

Nghiên cứu công nghệ và thiết bị nuôi vi khuẩn lam *Spirulina platensis* bằng CO₂ từ khí thải lò hơi đốt trấu

Trịnh Văn Dũng^{1,*}, Phan Đức Thịnh¹, Phạm Văn Hưng²



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm nuôi vi khuẩn lam *S. platensis* bằng môi trường Zarrouk trong photobioreactor (PBR) thể tích 1,2 lít, có khuấy trộn bằng bơm sục khí sử dụng khối lò hơi đốt trấu, hay CO₂ nguyên chất, hoặc không khí. Kết quả thu được cho thấy: Nhiệt độ thay đổi mỗi ngày trong khoảng khá rộng từ 25 đến 40 °C, vào thời điểm giữa trưa nhiệt độ vượt quá nhiệt độ tối ưu cho phát triển của *S. platensis* 30 đến 38 °C, nhưng không cao, chỉ 1 đến 2 °C. Khi thực hiện khuấy trộn PBR bằng bơm sục khí nhờ sục khí lò hơi đốt trấu chứa 7,76 % (v/v) CO₂ ở nhiệt độ phù hợp, sẽ đồng thời xảy ra quá trình hấp thụ CO₂ vào nước. Quá trình hấp thụ CO₂ vào nước tạo thành ion bicacbonat HCO₃⁻, vừa làm giảm pH của môi trường về khoảng giá trị tối ưu, vừa là dạng cơ chất phù hợp để *S. platensis* dễ đồng hóa; Trong 7 ngày đầu khi nuôi vi khuẩn lam bằng môi trường Zarrouk thì pH của môi trường tăng nhanh từ 8,5 lên 10,2; sinh khối vi khuẩn lam tăng từ 0,1 đến 1,81 gam (sinh khối khô)/lít; Sau đó để duy trì pH trong vùng tối ưu 8,5 đến 9,5, từ ngày thứ 8 đến ngày thứ 16, mỗi ngày tiến hành sục khí 30 phút khối lò hơi chứa 7,76 % (v/v) CO₂. Nhờ sục khí lò hơi chứa CO₂ nên bổ sung được nguồn dinh dưỡng các bon dạng ion HCO₃⁻, và pH của môi trường được duy trì trong khoảng 8,5 đến 9,7 đồng thời sinh khối tăng lên đến 2,53 gam/lít. Tốc độ quang tổng hợp sinh khối của vi khuẩn lam khi sử dụng khối lò hơi, được so sánh với tốc độ sinh trưởng khi sử dụng CO₂ nguyên chất ở cùng điều kiện, kết quả cho thấy là tương đương nhau. Đây là cơ sở để tính toán thiết bị và xây dựng quy trình công nghệ sử dụng CO₂ từ khí thải lò hơi đốt trấu để sản xuất *S. platensis*, giảm phát thải khí nhà kính CO₂ từ các hoạt động sản xuất công nghiệp.

Từ khoá: Khí nhà kính CO₂, Nuôi tảo bằng CO₂, *Spirulina platensis*, Photobioreactor, Lò hơi đốt trấu

¹Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM, Việt Nam

²Trường Đại học Công nghiệp TP. HCM, Việt Nam

Liên hệ

Trịnh Văn Dũng, Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM, Việt Nam

Email: trinhdung@hcmut.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 24/6/2021
- Ngày chấp nhận: 16/9/2021
- Ngày đăng: 30/9/2021

DOI:



Bản quyền

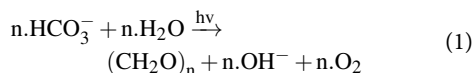
© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



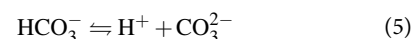
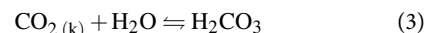
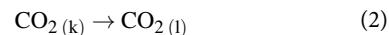
ĐẶT VẤN ĐỀ

Vi khuẩn lam *S. platensis* (tảo lam) là sản phẩm có giá trị cao về dinh dưỡng, về y học, có ý nghĩa về bảo vệ môi trường, nó có nhiều ứng dụng trong thực phẩm, dược phẩm, mỹ phẩm ...^{1,2}. Trong khi đó khí nhà kính mà đóng góp chính là khí CO₂, gây nên biến đổi khí hậu ngày càng trầm trọng, lại là nguồn nguyên liệu chính để nuôi trồng loài vi khuẩn lam này. Khi nuôi vi khuẩn lam *S. platensis*, để sản xuất 1 tấn sinh khối sẽ tiêu thụ 450 kilôgam CO₂, tạo ra 1200 kilôgam oxy², cho nên nghiên cứu công nghệ nuôi vi khuẩn lam *S. platensis* bằng khí CO₂ từ khí thải lò hơi đốt trấu để vừa giảm thải khí nhà kính, vừa thu sản phẩm có giá trị được nhiều người quan tâm. Tuy nhiên, để sử dụng được CO₂ từ khí thải (lò hơi, lò sấy, lò nung ...) cần có thiết bị và chế độ công nghệ phù hợp với đặc điểm sinh trưởng của vi khuẩn lam *S. platensis*.

Từ phản ứng quang tổng hợp sinh khối của vi khuẩn lam^{1,2}:



Cho thấy *S. platensis* chỉ đồng hóa cacbon dưới dạng ion bicacbonat HCO₃⁻, để tạo sinh khối, làm hàm lượng HCO₃⁻ giảm và pH có thể tăng vượt ra ngoài vùng tối ưu là 8,5 đến 9,5. Việc bổ sung khí CO₂ và khuấy trộn môi trường môi trường nuôi *S. platensis* bằng khí thải lò hơi có 7,76 % CO₂, giúp giảm pH về khoảng giá trị tối ưu cho sinh trưởng của vi khuẩn lam theo các phản ứng:



Nhờ các phản ứng (3) đến (5) sẽ bổ sung nguồn HCO₃⁻ giảm đi và pH tăng lên do phản ứng (1), đồng thời cho thấy hàm lượng các thành phần chứa cacbon CO₂, HCO₃⁻ và CO₃²⁻ đều phụ thuộc vào giá trị pH của môi trường.

Trích dẫn bài báo này: Dũng T V, Thịnh P D, Hưng P V. Nghiên cứu công nghệ và thiết bị nuôi vi khuẩn lam *Spirulina platensis* bằng CO₂ từ khí thải lò hơi đốt trấu. *Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.*; 5(3):1-6.

Đây là cơ sở công nghệ sử dụng CO₂ từ khói lò để bổ sung dinh dưỡng và điều chỉnh thông số công nghệ pH trong nuôi *S. platensis* ở điều kiện khí hậu Việt nam. Với các nguồn khí thải có hàm lượng CO₂ lớn như Biogas, hay khí từ thùng lên men rượu 40 đến 45 %, để thu hồi CO₂ người ta tiến hành nén, làm nguội, tiết lưu rồi thu CO₂ lỏng hay dạng rắn³. Với những nguồn khí thải hàm lượng CO₂ thấp hơn như khí thải lò hơi, lò sấy, lò nung ... tùy theo nhiệt độ chỉ có 6 đến 14 %, để thu hồi CO₂, người ta tiến hành hấp thụ bằng các dung môi chọn lọc⁴. Do ở cùng điều kiện nhiệt độ và áp suất, khí hòa tan vào nước: lượng khí hòa tan của CO₂ nhiều hơn O₂ 25 đến 35 lần, 50 đến 70 lần so với N₂ và khoảng 40 lần so với CO. Nên khi nuôi *S. platensis* có khuấy trộn bằng sức khói lò chứa CO₂, hoặc CO₂ nguyên chất hay không khí, thì khí CO₂ là thành phần chính được hòa tan vào môi trường, tạo nên nguồn dinh dưỡng carbon dạng HCO₃⁻ cho vi khuẩn lam đồng thời làm giảm pH của môi trường.

CƠ SỞ QUÁ TRÌNH HẤP THỤ CO₂ TỪ KHÓI LÒ VÀO MÔI TRƯỜNG NƯỚC

Từ phương trình hòa tan CO₂ vào nước (2) cũng như các phản ứng giữa CO₂ và H₂O theo (3), (4) và (5) ta thiết lập mô hình toán học mô tả biến thiên nồng độ các cấu tử trong hệ theo thời gian có dạng:

Theo định luật Henry:

$$x_{CO_2}^* = \frac{p_{CO_2}}{k_H} \quad (6)$$

Phương trình động học của các phản ứng:

$$(R_3, R_{-3}, R_4, R_{-4}, R_5, R_{-5}) = (k_3 C_1 C_2, k_{-3} C_3, k_4 C_3, k_{-4} C_4 C_5, k_5 C_5, k_{-5} C_3 C_6) \quad (7)$$

Mô tả toán học biến đổi thành phần những dinh dưỡng trong môi trường:

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} CO_2 \\ H_2O \\ H_2CO_3 \\ H^+ \\ HCO_3^- \\ CO_3^{2-} \end{pmatrix} = \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \\ C_5 \\ C_6 \end{pmatrix} = V^T R \quad (8)$$

$$= \begin{cases} k_H C_1 - k_3 C_1 C_2 + k_{-3} C_3 \\ -k_3 C_1 C_2 + k_{-3} C_3 \\ k_3 C_1 C_2 - k_{-3} C_3 - k_4 C_3 + k_{-4} C_4 C_5 \\ k_4 C_3 - k_{-4} C_4 C_5 - k_5 C_5 + k_{-5} C_3 C_6 \\ k_4 C_3 - k_{-4} C_4 C_5 - k_5 C_5 + k_{-5} C_3 C_6 \\ k_5 C_5 - k_{-5} C_3 C_6 \end{cases}$$

Ở 25 °C, có hệ số³: k_H = 1,24.10⁻⁶ mmHg, các hằng số cân bằng:

$$K_4 = \frac{k_4}{k_{-4}} = \frac{C_4 C_5}{C_3} = 4,47.10^{-7} \quad (9)$$

$$K_5 = \frac{k_5}{k_{-5}} = \frac{C_4 C_6}{C_5} = 4,56.10^{-11} \quad (10)$$

$$K_{H_2O} = \frac{C_{H^+} C_{OH^-}}{C_{H_2O}} = C_{H^+} \cdot C_{OH^-} = 1,0.10^{-14} \quad (11)$$

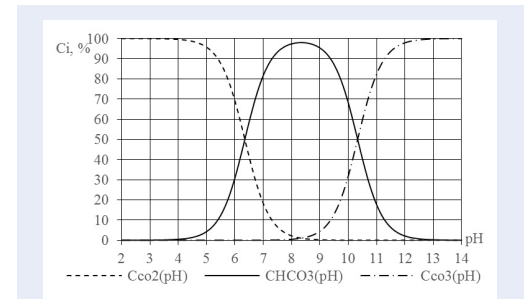
Khi đó:

$$C_5 = \frac{K_4 C_3}{C_4} = \frac{K_4 C_{CO_{2hl}}}{C_{H^+}} = \frac{K_4 k_H P_{CO_2}}{C_{H^+}} \quad (12)$$

$$C_6 = \frac{K_5 C_5}{C_4} = \frac{K_5 \frac{K_4 k_H P_{CO_2}}{C_4}}{C_4} = \frac{K_5 K_4 k_H P_{CO_2}}{C_4^2} \quad (13)$$

$$C_1 = \frac{k_H P_{CO_2}}{k_H P_{CO_2} + \frac{K_4 k_H P_{CO_2}}{C_4} + \frac{K_5 K_4 k_H P_{CO_2}}{C_4^2}} = \frac{C_4^2}{C_4^2 + C_4 + K_4 K_5} \quad (14)$$

Giải hệ phương trình (8) bằng phương pháp Runge – Kutta bậc 4, với điều kiện ban đầu: k_H = 1,24.10⁻⁶ mmHg và 7,76 % (v/v) CO₂, C_{i0} (i=3, 4, 5, 6) = 0, thu được thành phần các dinh dưỡng từ carbon theo (11), (12), (13). Kết quả tính toán được mô tả trên Hình 1.



Hình 1: Sự thay đổi các thành phần CO₂, HCO₃⁻ và CO₃²⁻, theo pH của dung dịch

Từ Hình 1 cho thấy nồng độ các cấu tử chứa carbon (CO₂, HCO₃⁻ và CO₃²⁻) thay đổi theo pH của môi trường, nguồn dinh dưỡng carbon dạng ion bicarbonat HCO₃⁻, đạt cực đại tại pH_{Max} = 8,35 để *S. platensis* để hấp thụ dinh dưỡng carbon nên duy trì pH trong khoảng 8,35 đến 9,5^{1,2,5,6}.

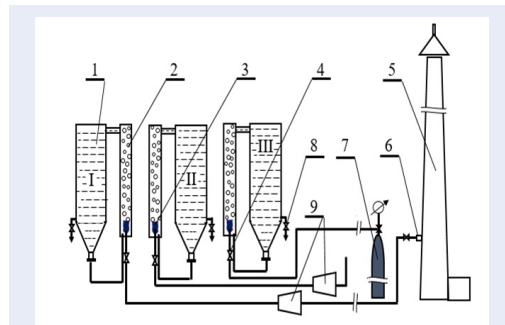
THIẾT BỊ, VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Thiết bị thí nghiệm

Photobioreactor (1) với thể tích 1,2 lít, bằng thủy tinh hữu cơ (xem Hình 2) có kích thước φxδxH = 80x0,5x220 mm, với số lượng 3 PBR (I, II, III). Khuấy trộn bằng bơm sức khí (2) kích thước φxδxH =

30x1x220 mm, với vòi phun (3) bằng đá xốp hình trụ 20x20 mm, van điều chỉnh (4), ống khói lò hơi đốt trấu (5), cửa tách khói lò (6), bình CO₂ nguyên chất (7), máy nén (9), cửa lấy mẫu (8).

Một số dụng cụ khác: nhiệt kế rượu: thang đo 0 đến 100 °C của Pháp; pH kế hãng Hanna, Model HI98172; quang phổ kế Beckman Coulter DU 750 của Mỹ ở bước sóng 750 nm, hệ số chuyển đổi sinh khối đối với *S. platensis* bằng 0,73.OD₇₅₀ gam (sinh khối khô)/lít⁷.



Hình 2: Sơ đồ thiết bị thí nghiệm: 1 – Photobioreactor I, II, III, 2 – Bơm sục khí (hấp thụ) CO₂, 3 – Vòi phun, 4 – Van, 5 – Ống khói, 6 – Cửa tách khói, 7 – Bình chứa CO₂, 8 – Van lấy mẫu, 9 – Máy nén.

Vi khuẩn lam giống và môi trường nuôi trồng thực nghiệm

Vi khuẩn lam *S. platensis* dùng trong thí nghiệm này được mua từ Viện nuôi trồng thủy sản 2, địa chỉ 116 Nguyễn Đình Chiểu, Phường Đa Kao, Q. 1, TP. Hồ Chí Minh.

Môi trường nuôi là môi trường Zarrouk^{1,2}, có thành phần dinh dưỡng được trình bày trong Bảng 1.

Thực nghiệm được tiến hành tại phân xưởng lò hơi (đốt trấu) nhà máy dệt Phong phú, địa chỉ: TP. Thủ Đức, TP. HCM. Khí thải lò hơi có: 7,76 % (v/v) CO₂, 12 ppm SO₂, 22 ppm NO_x, 55,7 mg bụi/m³, nhiệt độ 97 đến 100 °C, được làm nguội xuống 35 đến 40 °C trước khi sử dụng vào thí nghiệm.

Phương pháp nghiên cứu

Môi trường nuôi vi khuẩn lam pha theo Bảng 1, cùng vi khuẩn lam giống cho vào 3 PBR, mỗi PBR 1 lít môi trường Zarrouk và 100 ml dịch tảo giống có chứa 1,0 gam sinh khối khô/lít (D₇₅₀ = 1,36)⁷, để tiến hành thí nghiệm theo kế hoạch nêu trong Bảng 2.

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Bảng 1: Môi trường Zarrouk dùng trong thực nghiệm²

STT	Công thức hóa học	Zarrouk, g/lít
1	NaHCO ₃	16,8
2	NaNO ₃	2,5
3	NaCl	1,0
4	K ₂ SO ₄	1,0
5	K ₂ HPO ₄	0,5
6	MgSO ₄ × 7H ₂ O	0,2
7	CaCl ₂ × 2H ₂ O	0,04
8	FeSO ₄ × 7H ₂ O	0,01
9	EDTA	0,08
10	Dung dịch vi lượng 1	1,0 ml/lít
11	Dung dịch vi lượng 2	1,0 ml/lít
Dung dịch vi lượng 1		mg/lít
1	H ₃ BO ₃	2,86
2	MnCl ₂ × 4H ₂ O	1,81
3	ZnSO ₄ × 7H ₂ O	0,22
4	CuSO ₄ × 5H ₂ O	0,08
5	MoO ₃	0,01
Dung dịch vi lượng 2		mg/lít
1	NH ₄ VO ₃	0,023
2	NiSO ₄ × 7H ₂ O	0,048
3	Na ₂ WO ₄	0,018
4	Ti ₂ (SO ₄) ₃	0,040
5	Co(NO ₃) ₂ × 6H ₂ O	0,044

Sự thay đổi nhiệt độ của môi trường nuôi vi khuẩn lam trong 17 ngày và mật độ vi khuẩn lam tăng dần

Nhiệt độ là yếu tố công nghệ có ảnh hưởng lớn đến quá trình hấp thụ CO₂ vào môi trường và ảnh hưởng đến tốc độ phát triển của vi khuẩn lam. Nhiệt độ môi trường được đo từ 7 giờ đến 17 giờ trong ngày điển hình thứ: 3 (nắng), 5 (râm) và 8 (mưa), từ 15/4 đến 15/5/2021 kết quả trình bày trong Bảng 3.

Từ Bảng 3 cho thấy nhiệt độ tăng từ 7 giờ đến 14 giờ, sau đó giảm dần. Những ngày nắng trong khoảng từ 12 giờ đến 14 giờ nhiệt độ vượt quá vùng nhiệt độ tối ưu của *Spirulina* 30 đến 38 °C, nhưng không nhiều, khoảng 1 đến 2 °C và trong thời gian ngắn. Nhiệt độ môi trường trước 7 giờ và có thể cả ban đêm, thấp dưới vùng nhiệt độ tối ưu cũng không lớn chỉ 3 đến

Bảng 2: Kế hoạch thí nghiệm nghiên cứu công nghệ nuôi *S. Platensis* bằng CO₂

Chuẩn bị môi trường thí nghiệm					
PBR	V _{Zar.} , ml	V _{Giông} , ml	Q _{Khối} lít/ph	Q _{CO₂} lít/ph	Q _{kk.} lít/ph
I	1000	100	1	0	1
II	1000	100	0	0	1
III	1000	100	0	0,5	1
Tiến hành thí nghiệm					
PBR	Thông số đo vào 7 giờ hàng ngày			T, °C	Ghi chú
	Chế độ sục khí	pH	OD ₇₅₀		
I	Khởi lò trong 30' kk. trong 8 giờ sau	Hình 3	Hình 4	Bảng 3	B. 3: đo T sau mỗi giờ của các ngày nắng, râm, mưa

Bảng 3: Biến đổi nhiệt độ của môi trường nuôi vi khuẩn lam trong PBR vào các ngày nắng, râm và mưa

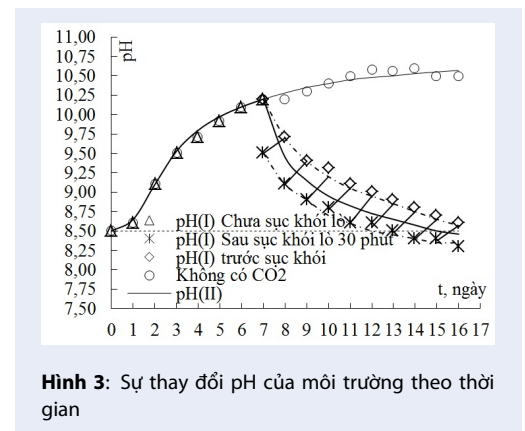
Thời điểm t, giờ	T (°C), ngày		
	Nắng	Râm	Mưa
7	26,0	27,0	26,0
8	29,0	28,0	27,0
9	35,0	30,0	31,0
10	37,0	34,0	33,5
11	36,0	33,0	33,0
12	40,0	34,5	34,5
13	39,5	36,0	33,0
14	40,0	39,0	31,0
15	37,0	35,0	29,0
16	37,5	27,5	28,0
17	34,0	26,0	27,0

4 °C, bởi vì khi đó tảo chưa quang hợp. Nhiệt độ môi trường nuôi *S. platensis* trong PBR ở đây thấp hơn nhiệt độ khi nuôi trong tubular photobioreactor (TPBR)⁵ từ 2 đến 4 °C. Nguyên nhân do thí nghiệm của⁵ được tiến hành trong TPBR dạng ống kín vào thời điểm đầu mùa khô (tháng 10-11), trong khi đó PBR I và PBR III là thiết bị hở và tiến hành vào đầu mùa mưa (tháng 4-5).

Sự biến đổi của pH môi trường

Trên Hình 3 trình bày kết quả thực nghiệm sự thay đổi pH của dung dịch trong 7 ngày đầu, cũng như 9 ngày tiếp theo có sục khí lò chứa 7,76 % (v/v) CO₂ trong 30 phút vào 7 giờ và sục không khí (không chứa

CO₂ chỉ để khuấy trộn).

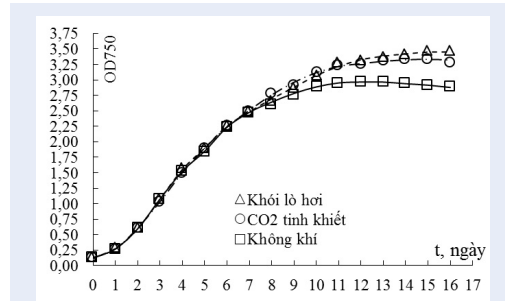


Hình 3: Sự thay đổi pH của môi trường theo thời gian

Từ kết quả trên Hình 3 cho thấy trong 7 ngày đầu pH môi trường tăng nhanh từ 8,5 đến 10,2 do xảy ra phản ứng (1), từ ngày thứ 8 giá trị pH của mỗi ngày giảm khoảng 0,3 đến 0,6 sau 30 phút sục khí lò chứa 7,76 % CO₂, do xảy ra các phản ứng từ (2) đến (5). Sau đó pH lại tiếp tục tăng trong mỗi ngày khi xảy ra phản ứng (1). Nhờ đó giá trị pH từ ngày thứ 8 đến ngày thứ 16 đã giảm từ 10,2 xuống 8,6 do đó pH được duy trì trong vùng tối ưu đối với sinh trưởng của *S. platensis* là 8,5 đến 9,5 tạo điều kiện cho *S. platensis* phát triển tốt. Kết quả này khá phù hợp với kết quả tiến hành sục 30 phút/ngày khí CO₂ nguyên chất từ ngày thứ 8 đến 12 làm pH môi trường giảm từ 10,56 xuống 9,90⁵. Trong khi đó trong PBR II khuấy bằng sục không khí, giá trị pH tiếp tục tăng từ 10,2 đến 10,6 theo phản ứng (1), nhưng tăng chậm do hàm lượng HCO₃⁻ từ ngày thứ 8 đến 16 giảm dần do không có bổ sung nguồn carbon.

Tốc độ tăng trưởng sinh khối

Sự thay đổi giá trị pH và hàm lượng ion HCO_3^- ảnh hưởng đến sự phát triển của vi khuẩn lam thể hiện bằng sự biến đổi OD_{750} của môi trường khi có sự sục khí lò chứa 7,76 % CO_2 hay sục CO_2 nguyên chất, cũng như không khí (không có CO_2) trình bày trên Hình 4.



Hình 4: Biến thiên OD_{750} theo thời gian khi khuấy trộn bằng sục: a) không khí (PBR-I), b) CO_2 nguyên chất (PBR-III) c) không khí (PBR-II)

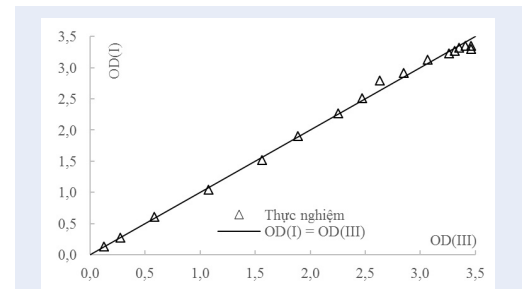
Từ Hình 4 ta thấy: khi bổ sung CO_2 không khí (chứa 7,76 %) (PBR I), hay CO_2 nguyên chất (PBR III), có tốc độ tăng OD_{750} khác nhau không nhiều. Đó là do: thứ nhất quá trình thí nghiệm trong PBR I và PBR III được tiến hành ở cùng điều kiện nhiệt độ và áp suất khí quyển; thứ hai khí CO_2 hòa tan trong nước tốt hơn các khí khác có trong không khí (O_2 , N_2 , CO ...), nên quá trình hòa tan của CO_2 trong môi trường nhanh đạt đến nồng độ bão hòa ở điều kiện thí nghiệm. Ngoài ra, ở cùng điều kiện thí nghiệm (nhiệt độ và áp suất), hằng số cân bằng của các phản ứng (3), (4) và (5) là như nhau trong hai PBR (I và III). Kết quả hàm lượng HCO_3^- và pH của môi trường, cũng như điều kiện quang hợp của PBR I và PBR III khác nhau không nhiều và sinh khối tảo thay đổi gần như nhau.

Bên cạnh đó Hình 4 còn chỉ ra, khi sục không khí chứa 7,76 % CO_2 hay CO_2 nguyên chất, vừa duy trì pH trong vùng tối ưu, vừa bổ sung đủ lượng ion HCO_3^- đã bị giảm theo (1) do đó vẫn duy trì được tốc độ sinh trưởng của vi khuẩn lam, thể hiện OD_{750} tăng từ 1,89 đến 3,46. Khi không cung cấp CO_2 một mặt nguồn dinh dưỡng dạng HCO_3^- giảm dần, mặt khác pH tăng vượt quá giá trị tối ưu, do đó OD_{750} chỉ tăng lên giá trị cực đại ($\text{OD}_{750,max} \sim 2,97$ vào ngày thứ 12), sau đó có giảm dần.

So sánh sự thay đổi OD_{750} khi sử dụng không khí chứa 7,76 % (v/v) CO_2 và CO_2 nguyên chất

Trong trường hợp không có nguồn không khí chứa CO_2 , có thể dùng CO_2 nguyên chất để sục vào môi trường

cũng khá phù hợp với *S. platensis*, và kết quả trình bày trên Hình 5.



Hình 5: So sánh OD_{750} môi trường nuôi tảo *S. platensis* khi dùng không khí có 7,76 % CO_2 OD(I) và sử dụng CO_2 nguyên chất OD(III).

Từ Hình 5 cho thấy: Khi sục không khí chứa 7,76 % CO_2 hay CO_2 nguyên chất có kết quả thay đổi OD tương đương nhau trong 5 ngày từ 8 đến 12, giá trị OD tăng từ 2,48 đến 3,21; trong 5 ngày tiếp theo đến ngày thứ 16 OD tăng chậm hơn, chỉ lên đến 3,32 và OD (I) có xu hướng thấp hơn OD (III) nhưng không nhiều, chênh lệch nhỏ hơn $\pm 2,71$ %.

Khi nuôi vi khuẩn lam trong TPBR⁵, sục CO_2 nguyên chất từ ngày thứ 7 đến ngày thứ 12 giá trị OD chỉ tăng từ 1,30 đến 2,11 thấp hơn OD trong PBR (III) từ 2,60 đến 2,96 do thí nghiệm⁵ thực hiện trong TPBR kín vào mùa khô, có nhiệt độ cao hơn, và vượt ra ngoài giá trị tối ưu của vi khuẩn lam *S. platensis* 35 đến 38 °C.

KẾT LUẬN

Từ kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm thu được có thể rút ra những kết luận sau:

Khi nuôi vi khuẩn lam trong photobioreactor, có khuấy trộn bằng sục không khí lò đốt trấu đã làm nguội xuống 35 đến 40 °C hoàn toàn phù hợp với điều kiện để hấp thụ CO_2 và sinh trưởng của *S. platensis* ở điều kiện khí hậu Việt nam;

Sau 7 ngày nuôi nồng độ sinh khối *S. platensis* đã đạt 1,81 gam (sinh khối khô)/lít, pH của môi trường tăng khá cao lên 10,2 làm dinh dưỡng dạng HCO_3^- đã giảm, cần bổ sung dinh dưỡng HCO_3^- và giảm pH về vùng tối ưu để vi khuẩn lam không chuyển sang pha cân bằng và suy tàn;

Có thể dùng không khí lò đốt trấu nói riêng, đốt các nhiên liệu biomass nói chung để nuôi vi khuẩn lam, bằng cách sục trực tiếp không khí đã làm nguội đến nhiệt độ 35 đến 40 °C vào môi trường, do không khí không chứa các chất dưới ngưỡng độc hại đối với vi khuẩn lam;

Nên tiến hành sục khí lò hơi trong 30 phút đầu buổi sáng để khuấy trộn, hấp thụ CO₂ và duy trì pH trong vùng tối ưu, bổ sung lượng dinh dưỡng dạng HCO₃⁻ đã được vi khuẩn lam tiêu thụ trong ngày hôm trước; Trong trường hợp không có nguồn khí lò chứa CO₂, có thể dùng CO₂ nguyên chất để thay thế, khi sục chúng vào môi trường nuôi vi khuẩn lam cũng khá phù hợp với sinh trưởng của *S. platensis*.

LỜI CẢM ƠN

Bài báo được tài trợ bởi ĐHQG TP. HCM trong khuôn khổ đề tài Đề tài B2019-20-03.

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Nhóm tác giả xác nhận không có xung đột lợi ích liên quan đến bài báo này.

ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

Nhóm tác giả thực hiện nghiên cứu trên cơ sở mô hình thiết bị được tạo ra trong khuôn khổ đề tài B2019-20-03. Với sự hỗ trợ dụng cụ đo của phòng thí nghiệm Quá trình Và Thiết bị, Bộ môn Quá trình

và Thiết bị, Khoa Kỹ thuật Hóa học, Trường Đại học Bách khoa – ĐHQG TP. HCM.

Các thành viên đều có đóng góp theo phân công của chủ nhiệm đề tài trong bài báo này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Lang LV. Spirulina algae, NXB Y học, HCMC. 1999;p. 162.
2. Zarrouk C. Contribution a l'etude d'une cyanophycee. Influence de divers physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthese de Spirulina maxima, C. Zarrouk//Ph.D. thesis. Paris. 1966;138.
3. Matsudo MC, Bezerra RP, Converti A, Sato S, Carvalho JC. CO₂ from alcoholic fermentation for continuous cultivation of Arthrospira (Spirulina) platensis in tubular photobioreactor using urea as nitrogen source, AIChE. 2011;PMID: 19224594. Available from: <https://doi.org/10.1002/btpr.58>.
4. Tien PQ, et al. Recovery of CO₂ from flue gas of rubber latex dryer for preparing Spirulina culture medium, Journal of Technical Education Science. 2020;60:1–6.
5. Dung TV, et al. Tubular photobioreactor design and determining the technological parameters of culturing Spirulina platensis algae by this equipment in Vietnam, Science & Technology Development Journal VNU - HCM. 2017;16:73 –77. Available from: <https://doi.org/10.32508/stdj.v20iK1.417>.
6. Trinh DV, et al. Minimising the Cost of Spirulina platensis Culture Medium using Vinh Hao Natural Mineral Water, CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS. 2020;78:19–24.
7. Williamson M. Analysis of biological populations, M.: Mir. 1975;271.