định carbon dioxide (CO_2) từ khí quyển trong quá trình quang hợp. Chúng quang hợp hiệu quả khi nồng độ CO_2 tăng cao trong điều kiện mát, ẩm nhưng kém hiệu quả hơn trong điều kiện khô, nóng. Thực vật C_4 , bao gồm các loài như ngô, mía và kê, có cơ chế quang hợp hiệu quả hơn được gọi là con đường C_4 , thực vật C_4 hiệu quả hơn trong việc cố định CO_2 ở nhiệt độ cao và nồng độ CO_2 trong khí quyển thấp so với thực vật C_3 . Thực vật CAM, bao gồm các loài như xương rồng, dứa..., sử dụng một hình thức quang hợp đã biến đổi gọi là chu trình CAM để cố định CO_2 vào ban đêm và bảo tồn nước trong môi trường khô hạn.

Tài liệu tham khảo

1. P. Friedlingstein, et al, "Global Carbon Budget 2019", Earth System Science Data, 2019
2. IPCC, "Climate Change 2014", IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp, 2014.
3. D.R. Taub, "Effects of increased atmospheric CO_2 concentrations on plants", *Nature Education Knowledge* 3(10:21), 2010.
4. N.B. Lộc, T.V. Lung, V.T.M.Hương, L.T.Hoa, L.T.Trĩ, "Giáo trình Sinh lý học thực vật", NXB: Đại học Huế, 2006.
5. D.R. Taub, et al, "Effects of elevated CO_2 on the protein concentration of food crops: a meta-analysis", *Global Change Biology* 14, 565-575, 2008.
6. V.Kumar, A.Sharma, J.K.Soni and N.Pawar "Physiological response of C_3 C_4 and CAM plants in changeable climate", *The Pharma Innovation Journal* 2017, 2017.