

NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG CO₂ TỪ KHÍ THẢI ĐỐT THAN ĐỂ NUÔI VI TẢO *SPIRULINA PLATENSIS*

Đặng Đình Kim¹, Trần Văn Tựa¹, Nguyễn Tiến Cư¹, Đỗ Tuấn Anh¹,
Đặng Thị Thơm¹, Hoàng Trung Kiên¹, Lê Thu Thủy¹, Vũ Thị Nguyệt¹,
Mai Trọng Chính¹, Nguyễn Văn Vượng²

¹*Viện Công nghệ môi trường, 18 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội*

²*Viện Khoa học Vật liệu, 18 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội*

Đến Tòa soạn ngày: 15/3/2011

1. MỞ ĐẦU

Khí dioxide carbon CO₂ chiếm tới một nửa khối lượng các khí nhà kính và đóng góp tới 60% trong việc làm tăng nhiệt độ khí quyển. Đốt than thải ra nhiều CO₂ nhất, sau đó là đốt dầu và xăng. Hậu quả của việc tiêu thụ năng lượng nhiên liệu hóa thạch là tổng lượng CO₂ trong bầu khí quyển tăng lên mỗi năm [1].

Thông thường trong khí thải đốt than, CO₂ chiếm khoảng 12%. Cứ 1 tấn carbon trong than thì sinh ra khoảng 4 tấn CO₂. Đã có nhiều nỗ lực nhằm giảm khí thải CO₂ từ việc đốt nhiên liệu hóa thạch nhưng trước khi làm điều này người ta cần tách nó khỏi nguồn thải và sử dụng các kỹ thuật khác nhau để loại bỏ hoặc giam giữ nó [2]. Một số dự án của nước ngoài sử dụng trực tiếp CO₂ của khí thải nhà máy nhiệt điện để nuôi thử nghiệm các loài vi tảo làm nhiên liệu sinh học, thức ăn cho người và cho chăn nuôi hiện đang được triển khai [3, 4, 5].

Khí thải đốt than có thành phần chủ yếu là CO₂, NO_x, SO₂, H_xC_y, CO và các hạt bụi lơ lửng (PM) kích thước cỡ vài micromét. Đề tài cấp Viện KH&CNVN [7] đã tạo ra công nghệ xử lý phần lớn các khí đồng hành từ khí thải đốt than tổ ong và tạo được nguồn CO₂ hàm lượng gần 7%. Nguồn khí CO₂ này rất hữu ích nếu được sử dụng hiệu quả cho nuôi tảo *Spirulina platensis* – một loài tảo rất giàu dinh dưỡng [8] và hiện đang được dùng như một loại thực phẩm chức năng quan trọng [9].

Bài báo này giới thiệu một số kết quả nghiên cứu sử dụng CO₂ từ khí thải đốt than để nuôi vi tảo *Spirulina platensis*. Đây là những kết quả mới lần đầu tiên được công bố tại Việt Nam.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Khí CO₂ từ khí thải đốt than tổ ong (FG) sau khi đã loại bớt các khí đồng hành với nồng độ 6,7% vol được sử dụng trực tiếp cho các thí nghiệm nuôi tảo. Để đối chứng, các thí nghiệm nuôi tảo dùng khí CO₂ công nghiệp với nồng độ 99% vol được tiến hành song song. Vi tảo *Spirulina platensis* SP4 dùng cho các thí nghiệm được cung cấp bởi tập đoàn giống tảo của Phòng Thủy Sinh học môi trường, Viện Công nghệ môi trường.

Các thí nghiệm được tiến hành tại Khu Công nghệ của Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam với các điều kiện sau đây:

a. Ánh sáng được cung cấp từ đèn huỳnh quang ánh sáng lạnh công suất điện 40 W, cường độ chiếu sáng 5.000 lux, thời gian chiếu sáng 8 giờ/ngày.

b. Để xác định tốc độ tăng trưởng, vi tảo được nuôi trong các ống thủy tinh hình trụ chuyên dụng có thể tích 1 lít. Để đánh giá khả năng hấp thụ CO₂ của dịch huyền phù tảo, bình phản ứng quang sinh thể tích 10 lít được sử dụng. Dung dịch tảo được thổi khí liên tục từ máy thổi khí với tốc độ 50 L/phút được điều chỉnh bởi các van khác nhau. Độ pH của môi trường nuôi tảo được kiểm soát liên tục theo thời gian bằng máy pH Control (Hãng Hanna).

c. Môi trường nuôi tảo là môi trường nuôi *Spirulina* [17] cải tiến bằng cách giảm NaHCO₃ còn 1,36 g/L; Na₂CO₃ còn 2 g/L.

Kết quả sinh khối tảo được xác định thông qua phép đo OD trên máy quang phổ UV-2450 Shimadzu (Nhật Bản) và được đánh giá qua trọng lượng khô (TLK) theo đồ thị chuẩn phản ánh mối tương quan giữa OD và TLK. Hàm lượng HCO₃⁻ và CO₃²⁻ được xác định bằng phương pháp chuẩn độ acid 0,1N HCl. Hàm lượng khí CO₂ trong khí thải đốt than được đo bằng thiết bị CA-6203 (Hoa Kỳ). Hiệu quả hấp thụ CO₂ của tảo được xác định bằng phương pháp dùng Bari saccharat [16]. Đánh giá chất lượng sinh khối vi tảo: prôtêin xác định trên máy chưng cất D324 (Đức); carotenoid, tro được xác định theo phương pháp của Timothy R. Parsons (1992); hàm lượng hydratcacbon theo phương pháp Bertrand, lipit tổng số xác định theo phương pháp khối lượng Weibull-Berntrop.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Diễn biến giá trị pH của môi trường nuôi tảo *Spirulina platensis* SP4 được điều chỉnh bằng các nguồn CO₂ khác nhau

Bảng 1. Diễn biến pH của môi trường nuôi tảo *Spirulina platensis* SP4 trước và sau khi cấp CO₂

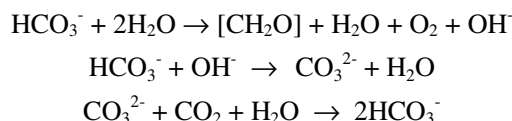
Thời gian (Ngày)	pH			
	CO ₂ Tinh khiết (ĐC)		CO ₂ FG (TN)	
	Trước	Sau	Trước	Sau
0	9,89	8,65	9,89	8,82
1	9,37	8,62	9,35	8,89
2	9,37	8,82	9,50	8,78
3	9,49	8,89	9,46	8,94
4	9,55	7,23	9,55	8,90
5	9,52	7,45	9,46	8,64
6	9,78	7,30	9,76	8,47
7	9,76	7,25	9,71	8,91
8	9,78	8,26	9,77	8,75
9	9,71	7,50	9,76	8,46
10	9,75	8,57	9,77	8,77

pH có tác động rất lớn đến quá trình sinh trưởng và phát triển của tảo. Mỗi loài tảo có dải pH thích hợp khác nhau. Đối với tảo *Spirulina* dải pH thích hợp nằm trong khoảng từ 8,5 – 9,5, tối ưu là 9. Trong các thí nghiệm đã tiến hành do việc cấp khí CO₂ được kiểm soát liên tục nên pH của môi trường nuôi tảo được giữ ổn định trong khoảng pH thích hợp, ngoại trừ một vài trường hợp ở công thức đối chứng (ĐC - sục CO₂ tinh khiết) độ pH trong khoảng thời gian ngắn giảm về gần 7 do biến đổi thể khi lượng CO₂ cấp vào chưa kịp hòa tan. Tuy nhiên, sau đó pH lại tăng nhanh về vùng thích hợp nên không ảnh hưởng đến tốc độ sinh trưởng của tảo (bảng 1).

Số liệu bảng trên cho thấy việc điều chỉnh pH ở hai hệ thí nghiệm, hệ dùng CO₂ từ khí thải đốt than để sục vào bể nuôi tảo (kí hiệu TN) và hệ dùng khí CO₂ tinh khiết để sục và làm thí nghiệm đối chứng (kí hiệu là ĐC) là tương tự khi xét tới giá trị pH vào ngày hôm sau. Việc thay đổi pH trong dịch nuôi tảo cũng thể hiện chuyển hóa các dạng carbon vô cơ được khảo sát dưới đây.

3.2. Các dạng carbon vô cơ trong môi trường nuôi tảo *Spirulina platensis* SP4 trước và sau khi bổ sung khí CO₂

Khi sục CO₂ vào môi trường nuôi tảo có thể xuất hiện các dạng hợp chất carbon vô cơ H₂CO₃, HCO₃⁻, CO₃²⁻. Tỷ lệ các ion này luôn thay đổi và phụ thuộc vào pH [8]. Thông thường tảo *Spirulina* sử dụng carbon ở dạng HCO₃⁻ và hình thành các ion OH⁻, CO₃²⁻ dẫn tới việc pH trong dịch huyền phù luôn có xu hướng tăng lên. Nếu tiếp tục cấp CO₂ vào dịch tảo thì pH sẽ giảm xuống theo các phương trình sau đây [10]:



Bảng 2. Hàm lượng HCO₃⁻ và CO₃²⁻ trước và sau khi điều chỉnh CO₂

Thời gian	CO ₂ tinh khiết (ĐC)					
	HCO ₃ ⁻ (mg/l)			CO ₃ ²⁻ (mg/l)		
Ngày	Trước	Sau	Chuyển hóa (%)	Trước	Sau	Chuyển hóa (%)
Ban đầu	2318	2647	14,19	216	48	77,77
1	2330	2592	11,24	324	46	85,80
2	2244	2635	17,42	420	114	65,71
3	2287	2624	14,95	468	132	71,79
4	2244	2787	24,19	428	66	84,57
5	2312	2696	16,60	474	126	73,41
6	2074	2854	37,60	810	30	96,29
7	2257	2933	29,95	684	48	92,98
8	2275	2934	28,96	750	66	91,20
9	2250	2884	28,17	708	48	93,22
10	2348	2964	26,23	726	114	84,29
TB			22,68			83,36

Bảng 2. Hàm lượng HCO_3^- và CO_3^{2-} trước và sau khi điều chỉnh CO_2 (tiếp)

Thời gian	CO_2 tinh khiết (ĐC)					
	HCO_3^- (mg/l)			CO_3^{2-} (mg/l)		
Ngày	Trước	Sau	Chuyển hóa (%)	Trước	Sau	Chuyển hóa (%)
Ban đầu	2318	2598	12,07	216	132	38,88
1	2315	2574	11,18	204	168	17,65
2	2311	2512	8,55	360	58	85,00
3	2190	2604	18,90	492	156	68,30
4	2269	2665	17,45	558	144	74,20
5	2372	2653	11,84	468	150	67,95
6	2080	2899	38,99	858	54	93,71
7	2269	2769	22,03	720	90	87,50
8	2232	2909	30,33	840	78	90,72
9	2182	2830	29,69	750	102	86,40
10	2379	2909	22,27	816	144	82,36
TB			20,30			72,06

Số liệu trình bày trong bảng 2 cho thấy khả năng chuyển hóa HCO_3^- trong môi trường được điều chỉnh bằng khí CO_2 tinh khiết đạt 22,68% trong hệ thí nghiệm ĐC chỉ cao hơn một chút (khoảng 2%) so với hệ TN. Điều này cho thấy khả năng đồng hóa HCO_3^- của vi tảo ở cả hai trường hợp, dùng khí CO_2 tinh khiết hay khí CO_2 từ khí thải đốt than hầu như không khác biệt.

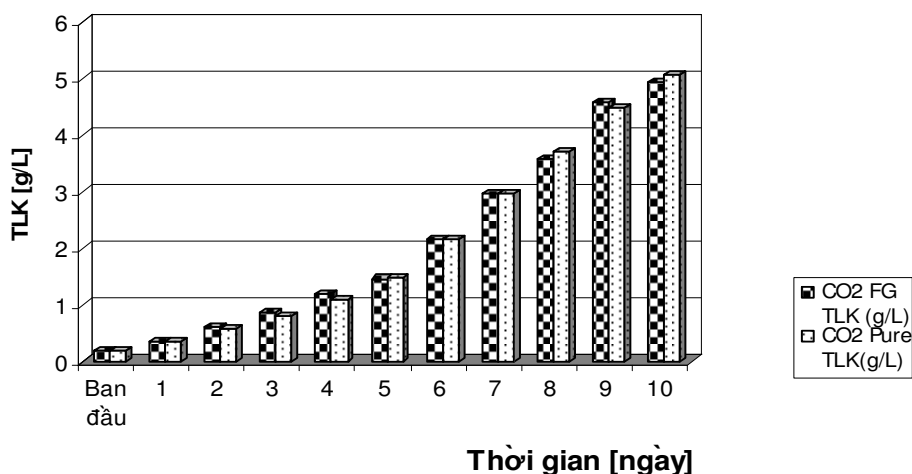
Trong khi đó CO_3^{2-} giảm tới 83,36% ở hệ ĐC so với 72,06% ở hệ TN. Điều này hoàn toàn phù hợp với số liệu trình bày trên Bảng 1 và được lí giải như sau: Sau khi điều chỉnh pH bằng việc bổ sung hàng ngày CO_2 , giá trị pH của hệ ĐC luôn thấp hơn so với hệ TN, chứng tỏ lượng CO_2 ở hệ ĐC hòa tan nhiều hơn mà giá trị này trong môi trường nuôi *Spirulina* luôn tỉ lệ nghịch với lượng CO_3^{2-} . Kết quả này là cơ sở khoa học quan trọng giúp các nhà sản xuất đại trà vi tảo *Spirulina* điều chỉnh việc cấp CO_2 vào dịch tảo sao cho kinh tế nhất.

3.3. Tốc độ tăng sinh khối tảo *Spirulina platensis* SP4 trong môi trường có bổ sung CO_2 từ các nguồn khác nhau

Trong những năm gần đây nghiên cứu tác động ảnh hưởng của thành phần khí thải và khả năng hấp thụ CO_2 trong khí thải của vi tảo đã được nhiều tác giả quan tâm. Ôxyt lưu huỳnh, đặc biệt SO_2 có thể tác động đáng kể lên sinh trưởng của tảo. Khi nồng độ SO_2 đạt 400 ppm, pH của môi trường nuôi tảo có thể giảm xuống dưới 4 và ảnh hưởng nghiêm trọng đến sinh trưởng của tảo [11]. Một số tác giả khác lại chứng minh rằng tảo có thể chịu đựng SO_2 với nồng độ 200 ppm [12, 13]. Trong điều kiện thí nghiệm của chúng tôi, khí SO_2 đã bị loại bỏ hoàn toàn trước khi sục CO_2 vào dịch tảo [7].

NO_x (dưới dạng NO và NO₂) tồn tại cùng với khí CO₂ có thể ảnh hưởng đến pH của môi trường nuôi tảo, nhưng ở mức độ thấp hơn SO₂. Tuy nhiên, NO cũng như NO₂ đều được coi là nguồn dinh dưỡng Nitơ cho tảo [11, 12, 14].

Để đánh giá tốc độ tăng trưởng của tảo, hàng ngày mẫu được thu để đo mật độ quang học (OD), xác định sinh khối khô. Dưới đây là các kết quả liên quan đến sinh khối khô của *Spirulina platensis* SP4 trong các điều kiện hai hệ thí nghiệm khác nhau - hệ TN dùng nguồn CO₂ còn lẫn một số tạp chất từ khí thải đốt than và hệ ĐC dùng nguồn CO₂ tinh khiết.



Hình 1. Tốc độ tăng trưởng của tảo *Spirulina platensis* SP4 ở 2 hệ nuôi khác nhau

Từ hình 1 ta thấy sau 10 ngày thí nghiệm, tảo *Spirulina* ở cả hai hệ đạt trọng lượng khô tới 5 g/L với sinh khối ban đầu gần 0,2 g/L. Như vậy, tốc độ tăng trưởng của tảo *Spirulina platensis* Sp4 trong môi trường bổ sung CO₂ tách từ khí thải đốt than gần như tương đương với tảo được bổ sung bằng CO₂ tinh khiết trong suốt thời gian thí nghiệm nói trên. Kết quả này rất có ý nghĩa khoa học và thực tiễn vì hai lí do:

a. Vì tảo có thể khai thác nguồn carbon để quang hợp từ CO₂ tinh khiết cũng như CO₂ thu hồi từ khí thải đốt than. Như vậy, hoàn toàn có thể thu hồi CO₂ từ khí thải đốt than để vừa giảm thiểu khí thải nhà kính và vừa nuôi đại trà vi tảo giàu dinh dưỡng.

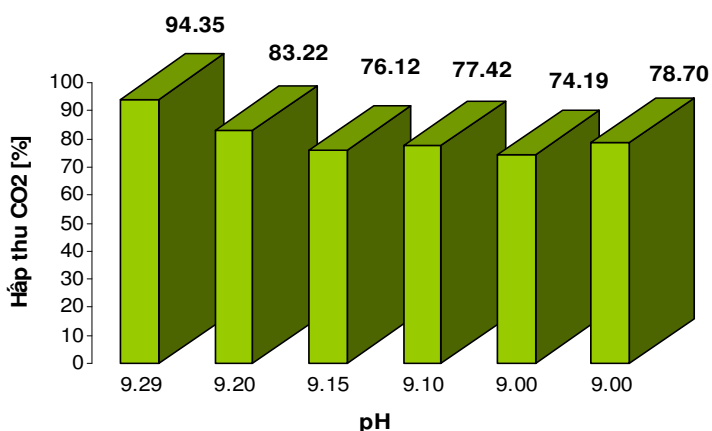
b. Khí CO₂ được thu hồi từ khí thải đốt than bằng công nghệ xúc tác chuyển hóa CO về CO₂, chuyển hóa NO_x về N₂ và H₂O và hấp phụ các thành phần khí thải đồng hành khác như SO_x. Về lí thuyết, quá trình xúc tác và hấp phụ khó đạt hiệu suất 100% và do vậy song hành cùng với khí CO₂ sục vào bể nuôi tảo cùng với một hàm lượng nhỏ các khí đồng hành khác. Kết quả thí nghiệm trình bày ở trên cho thấy những khí thải đồng hành chưa được loại bỏ hoàn toàn bằng công nghệ xúc tác hấp phụ đã sử dụng không gây ảnh hưởng xấu tới sinh trưởng của vi tảo này và mở ra triển vọng ứng dụng công nghệ xúc tác hấp phụ để xử lí khí thải đốt than tạo nguồn CO₂ rẻ tiền và hiệu quả để sản xuất sinh khối vi tảo.

3.4. Hiệu quả hấp thụ khí CO₂ từ khí thải đốt than của tảo *Spirulina platensis* SP4

Trong sinh khối tảo có tới 40% - 50% carbon, và để sản xuất được 1 kg tảo khô cần có khoảng 1,5 - 2,0 kg CO₂. Vì vậy việc cấp CO₂ cho dịch tảo và khả năng hấp thụ hiệu quả khí này của tảo là điều rất quan trọng, ảnh hưởng nhiều đến giá thành sản xuất [15].

Trong thí nghiệm này, bình phản ứng quang sinh thể tích 10 lít đã được dùng để nuôi *Spirulina platensis* SP4 nhằm xác định khả năng hấp thụ khí CO₂. Tốc độ sục khí 50 L/phút với nồng độ CO₂ từ khí thải đốt than dao động từ 6,2 đến 6,7% vol. Hiệu quả hấp thụ CO₂ của dịch tảo được tính toán trên cơ sở đo nồng độ CO₂ trong khoảng không của bình phản ứng quang sinh ở mỗi thời điểm pH đang thay đổi theo chiều hướng giảm dần. Tại thời điểm cuối (ứng với hiệu quả hấp thụ 78,0%), dòng vào của CO₂ đã bị ngắt trong khi pH vẫn chưa kịp giảm xuống thấp hơn 9,00.

Kết quả trình bày trên hình 2 cho thấy khả năng hấp thụ khí CO₂ của dịch tảo *Spirulina platensis* SP4 là rất cao. Tại giá trị pH càng cao thì tỉ lệ này càng lớn. Thực ra điều này dễ dàng đạt được trong điều kiện nuôi kín tại bình phản ứng quang sinh. Còn đối với điều kiện nuôi đại trà ngoài bể hở, khả năng hấp thụ khí CO₂ sẽ thấp hơn, dưới 50% [8].



Hình 2. Hiệu quả hấp thụ khí CO₂ tách từ khí thải đốt than của tảo *Spirulina platensis* SP4

3.5. Chất lượng sinh khối

Thành phần chất lượng vi tảo không khác biệt nhiều khi *Spirulina platensis* SP4 sử dụng nguồn CO₂ từ khí thải đốt than tổ ong (CO₂ FG) và nguồn CO₂ tinh khiết (bảng 3). Hàm lượng prôtêin trong tảo ở mẫu TN (CO₂ FG) và ĐC (CO₂ tinh khiết) lần lượt là 56,11% và 65,29% TLK đều nằm trong khoảng dao động từ 50 đến 65% TLK của tảo *Spirulina* nuôi trong các điều kiện khác nhau. Sự khác biệt của hàm lượng prôtêin tổng số ở công thức TN có thể liên quan tới việc ức chế tổng hợp bởi những khí thải đồng hành chưa được loại bỏ hoàn toàn.

Hàm lượng chất béo và khoáng chất trong mẫu TN, ĐC gần như tương đương và đảm bảo thành phần dinh dưỡng của tảo khô *Spirulina* [6, 8].

Hàm lượng carotenoid trong tảo *Spirulina platensis* SP4 ở TN và ĐC lần lượt là 0,48 và 0,47% TLK và tương đương với các số liệu đã được công bố trước đó [8].

Bảng 3. Chất lượng sinh khối vi tảo *Spirulina platensis* SP4

Số TT	Thành phần (% TLK)	Spirulina sử dụng CO ₂ từ khí thải đốt than FG (TN)	Spirulina sử dụng CO ₂ tinh khiết (ĐC)
1	Prôtêin tổng số	56,11	65,29
2	Chất béo	11,03	9,02
3	Hydratcacbon	4,84	5,59
4	Tro	9,12	9,99
5	Carotenoids tổng số	0,48	0,47

4. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày kết quả bước đầu của công nghệ sử dụng khí thải đốt than để nuôi vi tảo *Spirulina platensis* SP4. Khí thải đốt than được làm giàu CO₂ và giảm thiểu các khí thải đồng hành bằng công nghệ xúc tác, hấp phụ. Những kết quả thu nhận được cho phép rút ra một số kết luận sau:

Việc sử dụng CO₂ với hàm lượng 6,2 - 6,7% thu hồi từ khí thải đốt than cho việc nuôi thử nghiệm vi tảo *Spirulina platensis* SP4 là khả thi nếu xét về hiệu quả chuyển hóa CO₃²⁻ (83,38% ở ĐC so với 72,06% ở TN) và HCO₃⁻ (22,68% ở ĐC so với 20,30% ở TN), hiệu quả hấp thụ CO₂ (78,7% - 94,35% trong dải pH tương ứng từ 9,00 đến 9,29) của dịch huyền phù tảo, khả năng tăng sinh khối cũng như chất lượng sinh khối thu được.

Kết quả nghiên cứu thu nhận được góp phần khẳng định khả năng sử dụng CO₂ thu hồi từ khí thải đốt than với 2 mục đích song song, giảm thiểu khí thải nhà kính và tạo nguồn carbon để nuôi đại trà vi tảo giàu dinh dưỡng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Đức Ngữ (chủ biên) - Biến đổi khí hậu, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2008, 388 tr.
2. Nguyễn Văn Vượng - Báo cáo tổng hợp Đề tài cấp Viện KHCNVN, Ứng dụng vật liệu xúc tác nano nền ôxit kim loại xử lí ô nhiễm môi trường khí 2008 - 2009, Hà Nội, 2010.
3. <http://www.seamibiotic.com/>
4. <http://jivc.vn>
5. <http://www.cbc.ca/canada/north/story/2004/08/24/.html>
6. <http://www.spirulina.com.vn>
7. Đặng Đình Kim - Đề tài cấp Viện KHCNVN: Nghiên cứu công nghệ thu hồi CO₂ từ khí thải đốt than để sản xuất sinh khối vi tảo giàu dinh dưỡng 2010 - 2011, Hà Nội, 2011.
8. Đặng Đình Kim và Đặng Hoàng Phước Hiền - Công nghệ sinh học vi tảo, NXB Nông nghiệp, Hà Nội, 1999, 204 trang.

9. Dương Đức Tiến - Báo cáo tổng hợp dự án sản xuất thử nghiệm “Sản xuất thực phẩm sạch giàu dinh dưỡng từ tảo Spirulina tại Hà Nội”, Mã số P-2007-01, Hà Nội, 2009.
10. Nguyễn Hữu Thước và NNK - Nghiên cứu một số đặc điểm sinh lí - hóa sinh và kỹ thuật nuôi trồng tảo Spirulina, Chuyên đề Khoa học kỹ thuật, Ủy ban Khoa học Nhà nước, 1976, tr. 82-94.
11. Matsumoto H., Hamasaki A., Sioji N., Ikuta Y. - Influence of CO₂, SO₂, and NO in Flue Gas on Microalgae Productivity, J. Chem. Eng. Japan, **30** (1997) 620–324.
12. Brown L. M. - Uptake of Carbon Dioxide from Flue Gas by Microalgae, Energy Conversion Management **37** (1996) 1363–1367.
13. Watanabe Y., Hall D. O.- Photosynthetic CO₂ conversion technologies using a photobioreactor incorporating microalgae-energy and material balances, Energy Conversion Management **37** (1996) 1321–1326.
14. Olaizola M. - Commercial development of microalgal biotechnology: from the test tube to the marketplace, J. Biomol. Eng. **20** (2003) 459-466.
15. Yun Y. S., S. B. Lee, J. M. Park, C. I. Lee, and J. W. Yang - Carbon dioxide fixation by algal cultivation using wastewater nutrients, J. Chem. Tech. Biotechnol **69** (1997) 451-455.
16. Lê Trung - Thường quy kỹ thuật Y học - Lao động – Vệ sinh môi trường - Sức khỏe trường học, NXB Y học, 2002, tr. 135-137.
17. Aiba S. and T. Ogawa - Assessment of growth yield of a blue-green alga: *Spirulina platensis*, in axenic and continuous culture, J. Gen. Microbiology **10** (1997) 179-182.

SUMMARY

UTILIZATION OF CO₂ CAPTURED FROM THE COAL-FIRED FLUE GAS FOR GROWING *SPIRULINA PLATENSIS* SP4

The paper presents the results concerning the utilization of CO₂ captured from the coal-fired flue gas for growing the *Spirulina platensis* SP4 in laboratory condition.

Several research results on the conversion of CO₃²⁻ and HCO₃⁻ in algal suspension and CO₂ intake efficiency by the alga were presented. The growth and biomass quality of *Spirulina platensis* SP4 using CO₂ from fired-coal flue gas were equivalent to that of the alga grown in the pure CO₂ experimental lot.

Keyword. Spirulina, khí thải đốt than, công nghệ xúc tác - hấp phụ.

Liên hệ với tác giả:

Đặng Thị Thơm,
Viện Công nghệ môi trường,
Email: thomiet@gmail.com