

# NGHIÊN CỨU CÁC PHƯƠNG PHÁP THU HOẠCH TẢO *CHLORELLA SOROKINIANA* VÀ *SCENEDESMUS ACUMINATUS* NUÔI TRONG NƯỚC THẢI ĐÔ THỊ

STUDY ON THE HARVESTING METHODS OF *CHLORELLA SOROKINIANA* AND *SCENEDESMUS ACUMINATUS*  
CULTURED IN MUNICIPAL WASTEWATER

Phạm Thị Mai<sup>1</sup>, Đoàn Thị Bích Hòa<sup>1</sup>, Trần Đăng Thuần<sup>1\*</sup>,  
Nguyễn Thị Hương<sup>2</sup>, Phạm Thị Mai Hương<sup>2</sup>, Nguyễn Quang Tùng<sup>2</sup>

## TÓM TẮT

Công nghệ xử lý nước thải sinh hoạt dùng vi tảo là bền vững, vì tảo tiêu thụ các chất ô nhiễm của carbon ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , carbon hữu cơ), nitơ, phospho làm dinh dưỡng và ánh sáng mặt trời làm năng lượng để tổng hợp nên sinh khối tảo giàu dinh dưỡng và sản xuất ra oxy. Sinh khối tảo có thể được ứng dụng trong các ngành công nghiệp khác nhau, dẫn đến làm tăng giá trị cho công nghệ xử lý nước thải dùng vi tảo. Tận thu tảo sau khi nuôi cấy để đạt được nước có chất lượng phù hợp với tiêu chuẩn xả thải là rất quan trọng. Tuy nhiên vì kích thước chỉ vài micron (3-12 $\mu\text{m}$ ), nên công đoạn thu hoạch vi tảo rất khó và tốn kém. Nhiều nghiên cứu chỉ ra rằng, thu hoạch vi tảo để thu sinh khối chiếm 20-30% tổng chi phí sản xuất tảo thành phẩm. Kết quả nghiên cứu với hai chủng vi tảo *Chlorella sorokiniana* và *Scenedesmus acuminatus* nuôi trong nước thải đô thị cho thấy, phương pháp keo tụ dùng PACI mang lại hiệu suất thu hoạch cao (trên 94%), nhanh, rẻ và dễ áp dụng. Nó hoàn toàn phù hợp để tích hợp thành bước cuối cùng trong công nghệ xử lý nước thải dùng vi tảo. Phương pháp lọc cho hiệu suất thu hoạch trung bình (~60-80%), ly tâm cho hiệu suất cao (trên 95%), nhưng tốn năng lượng và chỉ phù hợp với thu hoạch tảo sử dụng trong công nghiệp thực phẩm, mỹ phẩm, dược phẩm.

**Từ khóa:** *Chlorella sorokiniana*, *Scenedesmus acuminatus*, PACI, thu hoạch.

## ABSTRACT

Wastewater treatment technology using micro-algae is sustainable, because the algae consume the pollutants of carbon ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , and organic carbon), nitrogen, phosphorous as nutrients and sunlight as an energy to synthesize biomass and produce oxygen. Biomass can be applied in different industries, and it increases the value for the algae-based wastewater treatment technology. Harvesting algae after farming to achieve water with desirable quality is very important. However because of the size of only a few microns (3-12  $\mu\text{m}$ ), the harvesting step is difficult and costly. Many studies show that the microalga biomass harvesting is accounted for up to 20-30% of the total cost of production of algae products. Research results with two strains of algae *Chlorella sorokiniana* and *Scenedesmus acuminatus* cultured in urban wastewater suggested that, coagulation/flocculation using PACI is a method achieving high harvesting efficiency (over 94%), fast, cheap and easy to apply. It is perfectly suited to integrate into the final step in wastewater treatment technology using micro-algae. The filtration method gave the average harvesting performance of 60-80%, while centrifugal yielded high performance (of over 95%), but energy consuming and only reasonably application for harvesting algae biomass used in food industry, cosmetics, and pharmaceutical products.

**Keywords:** *Chlorella sorokiniana*, *Scenedesmus acuminatus*, PACI, harvesting.

<sup>1</sup>Viện Hóa học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

<sup>2</sup>Khoa Công nghệ Hóa, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

\*Email: tdangthuan@gmail.com; tdangthuan@ich.vast.vn

Ngày nhận bài: 15/01/2019

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 07/5/2019

Ngày chấp nhận đăng: 10/6/2019

## 1. MỞ ĐẦU

Trong nước thải đô thị thường chứa hàm lượng cao các chất hữu cơ và vô cơ. Nước thải được thải ra môi trường không qua xử lý, xử lý chưa đúng quy cách và tích tụ lâu ngày trong các nơi tiếp nhận sẽ là một gánh nặng to lớn đối với môi trường [1]. Để đảm bảo nước thải đầu ra phù hợp với quy chuẩn môi trường cần phải có các biện pháp xử lý phù hợp. Vi tảo là một tác nhân sinh học nhận được sự quan tâm rộng rãi của các nhà nghiên cứu trên thế giới, vì vi tảo có thể sinh trưởng và phát triển trong nước thải rất tốt thông qua tiêu thụ các chất ô nhiễm như carbon hữu cơ và vô cơ, các hợp chất của nitơ ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ) và photpho ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) như dinh dưỡng và dùng ánh sáng mặt trời và hấp thụ  $\text{CO}_2$  thông qua quang hợp để giải phóng  $\text{O}_2$ , đồng thời xây dựng nên sinh khối giàu dinh dưỡng (protein, lipids, chlorophyll, carbohydrates) [2-7]. Vi tảo phát triển nhanh ở các môi trường khác nhau và năng suất cao hơn thực vật bậc cao. Đặc biệt các chủng *Chlorella* và *Scenedesmus* là hai loại rất phổ biến trong môi trường nước ngọt và nước thải như nước thải đô thị [5]. Chúng có tốc độ nhân đôi tế bào nhanh và tăng trưởng sinh khối mạnh, rất phù hợp cho ứng dụng xử lý nước thải giàu N và P như nước thải sinh hoạt. Tận thu tảo sau khi nuôi cấy để đạt được nước có chất lượng phù hợp với tiêu

chuẩn xả thải là rất quan trọng. Mặt khác vì sinh khối tảo giàu dinh dưỡng, nên thu hoạch tảo sẽ tạo ra sinh khối thành phẩm và có thể dùng cho các ngành công nghiệp khác sẽ tăng thêm giá trị gia tăng cho ngành xử lý nước thải. Tuy nhiên vì kích thước chỉ vài micron (3-12 $\mu$ m), nên công đoạn thu hoạch vi tảo rất khó và tốn kém. Nhiều nghiên cứu chỉ ra rằng, thu hoạch vi tảo để thu sinh khối chiếm 20-30% tổng chi phí sản xuất tảo thành phẩm [8].

Vi lý do như vậy, nghiên cứu các phương pháp thu hoạch tảo *Chlorella sorokiniana* và *Scenedesmus acuminatus* nuôi trong nước thải đô thị được phát triển nhằm đánh giá hiệu suất thu hoạch cũng như ưu nhược điểm của từng phương pháp.

## 2. THỰC NGHIỆM

### 2.1. Nguồn tảo giống và nhân giống tảo

Tảo giống bao gồm chủng *Chlorella sorokiniana* và *Scenedesmus acuminatus* được cung cấp bởi Viện Thủy sinh, Viện Hàn lâm Khoa học Trung Quốc. Cả hai chủng được nuôi duy trì trong bình tam giác 100mL chứa 50mL môi trường BG-11 tiệt trùng có thành phần hóa học gồm các chất có hàm lượng như sau: NaNO<sub>3</sub>, 1,5g/L; K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 0,04g/L; MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 0,075g/L; CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O, 0,036g/L; Citric acid, 0,006g/L; Ferric ammonium citrate, 0,006g/L; EDTA (Ethylene diamine tetraacetic acid), 0,001g/L; Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 0,02g/L; dung dịch vi lượng A5, 1mL/L (dung dịch A5 pha sẵn gồm các thành phần có hàm lượng: H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, 2,86g/L; MnCl<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O, 1,81g/L; ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 0,222g/L; Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, 0,39g/L; CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, 0,079 g/L; Co(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, 0,0494g/L). Tảo được nuôi làm giàu dưới điều kiện nhiệt độ 25°C, ánh sáng nhân tạo dùng đèn LED có cường độ 60 $\mu$ mol/m<sup>2</sup>/s trong chu kỳ sáng/tối là 16 giờ/8 giờ và tốc độ lắc là 150rpm trong vòng 7 ngày để đạt OD = 0,4.

Nhân giống tảo được thực hiện như sau: 10mL tảo *Chlorella sorokiniana* và *Scenedesmus acuminatus* từ bình giống nuôi duy trì (50mL) được cấy sang bình tam giác 250mL chứa 200mL BG-11 tiệt trùng, sau đó cố định trên máy lắc (150rpm) và nuôi trong vòng 1 tuần dưới điều kiện nhiệt độ, ánh sáng đã trình bày ở phần trên để đạt OD > 0,3 phục vụ cho các thí nghiệm nuôi tảo trong nước thải.

### 2.2. Nguồn nước thải

Nguồn nước thải sinh hoạt dùng cho nghiên cứu được lấy trực tiếp từ cống thải tại cầu Yên Hòa, nằm trên nhánh sông Tô Lịch đi qua phường Nghĩa Tân, Cầu Giấy, TP. Hà Nội. Nước thải được lấy và đựng trong can 20L và vận chuyển về phòng thí nghiệm Hóa sinh Môi trường, Viện Hóa học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, sau đó tiến hành lọc để loại bỏ rác, hạt lơ lửng trước khi tiến hành các thí nghiệm.

### 2.3. Nuôi tảo trong nước thải

Nước thải được lọc qua giấy lọc để loại bỏ rác và cặn rắn, sau đó nước được đưa vào bình phản ứng 3L (không tiệt trùng). Nối đầu sục khí và điều chỉnh tốc độ sục khí phù hợp, các điều kiện về ánh sáng và nhiệt độ tương tự như ở nhân giống tảo. Sau đó 200mL tảo giống (OD > 0,3) nuôi ở

mục 2.1 được cấy vào bình phản ứng. Ánh sáng chiếu vào bình phản ứng bởi đèn LED có cường độ 1350 LUX. Mẫu được lấy 2 ngày một lần để phân tích các chỉ tiêu nước thải và các thông số tăng trưởng của tảo. Tảo được nuôi trong nước thải trong vòng 21 ngày nhằm tiêu thụ các chất ô nhiễm carbon, nitơ, photpho xuống dưới tiêu chuẩn xả thải của nước thải đô thị theo QCVN 14:2008 /BTNMT. Sau đó tảo được dùng để làm thí nghiệm thu hoạch.

## 2.4. Nghiên cứu thu hoạch tảo

### 2.4.1. Nghiên cứu thu hoạch sinh khối tảo *Chlorella sorokiniana* và *Scenedesmus acuminatus* bằng phương pháp keo tụ hóa học với Poly Aluminium Chloride (PACI)

i) Ảnh hưởng của nồng độ PACI đến hiệu suất thu hoạch tảo

Tảo sau khi dùng nuôi cấy được dùng để nghiên cứu thu hoạch. Lấy 50mL hỗn hợp tảo nước cho vào cốc thủy tinh 100mL, đo pH và mật độ quang ban đầu, khuấy bằng cục khuấy từ với tốc độ 100 vòng/phút trên máy khuấy từ. Sau đó, hàm lượng PACI được cân với các lượng: 0,01; 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5g, và cho vào khuấy với tảo nước trong vòng 5 phút. Sau đó hỗn hợp được để lắng 30 phút. Phần nước phía trên tảo lắng được đem đi đo mật độ quang ở bước sóng  $\lambda = 686\text{nm}$ . Giá trị bước sóng đo được thay vào công thức (2) để tính hiệu suất thu hoạch sinh khối tảo. Thí nghiệm được tiến hành ở nhiệt độ phòng 23 - 25°C.

ii) Ảnh hưởng của pH đến hiệu suất thu hoạch tảo

Tảo sau khi dùng nuôi cấy được dùng để nghiên cứu thu hoạch. Lấy 50mL hỗn hợp tảo nước cho vào cốc thủy tinh 100mL, đo pH ban đầu của hỗn hợp nước tảo, khuấy bằng cục khuấy từ với tốc độ 100 vòng/phút trên máy khuấy từ. Sau đó nồng độ PACI được cân với các lượng: 0,01; 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 gram và cho vào khuấy với tảo nước trong vòng 5 phút. Dùng dung dịch NaOH 1N điều chỉnh hỗn hợp tảo nước về các môi trường pH = 8; 9; 10. Khuấy bằng cục khuấy từ với tốc độ 100 vòng/phút trên máy khuấy từ, để lắng 30 phút. Phần nước phía trên tảo lắng được đem đi đo mật độ quang ở bước sóng  $\lambda = 686\text{nm}$ . Giá trị bước sóng đo được thay vào công thức (2) để tính hiệu suất thu hoạch sinh khối tảo. Thí nghiệm được tiến hành ở nhiệt độ phòng 23 - 25°C.

iii) Ảnh hưởng của thể tích tảo nước đến hiệu suất thu hoạch tảo

Tảo sau khi dùng nuôi cấy được dùng để nghiên cứu thu hoạch. Lấy hỗn hợp nước tảo với các thể tích lần lượt là 50mL; 100mL; 200mL; 500mL; 1L; 2L; 3L; 6L cho vào cốc thủy tinh và bình chứa tảo, đo pH và mật độ quang ban đầu, khuấy bằng cục khuấy từ với tốc độ 100 vòng/phút trên máy khuấy từ. Sau đó nồng độ PACI được thêm vào các bình với các thể tích khác nhau cùng một lượng 0,01g và cho vào khuấy với tảo nước trong vòng 5 phút. Sau đó, hỗn hợp được để lắng 30 phút. Phần nước phía trên tảo lắng được đem đi đo mật độ quang ở bước sóng  $\lambda = 686\text{nm}$ . Giá trị bước sóng đo được thay vào công thức (2) để tính hiệu suất thu hoạch sinh khối tảo. Thí nghiệm được tiến hành ở nhiệt độ phòng 23 - 25°C.

iv) Ảnh hưởng của thời gian lắng đến hiệu suất thu hoạch tảo

Tảo sau khi dùng nuôi cấy được dùng để nghiên cứu thu hoạch. Lấy 50mL hỗn hợp tảo nước cho vào cốc thủy tinh 100mL, đo pH và mật độ quang ban đầu, khuấy bằng cục khuấy từ với tốc độ 100 vòng/phút trên máy khuấy từ. Sau đó lượng PACI được cân với các lượng bằng nhau 0,01g và cho vào khuấy với tảo nước trong vòng 5 phút. Sau đó hỗn hợp được để lắng trong các khoảng thời gian 10, 15, 30, 45, 60 phút. Phần nước phía trên tảo lắng sau mỗi khoảng thời gian lắng được đem đi đo mật độ quang ở bước sóng  $\lambda = 686\text{nm}$ . Giá trị bước sóng đo được được thay vào công thức (2) để tính hiệu suất thu hoạch sinh khối tảo. Thí nghiệm được tiến hành ở nhiệt độ phòng 23 - 25°C.

#### 2.4.2. Nghiên cứu thu hoạch sinh khối tảo *Chorella sorokiniana* và *Scenedesmus acuminatus* bằng phương pháp lọc

Tảo sau khi dùng nuôi cấy được dùng để nghiên cứu thu hoạch. Lấy 50mL hỗn hợp tảo nước cho vào cốc thủy tinh 100mL, đo pH và mật độ quang ban đầu. Chuẩn bị giấy lọc có kích thước lỗ lọc 1 - 3 $\mu\text{m}$  đem sấy trong 1h ở nhiệt độ 105°C sau đó đem đi cân xác định khối lượng giấy lọc ban đầu. Lắp đặt thiết bị lọc, máy hút chân không và bắt đầu lọc tảo. Phần sinh khối tảo được giữ lại trên bề mặt giấy lọc đem đi cân để xác định được độ ẩm, sau đó được đem đi sấy trong tủ sấy ở 80°C trong vòng 24h. Phần nước được tách ra khỏi hỗn hợp tảo nước sau khi lọc được đem đi đo mật độ quang ở bước sóng  $\lambda = 686\text{nm}$ . Giá trị bước sóng đo được được thay vào công thức (2) để tính hiệu suất thu hoạch sinh khối tảo. Thí nghiệm được tiến hành ở nhiệt độ phòng 23 - 25°C.

#### 2.4.3. Nghiên cứu thu hoạch sinh khối tảo *Chorella sorokiniana* và *Scenedesmus acuminatus* bằng phương pháp ly tâm

Tảo sau khi dùng nuôi cấy được dùng để nghiên cứu thu hoạch. Lấy 45mL vào trong ống ly tâm ống Falcon 50mL, cho ly tâm trong thời gian 5; 10 phút, tốc độ ly tâm 5000; 9000 vòng/phút. Sau khi ly tâm, lấy ống ly tâm ra, đem phần nước phía trên tảo lắng đi đo mật độ quang ở bước sóng  $\lambda = 686\text{nm}$ . Giá trị bước sóng đo được được thay vào công thức (2) để tính hiệu suất thu hoạch sinh khối tảo. Thí nghiệm được tiến hành ở nhiệt độ phòng 23 - 25°C.

#### 2.5. Phương pháp phân tích thu hoạch tảo

Hiệu suất thu hoạch tảo được tính theo công thức sau:

$$E_{\text{thu hoạch}} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

Trong đó:

$C_0$ : Nồng độ sinh khối tảo trong hỗn hợp tảo nước trước khi thu hoạch (g/L).

$C_t$ : Nồng độ sinh khối tảo trong hỗn hợp tảo nước sau khi thu hoạch (g/L).

Vì nồng độ sinh khối tảo tỷ lệ với độ hấp thụ quang nên công thức (1) được tính theo công thức tương đương sau:

$$E_{\text{thu hoạch}} = \frac{OD_0 - OD_t}{OD_0} \times 100 \quad (2)$$

Trong đó:

$OD_0$ : Mật độ quang đo của hỗn hợp tảo nước trước khi thu hoạch (Abs).

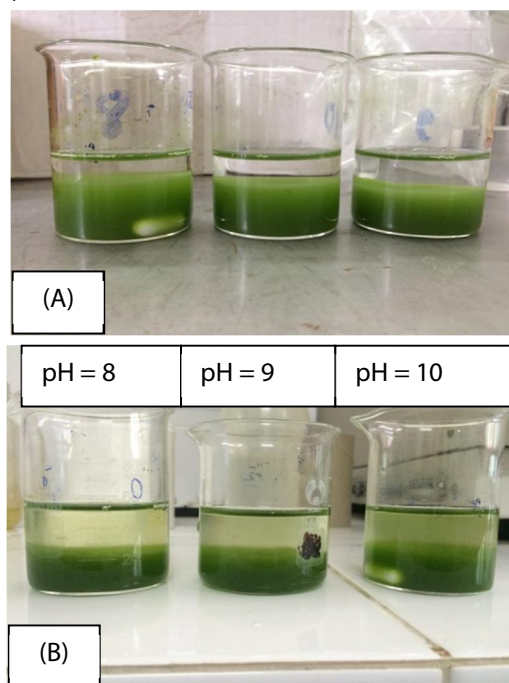
$OD_t$ : Mật độ quang đo của hỗn hợp tảo nước sau khi tảo lắng (Abs).

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Thu hoạch *Chlorella sorokiniana* và *Scenedesmus acuminatus* bằng phương pháp keo tụ hóa học với poly aluminium chloride (PACI)

##### 3.1.1. Ảnh hưởng bởi nồng độ PACI đến hiệu suất thu hoạch tảo

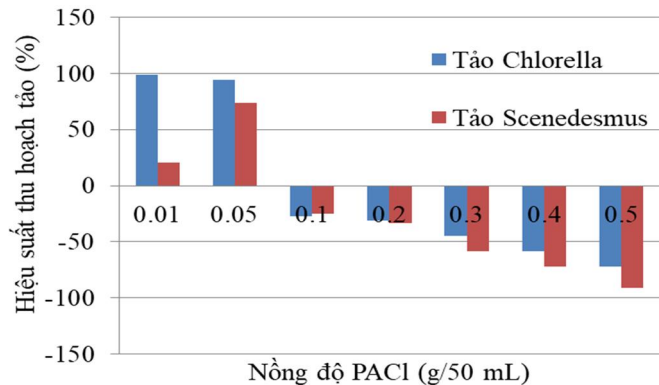
Thí nghiệm keo tụ *Chlorella sorokiniana* và *Scenedesmus acuminatus* được thể hiện như trong hình 1. Nồng độ chất keo tụ là một yếu tố quan trọng nhất ảnh hưởng đến hiệu suất keo tụ tảo của PACI. Với nồng độ PACI thấp, hiệu suất keo tụ không đạt yêu cầu, nhưng nếu thêm PACI với nồng độ cao quá, quá trình keo tụ sẽ không hình thành. Thông thường, có một giá trị nồng độ PACI nào đó tại đó hiệu suất thu hoạch là cao nhất.



Hình 1. Keo tụ của *Chlorella sorokiniana* (A) và *Scenedesmus acuminatus* (B) dùng PACI. Thí nghiệm được thực hiện ở nhiệt độ phòng 23 - 25°C, với thể tích làm việc là 50mL

Số liệu biểu thị ở hình 2 cho thấy nồng độ PACI ở 0,01g/50mL cho hiệu suất thu hoạch *Chlorella sorokiniana* và *Scenedesmus acuminatus* tương ứng là 98,66% và 20,65%. Khi tăng nồng độ PACI lên 0,05g/50mL thì hiệu suất thu hoạch *Chlorella sorokiniana* giảm xuống 94,56%, trong khi đó hiệu suất thu hoạch *Scenedesmus acuminatus* tăng lên 73,95%. Đáng chú ý là khi tăng thêm hàm lượng PACI từ 0,1 - 0,5g/50mL thì hỗn hợp tảo nước trở nên đục hơn, dẫn

đến hiệu suất thu hoạch tính theo công thức (2) là âm. Kết quả thí nghiệm thể hiện, đối với thu hoạch *Chlorella sorokiniana* thì nồng độ PACI tối ưu là 0,01g/50mL tảo (Cho hỗn hợp tảo nước có OD tương đương với từ 1,6 - 1,7; pH = 7,12 ). Còn đối với *Scenedesmus acuminatus* thì nồng độ PACI hợp lý là 0,05g/50 mL (trong hỗn hợp tảo nước có OD tương đương với 1,4 - 1,8 và pH = 8,461).



Hình 2. Ảnh hưởng của nồng độ PACI đến hiệu suất thu hoạch *Chlorella sorokiniana* và *Scenedesmus acuminatus*. Thí nghiệm được tiến hành trong điều kiện *Chlorella* OD<sub>0</sub> = 1,637; pH = 7,12; thời gian lắng là 30 phút; thể tích nước tảo là 50 mL; *Scenedesmus acuminatus* OD<sub>0</sub> = 1,482; pH = 8,461; thời gian lắng là 30 phút; thể tích nước tảo là 50mL. pH không hiệu chỉnh trong thí nghiệm với cả hai loại tảo

**3.1.2. Ảnh hưởng pH đối với hiệu suất thu hoạch tảo**

Số liệu trình bày ở mục 3.1.1 cho thấy, *Chlorella sorokiniana* có thể được thu hoạch với hiệu suất rất cao tại pH tự nhiên sau khi kết thúc quá trình nuôi cấy tảo mà không cần phải điều chỉnh. Điều thuận lợi này giúp giảm giá thành do không cần bổ sung chất điều chỉnh pH (NaOH hoặc HCl). Do vậy, nghiên cứu về ảnh hưởng của pH đối với hiệu suất thu hoạch *Chlorella sorokiniana* là không cần thiết. Mặt khác, đối với *Scenedesmus acuminatus*, nếu dùng luôn pH tự nhiên (pH = 8,461) sau khi nuôi cấy *Scenedesmus acuminatus*, thì hiệu suất thu hoạch tối đa đối với *Scenedesmus acuminatus* chỉ đạt 73,95% ở nồng độ PACI là 0,05g/50mL.

Để nâng cao hiệu suất thu hoạch *Scenedesmus acuminatus*, việc điều chỉnh pH là rất cần thiết giúp quá trình keo tụ *Scenedesmus acuminatus* với PACI tăng lên. Thí nghiệm được mô tả như trên hình 1-B và kết quả thí nghiệm được trình bày ở bảng 1.

Bảng 1. Ảnh hưởng của pH đối với hiệu suất thu hoạch *Scenedesmus acuminatus*

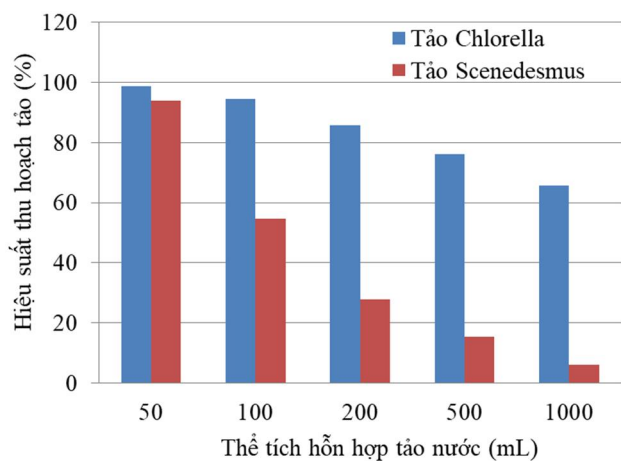
STT	Nồng độ PACI (g/50 mL)	Thể tích tảo (mL)	pH	Nhiệt độ (°C)	Thời gian khuấy (phút)	Thời gian lắng (phút)	OD <sub>0</sub>	OD <sub>t</sub>	Hiệu suất (%)
1	0,05	50	8	23 - 25	5	30	1,482	0,089	93,99
2	0,05	50	9	23 - 25	5	30	1,482	0,103	93,05
3	0,05	50	10	23 - 25	5	30	1,482	0,204	86,23

Theo kết quả tóm tắt trong bảng 1, hiệu suất thu hoạch của *Scenedesmus acuminatus*, tăng lên tối đa là 93,99% tại pH = 8 (điều chỉnh với HCl 1N), và giảm xuống 93,05% và 86,23% tại các pH tương ứng là 9 và 10 (điều chỉnh với NaOH 1N), nhưng vẫn cao hơn 73,95% khi thu hoạch *Scenedesmus acuminatus* ở pH = 8,461 (pH môi trường nuôi tại thời điểm thu hoạch không có sự điều chỉnh).

**3.1.3. Ảnh hưởng của thể tích tảo nước đối với hiệu suất thu hoạch tảo**

Trong thí nghiệm này, thể tích tảo nước được thay đổi từ 50 - 1000mL và PACI được thêm vào với lượng như nhau là 0,01g đối với *Chlorella sorokiniana* và 0,05 g đối với *Scenedesmus acuminatus*, đồng thời thực hiện thay đổi giá trị pH của *Scenedesmus acuminatus* về 8. Quá trình keo tụ sau đó được thực hiện như đã trình bày ở các phần trên.

Số liệu biểu thị ở hình 3 cho thấy, trong khi lượng PACI thêm vào hỗn hợp tảo nước là không thay đổi, thì khi thể tích tảo nước tăng hiệu suất thu hoạch *Chlorella sorokiniana* và *Scenedesmus acuminatus* liên tục giảm. Đối với *Chlorella sorokiniana*, hiệu suất thu hoạch giảm từ 98,66% xuống 65,67% khi thêm cùng lượng 0,01g PACI vào thể tích tảo nước tăng từ tương ứng 50 đến 1000mL. Đối với *Scenedesmus acuminatus*, tốc độ giảm của hiệu suất thu hoạch mạnh hơn từ 93,99% đến 6,07% khi dùng 0,05g PACI thêm vào cùng dải thể tích tảo nước. Như vậy có thể thấy, nồng độ PACI và pH tối ưu cho thu hoạch *Chlorella sorokiniana* và *Scenedesmus acuminatus* tương ứng là 0,01g/50mL, pH tự nhiên và 0,05g/50mL, pH = 8.

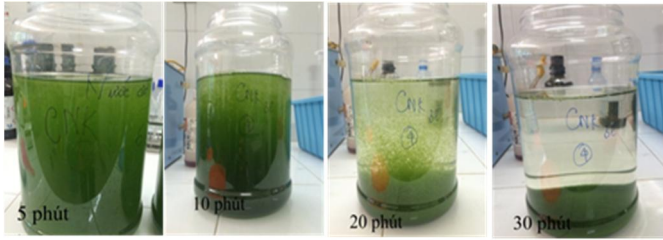


Hình 3. Ảnh hưởng của thể tích tảo nước đối với hiệu suất thu hoạch *Chlorella sorokiniana* và *Scenedesmus acuminatus*

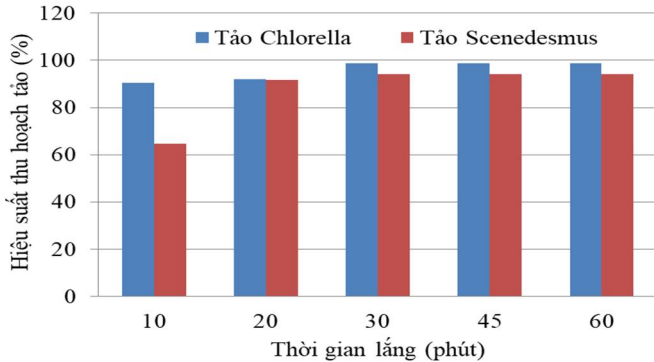
**3.1.4. Ảnh hưởng thời gian lắng đối với hiệu suất thu hoạch tảo**

Thời gian lắng cũng là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến hiệu suất lắng của tảo. Nó là yếu tố gián tiếp ảnh hưởng của tốc độ lắng sau khi keo tụ với PACI. Sau khi PACI được thêm vào hỗn hợp tảo nước, tế bào tảo sẽ tương tác với các ion Al<sup>3+</sup> thủy phân từ PACI và kết thành các bông lớn có khối lượng riêng lớn hơn nước và gây ra quá trình lắng (hình 4). Quá trình kết bông càng nhanh, bông càng lớn thì tốc độ lắng càng nhanh.





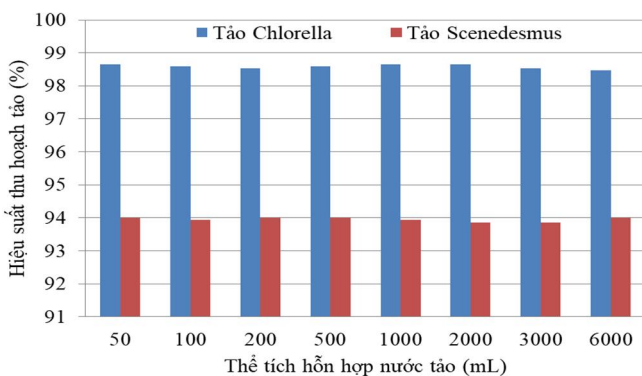
Hình 4. Quá trình keo tụ và lắng của tảo *Chlorella sorokiniana* bởi PACI



Hình 5. Ảnh hưởng của thời gian lắng đối với hiệu suất thu hoạch tảo

Kết quả trình bày trên hình 5 cho thấy, thời gian lắng tối ưu cho *Chlorella sorokiniana* và *Scenedesmus acuminatus* đều là 30 phút sau khi keo tụ với PACI. Nếu giảm thời gian xuống 10 hoặc 20 phút, hiệu suất thu hoạch giảm xuống giá trị tương ứng là 90,53 và 91,88% đối với *Chlorella sorokiniana* và 64,71 và 91,57% đối với *Scenedesmus acuminatus*. Tăng thêm thời gian lắng từ 45 đến 60 phút, hiệu suất thu hoạch *Chlorella sorokiniana* và *Scenedesmus acuminatus* dao động ở khoảng tối đa tương ứng là 98,66 và 93,99%.

Một thí nghiệm khác được tiến hành nhằm xác nhận lại nồng độ, pH và thời gian lắng tối ưu cho thu hoạch tảo với PACI. Số liệu được thể hiện như trên hình 6.

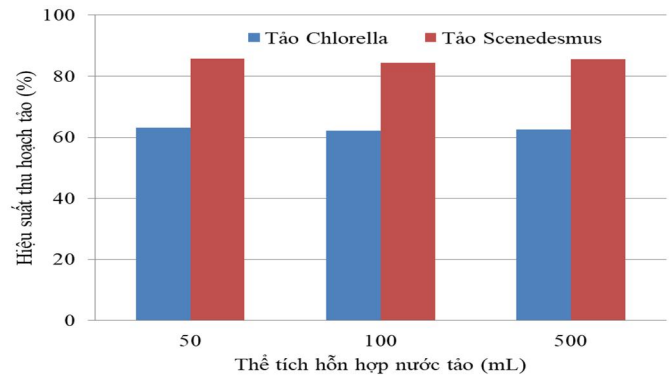


Hình 6. Hiệu suất thu hoạch *Chlorella sorokiniana* và *Scenedesmus acuminatus* tại điều kiện tối ưu. Nồng độ PACI 0,01g/50mL, pH tự nhiên của tảo nước và 30 phút lắng đối với *Chlorella sorokiniana*; nồng độ PACI 0,05g/50mL, pH = 8 và 30 phút lắng đối với *Scenedesmus acuminatus*

Kết quả cho thấy, hiệu suất thu hoạch *Chlorella sorokiniana* ổn định ở khoảng 99% tại nồng độ PACI 0,01g/50mL, pH tự nhiên của tảo nước và 30 phút lắng. Trong khi đó với nồng độ PACI 0,05g/50mL, pH = 8 của tảo nước và 30 phút lắng, hiệu suất thu hoạch *Scenedesmus acuminatus* ổn định ở khoảng 94%.

### 3.2. Thu hoạch *Chlorella sorokiniana* và *Scenedesmus acuminatus* bằng phương pháp lọc

Phương pháp lọc thu hoạch tảo *Chlorella sorokiniana* và *Scenedesmus acuminatus* được thí nghiệm với các thể tích tảo nước là 50, 100, 500mL. Kết quả trình bày trên hình 7 cho thấy, hiệu suất thu hoạch của *Chlorella sorokiniana* và *Scenedesmus acuminatus* đạt tương ứng là 63% và 85% đối với thể tích tảo nước dùng nghiên cứu là 50 - 500mL. Hiệu suất thu hoạch *Scenedesmus acuminatus* cao hơn *Chlorella sorokiniana* là do kích thước tế bào tảo *Scenedesmus acuminatus* (10µm) lớn hơn *Chlorella sorokiniana* (2 - 4µm).

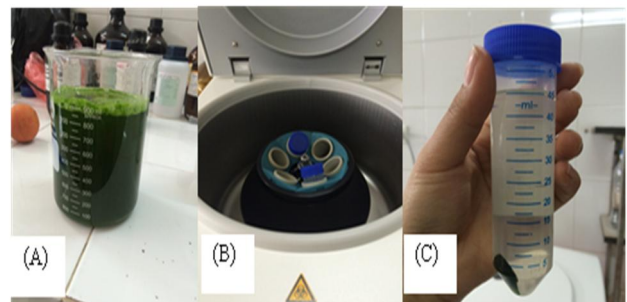


Hình 7. Hiệu suất thu hoạch *Chlorella sorokiniana* và *Scenedesmus acuminatus* bằng phương pháp lọc. Thí nghiệm được tiến hành trong điều kiện *Chlorella*  $OD_0 = 1,637$ ; pH = 7,12; thời gian lọc là 2 - 5 phút; thể tích nước tảo từ 50 - 500mL; *Scenedesmus acuminatus*  $OD_0 = 1,482$ ; pH = 8,461; thời gian lọc là 2 - 5 phút; thể tích nước tảo từ 50 - 500mL

Hiệu suất thu hoạch tảo *Chlorella sorokiniana* và *Scenedesmus acuminatus* bằng phương pháp lọc thấp hơn so với phương pháp keo tụ với PACI là do hỗn hợp tảo nước có chứa vô số tế bào tảo có kích thước trung bình 2 - 3µm, dễ dàng lọt qua lỗ lọc và chỉ được tận thu được khi keo tụ với PACI tạo thành các bông lớn và lắng xuống.

### 3.3. Thu hoạch *Chlorella sorokiniana* và *Scenedesmus acuminatus* bằng phương pháp ly tâm

Ly tâm là phương pháp vật lý cổ điển phổ biến nhất để thu hoạch các sản phẩm sinh học có kích thước bé micron. Vi tảo rất thích hợp với phương pháp thu hoạch này. Tuy nhiên vận hành máy ly tâm thường rất tốn kém và thể tích làm việc thường là nhỏ, nên ly tâm chủ yếu chỉ dùng trong nghiên cứu ở phòng thí nghiệm.



Hình 8. Quy trình thu hoạch tảo bằng máy ly tâm. (A) tảo nước sau kết thúc quá trình nuôi cấy, (B) tảo được đóng vào ống ly tâm Falcon 50mL và đặt vào khay rotor ly tâm, (C) tảo lắng xuống đáy ống ly tâm sau khi ly tâm

Tốc độ lắng của tảo bằng phương pháp ly tâm phụ thuộc vào tốc độ và thời gian ly tâm. Bảng 2 và 3 trình bày số liệu hiệu suất thu hoạch *Chlorella sorokiniana* và *Scenedesmus acuminatus* trong hai điều kiện tốc độ và thời gian ly tâm tương ứng là 5; 10 phút và 5000; 9000 vòng/phút. Kết quả cho thấy, tốc độ ly tâm thay đổi từ 5000 vòng/phút lên 9000 vòng/phút, hoặc thời gian ly tâm đặt ở mức 5 hoặc 10 phút không làm ảnh hưởng nhiều đến hiệu suất thu hoạch *Chlorella sorokiniana*, với giá trị chỉ dao động trong khoảng 96,88 - 99,21% (bảng 2). Tương tự như vậy, hiệu suất thu hoạch *Scenedesmus acuminatus* dao động trong khoảng 97,17 - 99,19% (bảng 3).

Bảng 2. Hiệu suất thu hoạch tảo *Chlorella sorokiniana* bằng phương pháp ly tâm

STT	Thể tích tảo (mL)	pH	Nhiệt độ (°C)	Tốc độ ly tâm (vòng/phút)	Thời gian ly tâm (phút)	OD <sub>0</sub>	OD <sub>t</sub>	Hiệu suất (%)
1	45	7,12	23 - 25	9000	5	1,637	0,023	98,59
2	45	7,12	23 - 25	9000	10	1,637	0,013	99,21
3	45	7,12	23 - 25	5000	5	1,637	0,051	96,88
4	45	7,12	23 - 25	5000	10	1,637	0,024	98,53

OD<sub>0</sub>: Mật độ quang của hỗn hợp tảo nước đo được trước khi ly tâm

OD<sub>t</sub>: Mật độ quang của hỗn hợp tảo nước đo được phần nước phía trên sau khi ly tâm

Bảng 3. Hiệu suất thu hoạch tảo *Scenedesmus acuminatus* bằng phương pháp ly tâm

STT	Thể tích tảo (mL)	pH	Nhiệt độ (°C)	Tốc độ ly tâm (vòng/phút)	Thời gian ly tâm (phút)	OD <sub>0</sub>	OD <sub>t</sub>	Hiệu suất (%)
1	45	8,461	23 - 25	9000	5	1,482	0,027	98,18
2	45	8,461	23 - 25	9000	10	1,482	0,012	99,19
3	45	8,461	23 - 25	5000	5	1,482	0,042	97,17
4	45	8,461	23 - 25	5000	10	1,482	0,025	98,31

OD<sub>0</sub>: Mật độ quang của hỗn hợp tảo nước đo được trước khi ly tâm

OD<sub>t</sub>: Mật độ quang của hỗn hợp tảo nước đo được phần nước phía trên sau khi ly tâm

### 3.4. Đánh giá hiệu quả và so sánh hiệu suất thu hoạch của hai loại tảo *Chlorella sorokiniana* và *Scenedesmus acuminatus*

Nếu đánh giá về các yếu tố kinh tế và kỹ thuật cho từng phương pháp, thì lượng tảo nước cần thu hoạch cố định là 50L. Yếu tố kỹ thuật và kinh tế được tóm tắt trong bảng 4.

Bảng 4. Tổng hợp các thông số kinh tế và kỹ thuật thu hoạch 50L tảo nước bằng keo tụ hóa học với PACI, lọc và ly tâm

Phương pháp	Tảo	Hóa chất/vật liệu	Thời gian (phút)	Hiệu suất (%)	Tiêu tốn năng lượng (KW)
Keo tụ với	<i>Chlorella sorokiniana</i>	PACI = 10 g	<60	>95	Rất nhỏ

PACI	<i>Scenedesmus acuminatus</i>	PACI = 50 g	<60	>94	Rất nhỏ
Lọc với màng lọc 30 cm	<i>Chlorella sorokiniana</i>	Màng lọc 30cm	<60	>60	~1,1
	<i>Scenedesmus acuminatus</i>	Màng lọc 30cm	<60	>80	~1,1
Ly tâm với máy ly tâm Continent 512R Plus	<i>Chlorella sorokiniana</i>	Không	>50	>95	~1,7
	<i>Scenedesmus acuminatus</i>	Không	>50	>95	~1,7

Như vậy, mặc dù chưa thể tính toán hết các chi phí kinh tế. Tuy nhiên qua các thông tin liệt kê ở bảng 4 và 5 cho thấy, phương pháp keo tụ với PACI thu hoạch tảo là rẻ nhất, hiệu suất cao và thời gian thu hoạch nhanh. Phương pháp ly tâm cho hiệu suất cao nhưng tốn năng lượng và khó áp dụng đối với lượng tảo nước lớn. Còn phương pháp lọc, hiệu suất thu hoạch trung bình, tốn năng lượng nhưng vẫn có thể áp dụng trong công nghiệp vì có thể lọc liên tục và thay màng lọc khi bị tắc.

Bảng 5. Một số thông số khác phục vụ tính toán kinh tế kỹ và kỹ thuật áp dụng cho ba phương pháp keo tụ hóa học với PACI, lọc và ly tâm

Hóa chất /vật liệu /máy móc	Đơn giá	Chế độ/công suất	Model	Công ty sản xuất/bán
PACI	25 đ/g	-	-	Cửa hàng Hóa chất 25 Hàng Nón, Hà Nội
Màng lọc 30 cm	5,000 đ/tờ	-	-	STECH INTERNATIONAL Co., Ltd, Việt Nam
Máy lọc chân không cho màng lọc 30 cm	-	Dung tích 30 L Công suất: 1,1 KW	LG-30	Jinan Zhennuo Machinery Co., Ltd., Trung Quốc
Máy ly tâm Continent 512R Plus	-	Loại 6 ống ly tâm (1L) Tốc độ: 5000 vòng/phút Công suất: 1,7 KW	Continent 512R Plus	BP Integrated Technologies, Inc., Philipin

Những phân tích về kết quả thu hoạch hai vi tảo điển hình *Chlorella sorokiniana* và *Scenedesmus acuminatus* và các yếu tố kinh tế kỹ thuật của các phương pháp thu hoạch cho thấy, tùy vào mục đích sử dụng sinh khối tảo mà dùng phương pháp thu hoạch cho phù hợp. Trong công nghệ xử lý nước thải, để giảm chi phí đầu tư, thu hoạch tảo cũng nên ứng dụng phương pháp rẻ tiền, dễ áp dụng mà vẫn thu được hiệu quả thu hoạch cao và nước đạt tiêu chuẩn xả ra môi trường. Keo tụ với PACI là phù hợp cho thu hoạch tảo nuôi trong nước thải, với mục đích sử dụng sinh khối làm phân bón, hoặc chiết lipids để sản xuất nhiên liệu sinh học, hoặc ủ hầm biogas để sản xuất methane.

### 4. KẾT LUẬN

Hai chủng vi tảo *Chlorella sorokiniana* và *Scenedesmus acuminatus* được nuôi trong nước thải đô thị để loại bỏ các

chất ô nhiễm carbon, nitơ, photpho và được thu hoạch dùng hai phương pháp đông keo tụ hóa học với PACI và vật lý (lọc và ly tâm). Đối với *Chlorella sorokiniana*, nồng độ PACI tối ưu là 0,01g/50 mL tảo (cho hỗn hợp tảo nước có OD tương đương với từ 1,6 - 1,7; pH = 7,12 ). Còn đối với *Scenedesmus acuminatus* thì nồng độ PACI hợp lý là 0,05g/5mL (trong hỗn hợp tảo nước có OD tương đương với 1,4 - 1,8 và pH = 8,461). Với nồng độ PACI đã được xác định, hiệu suất thu hoạch của *C. sorokiniana* và *S. acuminatus* đạt đạt tương ứng là trên 99% và 94% trong thời gian lắng là 30 phút. Phương pháp lọc cho hiệu suất thu hoạch *Chlorella sorokiniana* và *Scenedesmus acuminatus* đạt trung bình (60 - 80%), trong khi đó ly tâm cho hiệu suất cao (trên 95%), nhưng tốn năng lượng và chỉ phù hợp với thu hoạch tảo sử dụng trong công nghiệp thực phẩm, mỹ phẩm, dược phẩm. Như vậy, phương pháp keo tụ dùng PACI mang lại hiệu suất thu hoạch cao, nhanh, rẻ và dễ áp dụng. Nó hoàn toàn phù hợp để tích hợp thành bước cuối cùng trong công nghệ xử lý nước thải dùng vi tảo.

### LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Học viện Khoa học và Công nghệ trong đề tài mã số GUST.STS.ĐT2017-ST03.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Lê Văn Cát, 2007. *Xử lý nước thải giàu hợp chất Nitơ và Photpho*. Nhà xuất bản Khoa học Tự nhiên và Công nghệ Hà Nội.
- [2] Li Y., Chen Y.F., Chen P., Min M., Zhou W., Martinez B., et al., 2011. *Characterization of a microalga Chlorella sp. well adapted to highly concentrated municipal wastewater for nutrient removal and biodiesel production*. *Bioresource Technology* 102, 5138-5144.
- [3] Selvaratnam T., Henkanatte-Gedera S.M., Muppaneni T., Nirmalakhandan N., Deng S., Lammers P.J., 2016. *Maximizing recovery of energy and nutrients from urban wastewaters*. *Energy* 104,16-23.
- [4] Cai T., Park S.Y., Li Y., 2013. *Nutrient recovery from wastewater streams by microalgae: Status and prospects*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 19, 360-369.
- [5] González L.E., Cañizares R.O., Baena S., 1997. *Efficiency of ammonia and phosphorus removal from a colombian agroindustrial wastewater by the microalgae Chlorella vulgaris and Scenedesmus dimorphus*. *Bioresource Technology* 60, 259-262.
- [6] Mulbry W., Kondrad S., Pizarro C., Kebede-Westhead E., 2008. *Treatment of dairy manure effluent using freshwater algae: algal productivity and recovery of manure nutrients using pilot-scale algal turf scrubbers*. *Bioresource Technology* 99, 8137-8142.
- [7] Park J.B.K., Craggs R.J., Shilton A.N., 2011. *Wastewater treatment high rate algal ponds for biofuel production*. *Bioresource Technology* 102, 35-42.

- [8] Alam M.A, Vandamme D., Chun W., Zhao X., Foubert I., Wang Z., et al., 2016. *Bioflocculation as an innovative harvesting strategy for microalgae*. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 15, 573-583.

### AUTHORS INFORMATION

**Pham Thi Mai<sup>1</sup>, Doan Thi Bich Hoa<sup>1</sup>, Tran Dang Thuan<sup>1</sup>,  
Nguyen Thi Huong<sup>2</sup>, Pham Thi Mai Huong<sup>2</sup>, Nguyen Quang Tung<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institute of Chemistry, Vietnam Academy of Science and Technology

<sup>2</sup>Faculty of Chemical Technology, Hanoi University of Industry