Vietnam J. Agri. Sci. 2016, Vol. 14, No. 11: 1773-1780 Tạp chí KH Nông nghiệp Việt Nam 2016, tập 14, số 11: 1773-1780
www.vnua.edu.vn

NGHIÊN CỨU ÁP DỤNG KỸ THUẬT LỌC MÀNG ĐỂ THU VI TẢO NUÔI TRỒNG TỪ NƯỚC THẢI CHĂN NUÔI LỢN

Đỗ Khắc Uẩn[1*], Đoàn Thị Thái Yên[1], Nguyễn Tiến Thành[2]

[1]Viện Khoa học và Công nghệ Môi trường, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội
[2]Viện Công nghệ Sinh học - Công nghệ thực phẩm, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

Email[*]: uan.dokhac@hust.edu.vn

Ngày gửi bài: 24.02.2016 Ngày chấp nhận: 20.11.2016

TÓM TẮT

Hiện nay, thu hoạch tảo để phát triển nhiên liệu sinh học đang được nghiên cứu và đưa vào thực nghiệm với nhiều phương pháp khác nhau như lọc, ly tâm, tuyển nổi, keo tụ… Trong nghiên cứu này tiến hành đánh giá khả năng ứng dụng của màng lọc vào thu hoạch vi tảo. Nghiên cứu được thực hiện bằng hệ thống nhỏ, thể tích 1 l sử dụng màng sợi rỗng với diện tích bề mặt 0,065 m^2, kích thước lỗ mao quản 0,2 μm. Trong quá trình thí nghiệm, sử dụng hệ thống sục khí nhằm giảm lượng tảo bám trên bề mặt màng lọc, giảm hiện tượng tắc màng lọc. Khi tăng cường độ sục khí từ 0 - 0,315 l/cm^2.phút thì năng suất lọc tăng, trở lực giảm. Khi cường độ sục khí nhỏ hơn 0,189 l/cm^2.phút, năng suất lọc giảm và trở lực tăng rất nhanh. Khi cường độ sục khí lớn hơn 0,189 l/cm^2.phút, năng suất lọc và trở lực thay đổi không đáng kể. Quá trình lọc màng nên duy trì theo chế độ 5 phút hút: 5 phút nghỉ để đảm bảo năng suất lọc và áp suất hút ổn định. Mật độ sinh khối tảo cũng gây ảnh hưởng lớn đến năng suất lọc và áp suất hút. Các kết quả thu được cho thấy có thể ứng dụng màng lọc vào việc thu hồi sinh khối tảo, mở ra một hướng phát triển mới cho công nghệ màng, đồng thời là một phương pháp thu hồi vi tảo rất hiệu quả.

Từ khóa: Lọc màng, năng suất lọc, nước thải chăn nuôi, thu hoạch, vi tảo.

Application of Membrane Filtration to Harvest Microalgae Cultivated from Piggery Wastewater

ABSTRACT

Currently, many methods such as filtration, centrifugation, flotation, and flocculation for harvesting algae for biofuel production development have been studied. In this study, application of membrane filtration to harvest microalgae was evaluated in a lab-scale system. The working volume of the system was 1 l. A hollow fiber membrane (with the surface of 0.065 m^2, pore size of 0.2 μm) was submerged in the system. During the experiment, the air was supplied to prevent the membrane fouling due to the attachment of the micoralgae on the membrane surface. As a result, when the air intensity increased from 0 to 0.315 l/cm^2.min, the flux increased and the transmembrane pressure decreased. When the air intensity was lower than 0.189 l/cm^2.min, the flux decreased and the transmembrane pressure increased rapidly. When the air intensity was maintained higher than 0.189 l/cm^2.min, the flux and the transmembrane pressure were relatively constant. Operational mode of suction pump should be maintained at 5 min on: 5 min off to keep the flux and the transmembrane pressure stable. During opertation, microalgae concentration significantly affected the flux and the transmembrane pressure. In conclusion, membrane filtration could be applied to harvest the microalgae. During operation, the air intensity should be maintained higher than 0.189 L/cm^2.min to help the filtration longer. Membrane filtration could be an effective method for harvesting microalgae.

Keywords: Flux, harvest, membrane filtration, microalgae, piggery wastewater.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm gần đây, hình thức chăn nuôi ở Việt Nam có sự chuyển đổi từ nhỏ lẻ theo hộ gia đình sang tập trung theo quy mô trang trại. Sự phát triển của các trang trại chăn nuôi lợn dẫn đến nguy cơ gây ô nhiễm môi trường cao, đặc biệt là nước thải phát sinh từ các công đoạn tắm cho lợn, rửa chuồng, cọ, rửa máng ăn, vệ sinh dụng cụ, nước tiểu của lợn (Nguyễn Thị Thùy Dung và cs., 2015). Nước thải chăn nuôi lợn ở Việt Nam hiện nay chủ yếu được xử lý bằng phương pháp lên men yếm khí chưa loại trừ được các dưỡng chất N, P (Nguyen Duc Long *et al.*, 2013, Lê Văn Cát, 2007). Nguồn dưỡng chất N, P này có thể được hấp thu bởi các vi tảo. Thông qua quang hợp, vi tảo sử dụng ánh sáng mặt trời và hấp thu dưỡng chất N, P từ nước thải để cố định trong sinh khối tảo. Nhiều nghiên cứu gần đây ứng dụng vi tảo như *C. vulgaris* và *C. pyrenoidosa* để xử lý nước thải chăn nuôi lợn cho kết quả tốt (Travieso *et al.*, 2006, Wang *et al.*, 2010, Wang *et al.*, 2012). Trong những năm gần đây, ở Việt Nam cũng đã bắt đầu chú ý đến hướng xử lý nước thải chăn nuôi lợn bằng vi tảo và đã có những kết quả ban đầu khả quan, góp phần mở ra một phương pháp xử lý nước thải chăn nuôi có tính khả thi cao (Đặng Đình Kim và cs., 2011, Nguyen Duc Long *et al.*, 2013). Việc nuôi trồng và thu hoạch vi tảo để sản xuất nhiên liệu sinh học có ý nghĩa lớn trong giai đoạn khủng hoảng năng lượng như hiện nay (Andersen, 2005, Nguyen Thi Hong Minh and Vu Van Hanh, 2012). Việc thu tảo để phát triển nhiên liệu sinh học đã được nghiên cứu và đưa vào thực nghiệm với nhiều phương pháp khác nhau như: lọc, ly tâm, keo tụ,… (Dinh Trinh Thanh Xuan, 2010). Tuy nhiên, các phương pháp này bộc lộ nhiều hạn chế, mỗi phương pháp đều gặp phải một số hạn chế nhất định. Phương pháp lọc bằng vật liệu lọc thông thường dễ bị tắc khi các tế bào dính kết với nhau thành khối lớn, bít kín các lỗ vật liệu lọc (Nguyen Duc Long *et al.*, 2013); phương pháp ly tâm tiêu tốn năng lượng lớn (Travieso *et al.*, 2006); phương pháp keo tụ sẽ có một lượng hóa chất bị giữ lại trong sinh khối, làm ảnh hưởng đến chất lượng sinh khối hoặc phải mất thêm công đoạn để tách hóa chất ra khỏi sinh khối thu được (Wang *et al.*, 2012).

Trong những năm gần đây, màng vi lọc được nghiên cứu và ứng dụng trong xử lý nước thải để tách, lọc các thành phần như các hạt rắn, vi khuẩn, bùn,… hoặc dùng để tách nấm men, tinh bột trong chế biến thực phẩm do màng vi lọc có phân bố kích thước lỗ mao quản nhỏ, khoảng 0,08 - 2 μm (Jørgen, 2001, Enegess *et al.*, 2003, Nywening and Husain, 2007, Cao Thế Hà, 2007, Do Khac Uan and Dang Kim Chi, 2008). Như vậy, có thể ứng dụng kỹ thuật lọc màng để tách vi tảo vì các loại vi tảo thường có kích thước trung bình trên 2 μm (Travieso *et al.*, 2006), Trong quá trình lọc, vi tảo sẽ được màng lọc giữ hoàn toàn, chỉ có phần nước trong được hút ra nên hàm lượng vi tảo trong dung dịch sẽ tăng dần lên đạt đến hàm lượng cần dùng cho các mục đích sử dụng khác nhau.

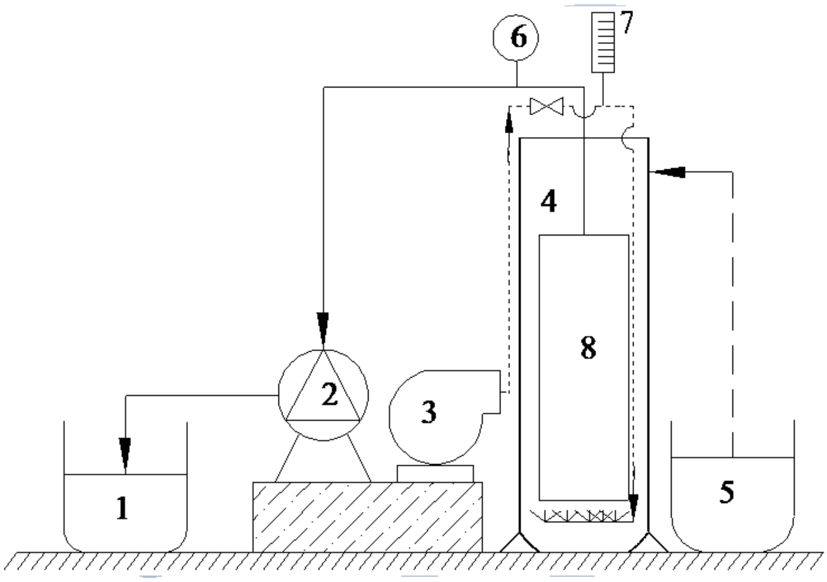
Do đó, đánh giá khả năng ứng dụng kỹ thuật lọc màng thu hồi vi tảo làm nguyên liệu cho phát triển nhiên liệu sinh học sẽ nhằm mục đích nghiên cứu khả năng sử dụng màng lọc để thu hồi vi tảo trong quy mô phòng thí nghiệm, đồng thời nghiên cứu hướng đến tìm kiếm phương pháp thu hoạch vi tảo hiệu quả, trên cơ sở đó có thể mở rộng phương pháp này để áp dụng cho các qui mô lớn hơn, tạo một bước ngoặt lớn trong công nghệ sản xuất nhiên liệu sinh học từ vi tảo.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu nghiên cứu

Hệ thống dùng trong nghiên cứu biểu diễn trên hình 1. Màng lọc dạng sợi rỗng được nối với chân không kế để đo trở lực của màng khi lọc. Bơm được nối ở đầu ra để thu nước trong màng. Lưu lượng kế có 1 đầu nối với máy thổi khí và 1 đầu nối với đầu phân phối khí ở phía dưới màng lọc nhằm làm giảm các lớp bám trên bề mặt của màng để tránh không gây ra hiện tượng tắc màng. Lưu lượng sục khí đọc trên lưu lượng kế. Màng sợi rỗng (là sản phẩm thương mại, do Công ty Hyosung, Hàn Quốc cung cấp) có diện tích bề mặt là 0,065 m^2, kích thước lỗ mao quản là 0,2 μm có khả năng cho nước và các phân tử có kích thước nhỏ hơn 0,2 μm đi qua màng, các tế bào vi tảo có kích thước lớn hơn kích thước của lỗ màng sẽ bị giữ lại không cho qua màng.

Tảo dùng trong nghiên cứu là *Chlorella vulgaris* B5, tế bào hình ellip đến hình cầu, chiều dài tế bào 3 - 4,2 μm, chiều rộng 2 - 3,4 μm, được lấy từ bể nuôi với thể tích khoảng 45 L.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống thí nghiệm

Ghi chú: 1. Thùng chứa nước ra; 2. Bơm hút; 3. Máy thổi khí; 4. Bình chứa tảo và màng lọc; 5. Thùng chứa dung dịch tảo đầu vào; 6. Áp kế; 7. Lưu lượng kế; 8. Màng lọc.

Trước khi đưa vào bể nuôi, tảo được nhân giống trong các bình tam giác và bình nhựa lớn trên phòng thí nghiệm, sau đó đem xuống bể lớn nuôi trong môi trường nước thải nuôi lợn pha loãng, có COD dao động trong khoảng 300 - 500 mg/L. Dung dịch tảo dùng cho thí nghiệm thu hoạch được lấy sau khi nuôi trong nước thải chăn nuôi khoảng 4 - 5 ngày.

2.2. Bố trí thí nghiệm

Xác định ảnh hưởng của cường độ sục khí đến quá trình lọc của màng: Ứng với các mức sục khí là 0, 1, 2, 3, 4, 5 l/phút, sử dụng 1,5 l tảo và lọc trong thời gian 55 phút. Ghi lại thể tích nước lọc thu được và sự thay đổi áp suất hút trên đồng hồ đo áp.

Xác định ảnh hưởng của chế độ vận hành đến quá trình lọc của màng: thay đổi các chế độ vận hành là 30s:30s, 1:1, 2:2, 5:5, 10:1, 10:2, 10:5 (tức là 30 giây hút: 30 giây nghỉ, 1 phút hút: 1 phút nghỉ ...).

Các thí nghiệm này được tiến hành độc lập từng điều kiện. Sau mỗi điều kiện thí nghiệm, màng lọc được lấy ra rửa sạch bằng nước và ngâm trong dung dịch NaOCl 3% trong thời gian 30 phút, sau đó được rửa lại bằng nước cất để đảm bảo khả năng lọc của màng không bị ảnh hưởng sau mỗi thí nghiệm. Sau mỗi lần rửa, màng lọc sẽ được kiểm trả khả năng lọc bằng cách lọc nước sạch để đánh giá khả năng phục hồi của màng lọc. Nếu khả năng lọc bị suy giảm thì sẽ phải thay màng lọc khác có đảm bảo khả năng lọc giống nhau giữa các thí nghiệm.

2.3. Đánh giá kết quả thí nghiệm

Năng suất lọc được xác định theo công thức: $F = Q/S$ ($l/m^2.h$). Trong đó: F: năng suất lọc của màng ($l/m^2.h$). S: diện tích bề mặt màng lọc (m^2). Q: Lưu lượng nước ra (l/h). Với $Q = V/t$ (l/h), V: thể tích nước ra thu được (l), t: thời gian lọc (h). Áp suất hút được xác định bằng cách đọc giá trị thay đổi trên đồng hồ áp kế (chân không kế) lắp trên đường ống hút nối từ màng lọc và bơm hút. Cường độ sục khí được xác định theo công thức: $I = v/A$ (l/cm^2.phút). Trong đó: I: cường độ sục khí (l/cm^2.phút). v: lưu lượng khí (l/phút). A: diện tích bề mặt thiết bị được sục khí (cm^2).

Xác định hàm lượng vi tảo bằng phương pháp ly tâm: Dung dịch tảo được lắc đều, dùng bình định mức lấy 50 ml dung dịch tảo cho vào ống ly tâm lớn, đậy nắp thật chặt và cho vào máy ly tâm, ly tâm với tốc độ 7.000 vòng/phút trong thời gian 5 phút. Sau khi ly tâm, đổ hết phần nước trong trong ống, giữ lại phần sinh khối tảo đã lắng trong ống. Cho nước cất vào lắc cho sinh khối tảo tan hết rồi đổ hỗn hợp này vào ống ly tâm nhỏ. Các ống ly tâm nhỏ trước đó được rửa sạch và sấy khô ở 105ºC trong 2 h, để nguội trong tủ hút ẩm rồi đem cân để xác định khối lượng ban đầu của ống. Bên cạnh đó, trong nghiên cứu cũng tiến hành xác định mật độ tảo bằng phương pháp đếm trực tiếp bằng buồng đếm hồng cầu Neubauer cải tiến (Improved Neubauer, Đức).

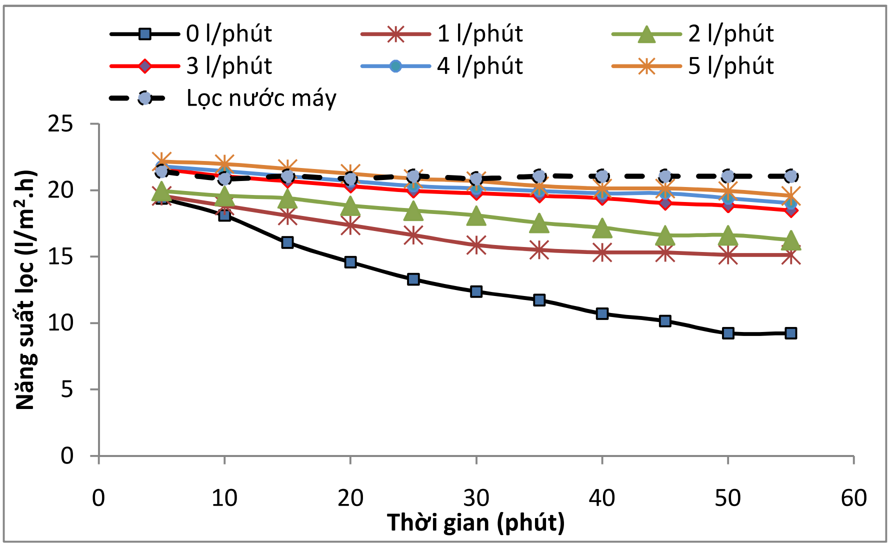
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của cường độ sục khí đến năng suất lọc và áp suất hút

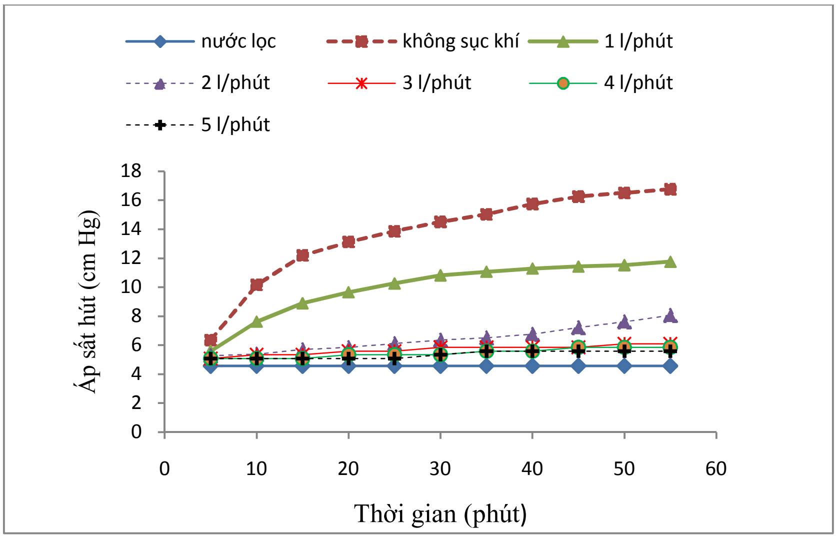
Hình 2 biểu diễn ảnh hưởng của cường độ sục khí đến năng suất lọc. Từ hình 2 cho thấy, khi lọc nước máy năng suất lọc rất ổn định, khoảng 21 $l/m^2.h$. Khi bắt đầu lọc tảo và thay đổi chế độ sục khí từ 0 - 5 l/phút ứng với cường độ sục khí là 0 - 0,315 l/cm^2.phút năng suất lọc thay đổi. Khi cường độ sục khí nhỏ hơn 0,189 $l/cm^2.h$ năng suất lọc giảm rất nhanh. Tuy nhiên khi cường độ sục khí tăng từ 0,189 - 0,315 l/cm^2.phút, năng suất lọc giảm không đáng kể, cho thấy ở giai đoạn này khi tăng cường độ sục khí thì năng suất lọc vẫn ổn định. Do vậy, cường độ sục khí tối thiểu có thể chấp nhận trong quá trình lọc màng thu vi tảo nên duy trì ở mức 0,189 $l/cm^2.h$, tương ứng với tốc độ sục khí 3 l/phút.

Khi quá trình lọc diễn ra liên tục, tảo sẽ bám trên bề mặt màng làm tắc màng lọc, khi đó áp suất hút tăng lên, giá trị này được đọc trên chân không kế. Muốn khắc phục nhược điểm này cần tiến hành sục khí để kéo dài thời gian vận hành (Đỗ Khắc Uẩn và Yeom, 2012). Dựa vào đồ thị hình 3 cho thấy áp suất hút ở mỗi chế độ sục khí luôn có xu hướng tăng theo thời gian vận hành, tuy nhiên sự tăng này tỉ lệ nghịch với cường độ sục khí, tức là khi cường độ sục khí tăng thì áp suất hút giảm và ngược lại. Cường độ sục khí nhỏ hơn 0,189 l/cm^2.phút áp suất hút tăng rất nhanh, khi cường độ sục khí lớn hơn 0,189 l/cm^2.phút áp suất hút tăng chậm, điều này giải thích rằng muốn màng không bị tắc cần duy trì cường độ sục khí lớn hơn 0,189 l/cm^2.phút. Tuy nhiên với cùng một tốc độ sục khí, cường độ sục khí càng lớn khi diện tích bề mặt được sục khí hướng lên trên càng nhỏ, vì vậy cần lưu ý trong quá trình lắp đặt và thiết kế để cường độ sục khí lớn nhất.

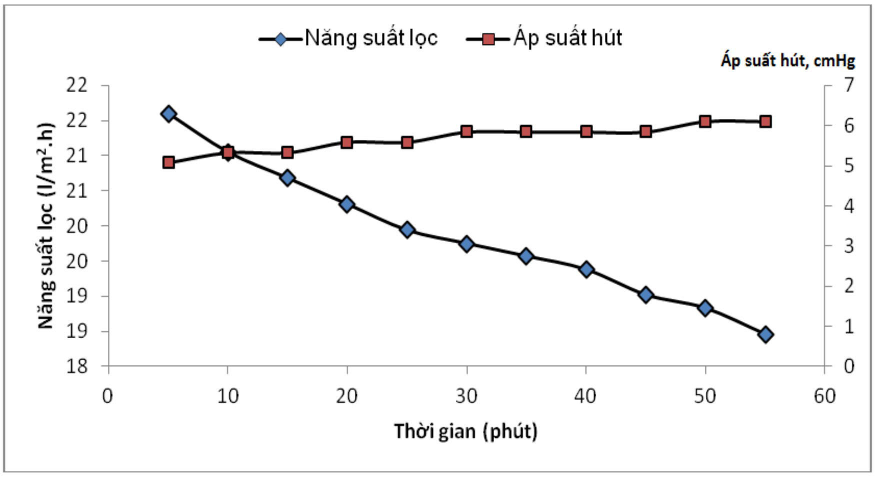
Nghiên cứu đã chỉ ra ảnh hưởng của từng cường độ sục khí đến năng suất lọc và áp suất hút, đồng thời để năng suất lọc và áp suất hút ổn định thì cường độ sục khí phải lớn hơn 0,189 l/cm^2.phút, đây được xem là giá trị tới hạn để hạn chế vấn đề tắc màng. Trên cơ sở đó, ta có



Hình 2. Ảnh hưởng của cường độ sục khí đến năng suất lọc



Hình 3. Ảnh hưởng của cường độ sục khí đến trở lực



Hình 4. Quan hệ giữa năng suất lọc và áp suất hút theo thời gian vận hành

mối quan hệ giữa năng suất lọc và áp suất hút theo thời gian vận hành theo hình 4. Trong 55 phút khảo sát khi vận hành ở chế độ 0,189 L/cm^2.phút thì năng suất lọc thay đổi từ 21 L/m^2.h xuống 18 L/m^2.h, áp suất hút tăng từ 5,1 - 6,1 cmHg. Như vậy, ở chế độ sục khí này thì năng suất lọc và áp suất hút tương đối ổn định và có thể áp dụng trong quá trình thu hoạch tảo tiếp theo.

3.2. Ảnh hưởng của chế độ vận hành đến quá trình lọc

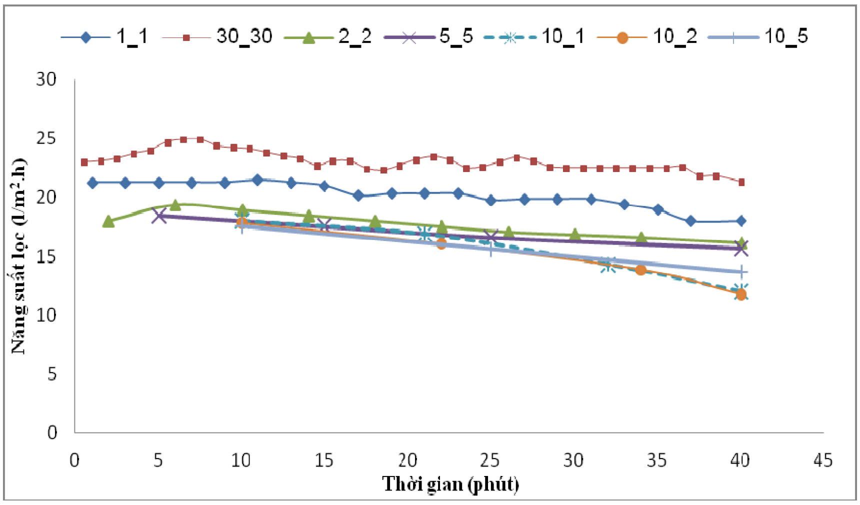
Thực hiện thí nghiệm với các chế độ vận hành khác nhau. Từ đồ thị hình 5 cho thấy năng suất lọc của các chế độ vận hành là tương đối ổn định, tuy nhiên có sự chênh lệch rất lớn giữa các chế độ vận hành với nhau. Ở chế độ 30 s hút: 30 s nghỉ thì năng suất lọc cao nhất và ổn định, dao động rất nhỏ trong khoảng 20 - 25 L/m^2.h. Ở chế độ 1 phút hút: 1 phút nghỉ, 2 phút hút: 2 phút nghỉ và 5 phút hút: 5 phút nghỉ cũng tương đối ổn định, tuy nhiên năng suất lọc đã bị giảm đi đáng kể so với chế độ 30 s hút: 30 s nghỉ. Ở chế độ 10 phút hút: 1 phút nghỉ và 10 phút hút: 2 phút nghỉ có năng suất lọc giảm rất nhanh, khoảng biến động còn lớn hơn so với chế độ 10 phút hút: 5 phút nghỉ, lúc này năng suất lọc đã giảm đi 1 nửa so với chế độ 30 phút hút: 30 phút nghỉ và chỉ còn khoảng 13 L/m^2.h. Điều đó cho thấy năng suất lọc phụ thuộc rất lớn vào chế độ làm việc của màng, nếu màng làm việc liên tục với thời gian nghỉ ngắn thì năng suất lọc bị suy giảm rất nhiều. Ngược lại, nếu màng làm việc với thời gian hút và nghỉ thích hợp thì sẽ duy trì được năng suất lọc cao nhất.

Với mỗi chế độ vận hành cho thấy rõ sự thay đổi của áp suất hút (hình 6), chế độ 30 s hút: 30 s nghỉ có áp suất hút là nhỏ nhất nhưng biến động rất lớn từ 4,8 đến 9,6 cmHg. Chế độ 1 phút hút: 1 phút nghỉ và 2 phút hút: 2 phút nghỉ có áp suất hút tương đối thấp nhưng đã tăng hơn so với chế độ 30 s hút: 30 s nghỉ, chế độ 5 phút hút: 5 phút nghỉ là ổn định nhất. Các chế độ vận hành còn lại có áp suất hút tăng cao, khoảng biến động cũng lớn, nằm trong khoảng từ 11 - 18 cmHg.

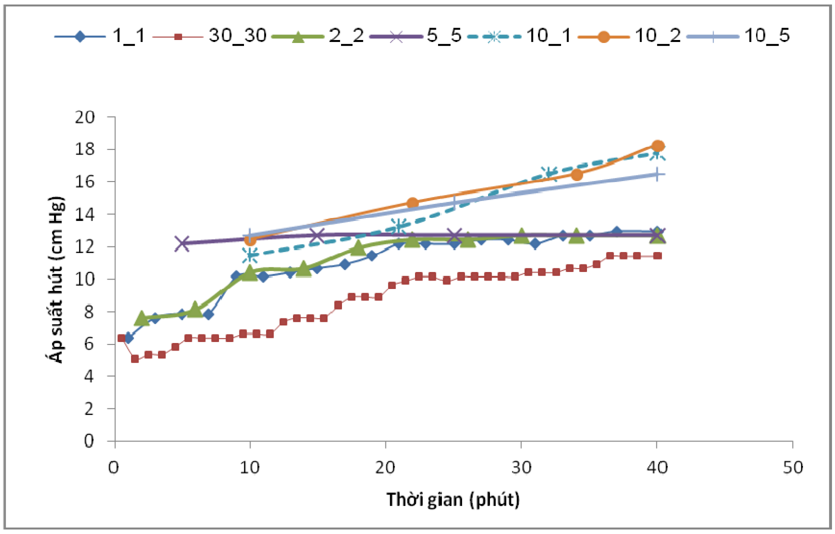
Cả 2 đồ thị trên cho thấy chế độ vận hành tốt nhất là 30 s hút: 30 s nghỉ. Tuy nhiên chế độ vận hành ổn định nhất là 5 phút hút: 5 phút nghỉ, ở chế độ này thì cả năng suất lọc và áp suất hút đều ít bị thay đổi.

3.3. Ảnh hưởng của nồng độ tảo đến năng suất lọc và áp suất hút

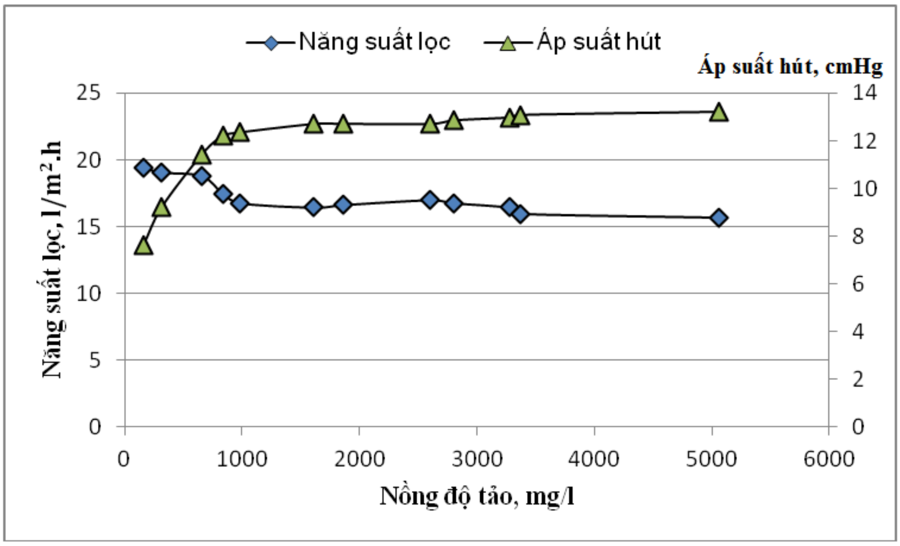
Trong quá trình chạy mô hình, năng suất lọc cũng như trở lực của màng thay đổi không chỉ phụ thuộc vào chế độ sục khí mà còn phụ thuộc rất nhiều vào sinh khối tảo (nồng độ tảo).



Hình 5. Ảnh hưởng của chế độ vận hành đến năng suất lọc



Hình 6. Ảnh hưởng của chế độ vận hành đến áp suất hút



Hình 7. Sự thay đổi trở lực và năng suất lọc theo hàm lượng tảo

Mật độ tảo trong dung dịch trước khi lọc xác định được 8,25 triệu tế bào/ml. Khi sinh khối tảo càng lớn làm cho mật độ các tế bào tảo xung quanh bề mặt của màng tăng lên đến 117,95 triệu tế bào/ml, làm cản trở quá trình lọc, gây ra hiện tượng tắc màng. Để giảm hiện tượng tắc màng lọc ta tiến hành sục khí, mức sục khí tối ưu được sử dụng là 3 L/phút tương ứng với cường độ sục khí 0,189 L/cm^2.phút. Hình 7 biểu diễn sự thay đổi của năng suất lọc và trở lực của màng theo nồng độ tảo tăng dần tại 12 thời điểm bất kỳ trong cả quá trình thu vi tảo. Từ kết quả nghiên cứu cho thấy năng suất lọc giảm khi trở lực tăng theo nồng độ tảo, khi hàm lượng tảo dưới 1000 mg/L thì năng suất lọc giảm đi đáng kể, từ 19 L/m^2.h xuống còn 16 L/m^2.h, khi đó thì áp suất hút lại tăng tương đối nhanh, từ 7,6 đến 12,6 cmHg. Sau đó, khi hàm lượng tảo tăng dần từ 1000 mg/L đến 5000 mg/L thì cả năng suất lọc và áp suất hút đều ít bị thay đổi, cụ thể là năng suất lọc giảm từ 16 xuống còn 15 L/m^2.h, áp suất hút tăng từ 12,3 lên 13,2 cmHg.

4. KẾT LUẬN

Từ các kết quả thu được từ nghiên cứu cho thấy, màng vi lọc (kích thước lỗ mao quản 0,2 µm) có khả năng ứng dụng để thu hồi vi tảo. Trong quá trình vận hành hệ thống lọc màng, cường độ sục khí ảnh hưởng lớn đến năng suất lọc và áp suất hút. Cường độ sục khí tối thiểu cần thiết trong quá trình lọc màng thu vi tảo nên duy trì ở mức 0,189 l/cm^2.h, tương ứng với tốc độ sục khí 3 l/phút. Để đảm bảo các thông số năng suất lọc và áp suất hút ổn định, quá trình lọc màng nên duy trì theo chế độ 5 phút hút: 5 phút nghỉ. Trong quá trình này, vẫn cần duy trì tốc độ sục khí phù hợp ở mức 3 l/phút. Mật độ sinh khối tảo cũng gây ảnh hưởng lớn đến năng suất lọc và áp suất hút. Các thông thu được từ nghiên cứu này sẽ là cơ sở để áp dụng cho việc điều chỉnh quá trình thu hồi vi tảo bằng lọc màng. Nghiên cứu tiếp theo đang được tiến hành đánh giá hiệu quả xử lý nước thải chăn nuôi bằng vi tảo và đánh giá vai trò của quá trình lọc màng đến chất lượng nước sau thu hoạch vi tảo.

LỜI CÁM ƠN

Các tác giả xin cám ơn Trường Đại học Bách khoa Hà Nội đã cấp kinh phí để thực hiện nghiên cứu này (Đề tài mã số T2013 - CT01).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Andersen R.A. (2005). Algal culturing techniques. Elsevier/Academic Press, Burlington, Mass. pp. 226.

Cao Thế Hà (2007). Nghiên cứu ứng dụng công nghệ MBR - Công nghệ xử lý nước thải tiên tiến ở Việt Nam. Tạp chí Cấp thoát nước, 7(56): 36 - 40.

Đặng Đình Kim, Lê Đức, Trần Văn Tựa, Bùi Thị Kim Anh, Đặng Thị An (2011). Xử lý ô nhiễm môi trường bằng thực vật. Nhà xuất bản Nông nghiệp, Hà Nội.

Dinh Trinh Thanh Xuan (2010). Harvesting marine algae for biodiesel feedstock. Department of Environmental Engineering, National University of Singapore.

Do Khac Uan, Dang Kim Chi (2008). An assessment of potential application of membrance technology in municipal wastewater treatment in Vietnam. Urb. Env., 7: 39 - 42.

Đỗ Khắc Uẩn, Ick T. Yeom (2012). Ảnh hưởng của cường độ sục khí đến hiện tượng tắc màng lọc trong hệ thống xử lý nước thải sinh hoạt bằng phương pháp sinh học kết hợp lọc màng, Tạp chí Khoa học và Phát triển, 10(1): 182 - 189.

Enegess D., Togna P. and Sutton P. (2003). Membrane separation applications to biosystems for wastewater treatment. Filt. Sep.., pp. 14 - 17.

Jørgen W. (2001). Membrane Filtration Handbook: Practical Tips and Hints. Osmonics Publisher. pp. 68 - 72.

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, tr. 125 - 126.

Nguyen Duc Long, Do Khac Uan, Doan Thi Thai Yen (2013). Factors affecting treatment efficiency of piggery wastewater by microalgae. J. Sci. Tech., 51(3B): 210 - 216.

Nguyen Thi Hong Minh, Vu Van Hanh (2012). Bioethanol production from marine algae biomass: prospect and troubles; Institute of Biotechnology, Vietnam Academy of Science and Technology.

Nguyễn Thị Thùy Dung, Nguyễn Thanh Lâm, Phạm Trung Đức, Cao Trường Sơn (2015). Đề xuất một số giải pháp bảo vệ môi trường cho quy trình chăn nuôi lợn tại các trang trại chăn nuôi trên địa bàn huyện Gia Lâm, Hà Nội. Tạp chí Khoa học và Phát triển, 13(3): 427 - 436.

Nywening J.P., Husain H. (2007). Comparison of mixed liquor filterability measured with bench and pilot - scale membrane bioreactors. Water Sci. Technol., 56(6): 155 - 162.

Travieso L., Benıtez F., Sanchez E., Borja R., Martın A. and Colmenarejo M. F. (2006). Batch mixed culture of *Chlorella vulgaris* using settled and diluted piggery waste. Eco. Eng., 28: 158 - 165.

Wang H., Xiong H., Hui Z. and Zeng X. (2012). Mixotrophic cultivation of *Chlorella pyrenoidosa* with diluted primary piggery wastewater to produce lipids. Biores. Tech., 104: 215 - 220.

Wang L., Li Y., Chen P., Min M., Chen Y., Zhu J., and Ruan R.R. (2010). Anaerobic digested dairy manure as a nutrient supplement for cultivation of oil - rich green microalgae *Chlorella* sp. Biores. Tech., 101: 2623 - 2628.