

ẢNH HƯỞNG CỦA THỜI GIAN LƯU Bùn ĐẾN HIỆU SUẤT XỬ LÝ PHOTPHO TRONG HỆ THỐNG YẾM KHÍ - HIẾU KHÍ

Influence of Sludge Retention Time on Phosphorus Removal Efficiency in an Anaerobic - Oxidic Bioreactor

Đỗ Khắc Uẩn^{1,2*}, Banu J.Rajesh³, Ick T. Yeom²

¹Viện Khoa học và Công nghệ Môi trường, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

²Department of Civil and Environmental Engineering, Sungkyunkwan University, Korea

³Department of Civil Engineering, Anna University, India

*Địa chỉ email tác giả liên hệ: dokhacuan@yahoo.com

Ngày gửi đăng: 10.03.2011;

Ngày chấp nhận: 27.05.2011

TÓM TẮT

Thời gian lưu bùn (TGLB) là một thông số quan trọng đối với quá trình xử lý photpho (TP) bằng phương pháp sinh học. Nghiên cứu này được tiến hành để xác định ảnh hưởng của TGLB (thay đổi từ 5 - 20 ngày) đến hiệu suất xử lý TP trong hệ thống yếm khí - hiếu khí. Kết quả cho thấy khi tăng TGLB, tỷ lệ cơ chất/sinh khối giảm (từ 0,58 xuống 0,29 mg COD/mg MLVSS/ngày). Hàm lượng chất rắn lơ lửng (MLSS) và phần chất rắn bay hơi (MLVSS) đều tăng lên khi tăng TGLB. Tuy nhiên, tỷ lệ MLVSS/MLSS đã giảm từ 83,9% xuống 76,2%. Hàm lượng TP trong bùn tăng từ 3,82% lên 6,09% khi TGLB tăng. Khi tăng TGLB (5 đến 10 ngày), hiệu suất xử lý TP tăng từ 77,3% lên 87,8%. Khi TGLB tiếp tục tăng (10 đến 20 ngày), hiệu suất xử lý TP giảm, từ 87,8% xuống còn 81,2%. Hiệu suất xử lý tổng nitơ càng cao khi TGLB càng lớn. TGLB hầu như không ảnh hưởng đến quá trình xử lý các chất hữu cơ.

Từ khóa: Bùn thải, hệ thống yếm khí - hiếu khí, thời gian lưu bùn, xử lý photpho.

SUMMARY

Sludge retention time (SRT) is an operational important parameter for biological phosphorus (TP) removal. This study was carried out to examine the influence of SRT (varied from 5 to 20 days) on TP removal efficiency in an anaerobic-oxidic bioreactor. The obtained results showed that the food/microorganism ratio was reduced (from 0.58 to 0.29 mg COD/mg MLVSS/d) when SRT was increased. The mixed liquor suspended solids (MLSS) and mixed-liquor volatile suspended solids (MLVSS) were both increased when SRT was increased. However, the ratio of MLVSS/MLSS was reduced from 83.9% down to 76.2%. When SRT was increased the TP content in sludge was increased from 3.82% to 6.09%. SRT increased from 5 to 10 days resulted in TP removal efficiency increasing from 77.3% to 87.8%. However, TP removal efficiency was decreased from 87.8% to 81.2%, when SRT was increased from 10 to 20 days respectively. The more SRT was increased the more total nitrogen removal was achieved. SRT almost did not affect the process of organic removal.

Key words: Anaerobic, oxidic, phosphorus removal, sludge retention time, wasted sludge.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nước thải đô thị nói chung và nước thải sinh hoạt nói riêng thường chứa tổng

photpho (TP) tương đối cao, có thể dao động từ 4 - 20 mg P/L (WEF, 1998). Đây chính là một trong những nguồn góp phần gây ra

hiện tượng phú dưỡng cho các nơi tiếp nhận (Stanley, 2001). Vì thế, tiêu chuẩn thải đối với TP ngày càng nghiêm ngặt. Ví dụ, giới hạn TP trong nước thải sau xử lý ở Mỹ và châu Âu đều nhỏ hơn 1,0 mg P/L (EPA, 2009, EU, 2008); ở Hàn Quốc, giới hạn TP nhỏ hơn 2,0 mg P/L (KMoE, 2007), và hiện cũng đang nghiên cứu để tiếp tục giảm xuống tương đương như tiêu chuẩn của Mỹ và châu Âu; trong khi đó ở Việt Nam, theo QCVN 24: 2009 (cột B, dành cho mục đích tưới tiêu, chăn nuôi,...) giới hạn đối với TP là 6,0 mg P/L (BTNMT, 2009).

TP trong nước thải có thể được xử lý bằng phương pháp kết tủa hóa học, phương pháp sinh học hoặc kết hợp giữa hai phương pháp này. Trong đó, phương pháp sinh học đã chứng tỏ được khả năng xử lý đạt hiệu quả cao và đặc biệt có ưu việt nổi trội về chi phí vận hành (Peng và Zhu, 2006, Uan và cs., 2009), Quá trình xử lý TP bằng phương pháp sinh học thường được thực hiện bằng hệ thống bể yếm khí-hiếu khí nhằm tạo điều kiện thích hợp cho sự phát triển của các vi khuẩn có khả năng hấp thụ TP cao (gọi tắt vi khuẩn-P, ví dụ chủng vi khuẩn *Acinetobacter*) (Tchobanoglous và cs., 2003).

Trong hệ thống yếm khí - hiếu khí, quá trình xử lý photpho dựa vào cơ chế phân giải poly-phosphat thành octo-phosphat trong bể yếm khí và tiếp theo là quá trình hấp thụ octo-phosphat vào sinh khối trong bể hiếu khí (Zheng và cs., 2009). Cuối cùng, photpho sẽ được đưa ra khỏi hệ thống cùng với bùn thải. Tải lượng bùn thải hàng ngày có liên quan trực tiếp đến thời gian lưu bùn (viết tắt TGLB) trong hệ thống. TGLB được xác định theo phương trình sau (Tchobanoglous và cs., 2003):

$$TGLB = \frac{V \times MLSS}{Q_b \times MLSS_b} \text{ (ngày)}$$

Trong đó: TGLB (ngày) - thời gian lưu bùn; V (L) - thể tích của hệ thống xử lý; MLSS (mg/L) - hàm lượng chất rắn lơ lửng trong hệ thống xử lý; Q_b (L/ngày) - lưu lượng

bùn thải ra hàng ngày; MLSS_b (mg/L) - hàm lượng chất rắn lơ lửng trong lưu lượng bùn thải. Các đại lượng: $[V \times MLSS]$ (mg) là tổng hàm lượng bùn có trong hệ thống và $[Q_b \times MLSS_b]$ (mg/ngày) là tải lượng bùn thải hàng ngày.

Từ phương trình trên, có thể thấy TGLB tỷ lệ nghịch với tải lượng bùn thải: tải lượng bùn thải càng lớn thì TGLB càng nhỏ và ngược lại. Do đó, vấn đề nghiên cứu được đặt ra là TGLB có liên quan đến hiệu suất xử lý TP như thế nào? Hệ thống xử lý TP bằng phương pháp sinh học nên được vận hành ở điều kiện TGLB lớn hay nhỏ? Không những thế, khi TGLB thay đổi, nó sẽ ảnh hưởng như thế nào đến các thông số khác của hệ thống, chẳng hạn tỷ lệ cơ chất/sinh khối, hàm lượng chất rắn lơ lửng, hàm lượng TP trong bùn?

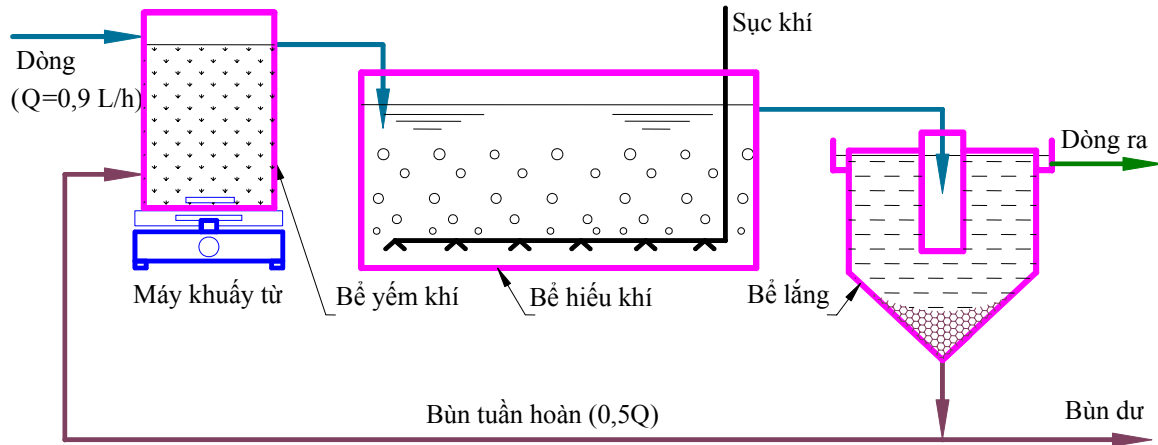
Nhằm giải quyết các vấn đề nêu trên, một thí nghiệm nghiên cứu xử lý TP trong nước thải tổng hợp bằng phương pháp sinh học yếm khí - hiếu khí đã được thiết kế nhằm xác định ảnh hưởng của TGLB đến: (i) tỷ lệ cơ chất/sinh khối và hàm lượng chất rắn lơ lửng; (ii) hàm lượng TP trong bùn và tải lượng bùn thải; và (iii) hiệu suất xử lý P. Ngoài ra, ảnh hưởng của TGLB đến hiệu suất xử lý các chất hữu cơ (COD) và tổng nitơ (TN) cũng được thảo luận.

2. PHƯƠNG PHÁP THỰC HIỆN

2.1. Mô tả hệ thống thiết bị dùng trong nghiên cứu

Nghiên cứu được tiến hành trong hệ thống thiết bị gồm có bể yếm khí (thể tích làm việc: V = 1,5 L, kích thước: D x R x C = 100 x 100 x 150 mm), bể hiếu khí (V = 4,8 L, D x R x C = 240 x 100 x 200 mm) và bể lắng (V = 2,5 L, D x H = 160 x 125 mm). Sơ đồ nguyên lý của hệ thống được mô tả ở hình 1.

Nước thải tổng hợp dùng cho nghiên cứu này có thành phần cơ bản được tóm tắt trong bảng 1. Thí nghiệm được tiến hành ở điều kiện nhiệt độ phòng.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý hệ thống yếm khí - hiếu khí dùng cho nghiên cứu

Bảng 1. Thành phần cơ bản của nước thải dùng trong nghiên cứu

Thành phần	Giá trị, mg/L	Ghi chú
C ₆ H ₁₂ O ₆	400	COD = 420 ± 5 mg/L
NH ₄ Cl	155	TN = 40 ± 1 mg/L.
KH ₂ PO ₄	28,5	TP = 6,5 ± 0,1 mg/L
NaHCO ₃	220	Nhiệt độ nước thải 20 ± 2°C
MnCl ₂ .4H ₂ O	0,19	
MgSO ₄ .7H ₂ O	5,60	
FeCl ₃ .6H ₂ O	0,88	
CaCl ₂ .2H ₂ O	1,30	

Bảng 2. Các điều kiện vận hành hệ thống

Thời gian lưu bùn (ngày)	Thời gian vận hành hệ thống (ngày)
5	20
10	20
15	30
20	40

Nước thải được cấp vào hệ thống bằng bơm định lượng (lưu lượng Q = 0,9 L/h). Thời gian lưu thủy lực trong các bể yếm khí, hiếu khí và bể lắng lần lượt là 1,6 h, 5,4 h, và 3 h. Nồng độ ôxi hòa tan (DO) trong bể hiếu khí được duy trì khoảng 2,0 mg/L. DO trong bể yếm khí nhỏ hơn 0,1 mg/L. Hàm lượng MLSS ban đầu trong hệ thống dao động ở mức 2000 - 2200 mg/L. Bùn trong bể

yếm khí được duy trì ở trạng thái lơ lửng nhờ bộ phận khuấy từ (tốc độ khuấy 50 vòng/phút). Một phần bùn trong bể lắng được tuần hoàn trở lại bể yếm khí với lưu lượng bằng 0,45 L/h (0,5Q). Một phần bùn dư được thải ra hàng ngày để kiểm soát TGLB. Hệ thống được vận hành ở bốn điều kiện TGLB khác nhau với tổng thời gian vận hành là 110 ngày (Bảng 2).

2.2. Các phương pháp phân tích

Các phương pháp chuẩn (trình bày chi tiết trong tài liệu APHA (APHA, 2005) được sử dụng để phân tích các thông số phục vụ mục đích nghiên cứu, cụ thể: Hàm lượng chất rắn lơ lửng (MLSS) và phân chất rắn lơ lửng bay hơi (MLVSS) được xác định bằng các phương pháp 2540D và 2540E. Nhu cầu ôxi hóa hóa học (COD) được xác định bằng phương pháp hồi lưu kín (phương pháp 8000). Tổng photpho (TP) được xác định bằng phương pháp 8190. Tổng nitơ (TN) được xác định bằng phương pháp 10071. Ngoài ra, pH và DO trong hệ thống được đo định kỳ bằng thiết bị pH/DO Meter (Horiba Model D-55E, Japan).

Số liệu phân tích đối với các thông số trong từng điều kiện TGLB được tổng hợp và xử lý bằng phần mềm Microsoft Office Excel 2007. Giá trị biểu diễn trên các đồ thị trong các phần tiếp theo là giá trị trung bình.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của TGLB đến tỷ lệ cơ chất/sinh khối, MLSS và MLVSS

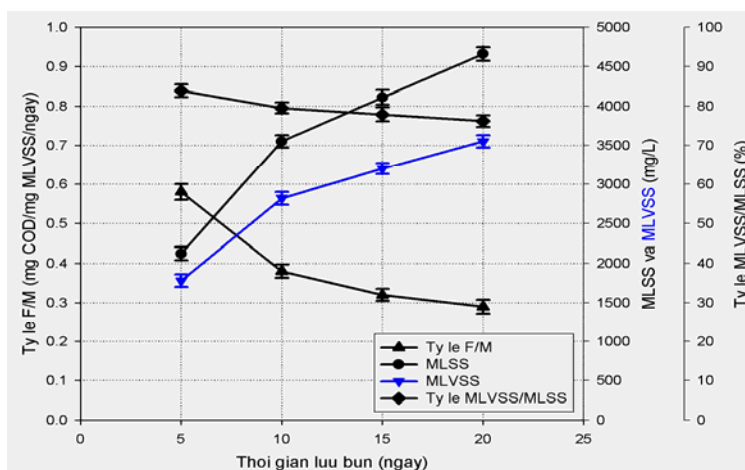
Ảnh hưởng của TGLB đến tỷ lệ cơ chất/sinh khối (F/M) được biểu diễn trên hình 2. Tỷ lệ F/M được xác định theo công thức (Tchobanoglous và cs., 2003):

$$F/M = \frac{Q_v \times \text{COD}_v}{V \times \text{MLVSS}} \text{ (mgCOD/mgMLVSS/ngày)}$$

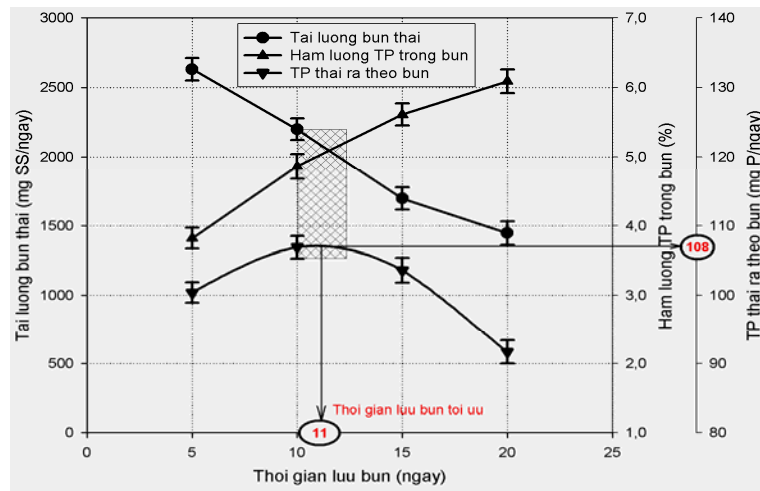
Trong đó: Q_v (L/ngày) là lưu lượng nước thải đầu vào; COD_v (mg/L) là nồng độ COD đầu vào; V (L) là thể tích của hệ thống xử lý; MLVSS (mg/L) là hàm lượng chất rắn lơ lửng bay hơi.

Kết quả cho thấy khi tăng TGLB, tỷ lệ F/M đã giảm đáng kể. Khi TGLB tăng dần từ 5, 10, 15, 20 ngày, tỷ lệ F/M đã suy giảm dần, lần lượt là 0,58, 0,38, 0,32, và 0,29 mg COD/mg MLVSS/ngày.

Nguyên nhân của sự suy giảm này chính là hàm lượng MLSS và hàm lượng MLVSS trong hệ thống đều tăng lên khi tăng TGLB. Ví dụ, hàm lượng MLSS (ở điều kiện TGLB 5 ngày) là 2200 mg/L đã tăng lên đến 4750 mg/L (ở TGLB 20 ngày). Đặc biệt, khi TGLB tăng từ 5 đến 10 ngày, độ dốc thay đổi của MLSS và MLVSS đều lớn hơn so với độ dốc của các thông số này trong giai đoạn TGLB từ 10 đến 20 ngày. Điều đó cho thấy, tốc độ sinh trưởng của vi khuẩn trong giai đoạn TGLB 5-10 ngày lớn hơn so với giai đoạn 10-20 ngày. Ngoài ra, một hiện tượng đáng chú ý là khi TGLB tăng từ 5 đến 20 ngày, tỷ lệ MLVSS/MLSS đã giảm dần từ 83,9% xuống còn 76,2%. Tỷ lệ MLVSS/MLSS giảm chứng tỏ rằng quá trình phân hủy bùn đã tăng lên khi tăng TGLB.



Hình 2. Ảnh hưởng của thời gian lưu bùn đến tỷ lệ F/M và hàm lượng MLSS, MLVSS



Hình 3. Ảnh hưởng của thời gian lưu bùn đến tải lượng bùn thải, hàm lượng TP trong bùn và tải lượng TP thải theo bùn

3.2. Ảnh hưởng của TGLB đến hàm lượng TP trong bùn và tải lượng bùn thải

Hình 3 biểu diễn ảnh hưởng của TGLB đến hàm lượng TP trong bùn và tải lượng bùn thải. Hàm lượng TP trong bùn tại TGLB 5, 10, 15 và 20 ngày xác định lần lượt là 3,82%, 4,86%, 5,61% và 6,09%.

Khi TGLB tăng, hàm lượng TP trong bùn cũng tăng lên, cho dù tỷ lệ MLVSS/MLSS giảm. Điều này được giải thích là trong quần thể vi khuẩn trong hệ thống yếm khí - hiếu khí, nhóm vi khuẩn-P có tốc độ phân hủy thấp hơn so với các nhóm vi khuẩn thông thường. Cho nên khi tăng TGLB đến một giới hạn nhất định, số lượng vi khuẩn-P sẽ chiếm đa số nên hàm lượng TP trong bùn tăng lên (Liu và cs., 1996). Ngược lại, khi TGLB tăng từ 5 đến 20 ngày tải lượng thải bùn giảm đi đáng kể, từ 2600 mg SS/ngày xuống còn 1400 mg SS/ngày. Kết quả ước tính sự biến thiên tải lượng TP thải ra theo bùn cũng được biểu diễn trên hình 3. Bằng phương pháp gần đúng, ta có thể ước tính được tải lượng TP thải lớn nhất khoảng 108 mg/ngày, với TGLB trong khoảng 10 - 12 ngày. Do vậy, để đạt được hiệu quả xử lý TP cao, hệ thống nên được vận hành với TGLB là 11 ngày.

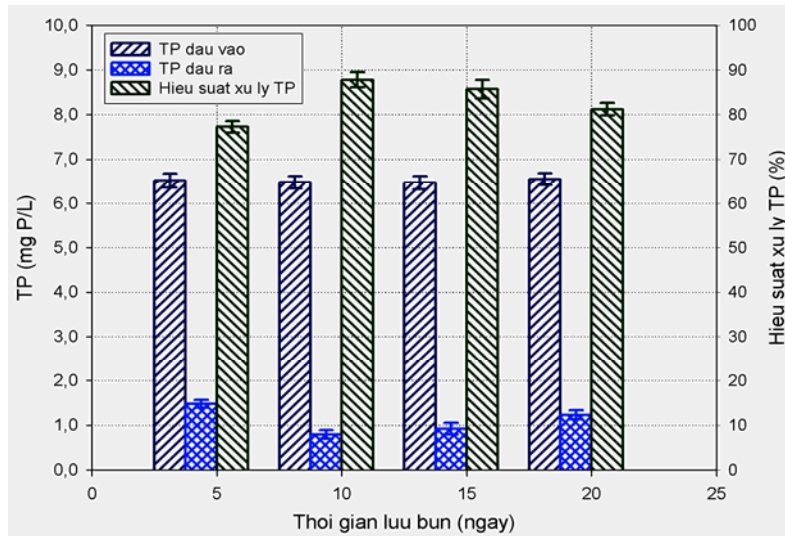
3.3. Ảnh hưởng của TGLB đến hiệu suất xử lý TP

Sự biến thiên hiệu suất xử lý TP theo thời gian lưu bùn được biểu diễn trên hình 4. Hiệu suất xử lý TP được ước tính theo công thức:

$$\eta_{TP} = \frac{TP_v - TP_L}{TP_v} \times 100 (\%)$$

Trong đó: TP_v (mg/L) và TP_L (mg/L) lần lượt là nồng độ TP trước (đầu vào) và sau xử lý. Nồng độ TP trong dòng vào được duy trì ổn định ở 6,5 mg/L trong suốt thời gian thí nghiệm.

Kết quả cho thấy hiệu suất xử lý TP thay đổi theo hai giai đoạn rõ rệt: khi TGLB tăng từ 5 đến 10 ngày, hiệu suất xử lý TP cũng tăng theo, từ 77,3% lên đến 87,8%, tương ứng với TP trung bình trong dòng thải ra là 1,48 mg/L và 0,79 mg/L. Kết quả này được giải thích như sau: khi TGLB tăng các vi khuẩn-P chiếm ưu thế, loại vi khuẩn này có tốc độ phân hủy thấp, nhưng lại có khả năng hấp thụ TP lớn hơn nhiều so với các nhóm vi khuẩn thông thường, nên đã làm cho hiệu suất xử lý P tăng lên (Lee và cs., 2001).



Hình 4. Ảnh hưởng của thời gian lưu bùn đến hiệu suất xử lý photpho

Khi TGLB tiếp tục tăng từ 10 đến 20 ngày, hiệu suất xử lý TP lại có xu thế suy giảm, từ 87,8% xuống còn 81,2%, tương ứng với TP trong dòng thải ra là 1,23 mg/L. Điều này có thể được giải thích là do tỷ lệ F/M trong giai đoạn TGLB 10 - 20 ngày thấp hơn nhiều so với tỷ lệ F/M trong giai đoạn 5 - 10 ngày (Hình 2). Do F/M thấp, nên đã làm giảm hoạt hóa của vi khuẩn-P và kết quả là hiệu suất xử lý TP đã bị suy giảm (Seviour và cs., 2003). Bên cạnh đó, lượng bùn thải ra giảm nhanh trong giai đoạn TGLB 10 - 20 ngày, nên đây cũng là một nguyên nhân làm cho hiệu suất xử lý TP cũng giảm theo.

Kết quả thu được về ảnh hưởng của TGLB đến hiệu suất xử lý TP phù hợp với xu hướng và mối quan hệ giữa TGLB và tải lượng TP thải ra khỏi hệ thống theo bùn thải, như đã thảo luận ở mục 3.2 (Hình 3).

3.4. Ảnh hưởng của TGLB đến hiệu suất xử lý TN

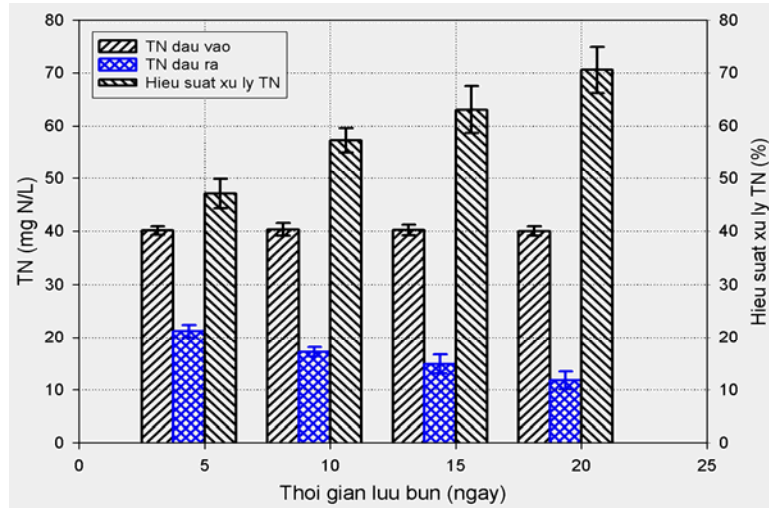
Hình 5 biểu diễn ảnh hưởng của TGLB đến hiệu suất xử lý TN. Hiệu suất xử lý TN được ước tính theo công thức:

$$\eta_{TN} = \frac{TN_v - TN_r}{TN_v} \times 100 (\%)$$

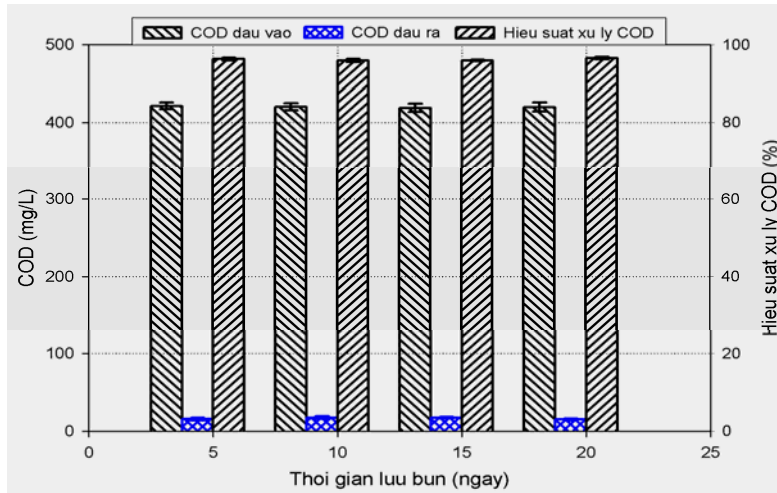
Trong đó: TN_v (mg/L) và TN_r (mg/L) lần lượt là nồng độ TN đầu vào và đầu ra sau xử lý.

Nồng độ đầu vào của TN được duy trì ổn định khoảng 40 mg/L. Kết quả quan sát từ hình 5 cho thấy, TGLB càng lớn thì hiệu suất xử lý TN càng cao. Trong giai đoạn TGLB 5 ngày, hiệu suất xử lý TN trung bình chỉ đạt 47,1% (TN trong dòng thải ra 21,2 mg/L). Nhưng trong các giai đoạn tiếp theo, khi TGLB được tăng dần đến 20 ngày, hiệu suất xử lý TN cũng tăng đồng biến và đạt đến 70,6%, tương ứng với TN trong dòng thải ra giảm xuống chỉ còn 11,8 mg/L.

Theo kết quả biểu diễn trên hình 2 (mục 3.1), hàm lượng MLSS, MLVSS trong hệ thống càng cao khi TGLB càng lớn. MLSS cao sẽ làm tăng hiệu quả quá trình nitrat hóa trong bể hiếu khí (WEF, 1998). Khi lượng nitrat được tuần hoàn vào bể yếm khí, ở đó phần lớn nitrat sẽ bị khử thành khí nitơ, làm tăng hiệu suất xử lý TN.



Hình 5. Ảnh hưởng của thời gian lưu bùn đến hiệu suất xử lý nitơ



Hình 6. Ảnh hưởng của thời gian lưu bùn đến hiệu suất xử lý COD

3.5. Ảnh hưởng của TGLB đến hiệu suất xử lý COD

Ảnh hưởng của thời gian lưu bùn đến hiệu suất xử lý COD được biểu diễn trên hình 6. Hiệu suất xử lý COD được ước tính theo công thức:

$$\eta_{\text{COD}} = \frac{\text{COD}_v - \text{COD}_r}{\text{COD}_v} \times 100 (\%)$$

Trong đó: COD_v (mg/L) và COD_r (mg/L) lần lượt là nồng độ COD trước (đầu vào) và sau xử lý.

Nồng độ COD đầu vào trong toàn bộ thời gian vận hành được duy trì ổn định ở 420 mg/L. Hình 6 cho thấy, mặc dù hệ thống được vận hành ở các điều kiện TGLB khác nhau, nhưng quá trình xử lý COD ổn định và đạt hiệu suất xử lý cao, trung bình trên 96%, tương ứng với COD trong dòng sau xử lý khoảng 17 mg/L. Trong hệ thống yếm khí - hiếu khí, một phần COD được các vi khuẩn - P hấp thụ và tích lũy ở dạng poly- β -hydroxyalkanoate (PHA) để sử dụng trong quá trình phân giải poli-phosphat trong bể

yếm khí, phần còn lại sẽ tiếp tục được đưa sang bể hiếu khí và ở đó diễn ra quá trình oxy hóa sinh học các hợp chất hữu cơ (Dircks và cs., 2001). Như vậy, từ kết quả thu được cho thấy rằng TGLB hầu như không ảnh hưởng đến quá trình xử lý các chất hữu cơ. Xét về khía cạnh này, công nghệ yếm khí-hiếu khí là một giải pháp có thể lựa chọn để áp dụng cho xử lý các hợp chất hữu cơ trong nước thải đạt hiệu quả cao.

4. KẾT LUẬN

Ảnh hưởng của TGLB đến quá trình xử lý TP đã được xác định thông qua việc vận hành hệ thống bể yếm khí-hiếu khí ở bốn điều kiện TGLB khác nhau (5, 10, 15 và 20 ngày). Các kết luận chính gồm:

Khi TGLB tăng dần từ 5 đến 20 ngày, tỷ lệ F/M đã suy giảm, từ 0,58 xuống 0,29 mg COD/mg VSS/ngày. Trong khi đó, hàm lượng MLSS và MLVSS đều tăng lên khi tăng TGLB. Tuy nhiên, tỷ lệ MLVSS/MLSS đã giảm từ 83,9% xuống còn 76,2%.

Hàm lượng TP trong bùn tăng từ 3,82% lên 6,09% khi TGLB tăng từ 5 lên 20 ngày. Tải lượng TP thải lớn nhất ước tính được bằng phương pháp gần đúng là khoảng 108 mg/ngày, với TGLB trong khoảng 10 - 12 ngày. Để đạt được hiệu quả xử lý TP cao, hệ thống nên được vận hành với TGLB là 11 ngày.

Khi TGLB tăng từ 5 đến 10 ngày, hiệu suất xử lý TP tăng từ 77,3% lên 87,8%. Tuy nhiên, khi TGLB tiếp tục tăng từ 10 đến 20 ngày, hiệu suất xử lý TP lại có xu thế suy giảm, từ 87,8% xuống còn 81,2%.

Hiệu suất xử lý TN càng cao khi TGLB càng lớn. Khi TGLB tăng từ 5 ngày lên 20 ngày, hiệu suất xử lý TN tăng từ 47,1% lên 70,6%.

TGLB hầu như không ảnh hưởng đến quá trình xử lý các chất hữu cơ. Quá trình xử lý COD ổn định và đạt hiệu suất xử lý cao, trung bình trên 96%.

Như vậy, việc kiểm soát TGLB có vai trò rất quan trọng đối với quá trình xử lý các chất dinh dưỡng nói chung và xử lý TP nói riêng bằng phương pháp sinh học. Lựa chọn TGLB thích hợp sẽ giúp quá trình xử lý đạt hiệu quả cao. Mặc dù nghiên cứu này tiến hành xử lý nước thải tổng hợp, nhưng kết quả thu được sẽ cung cấp những thông tin có ích cho quá trình thiết kế và vận hành hệ thống xử lý TP trong nước thải thực tế bằng phương pháp sinh học.

Lời cảm ơn

Các tác giả chân thành cảm ơn Chương trình BK21 - Bộ Giáo dục, Khoa học và Công nghệ Hàn Quốc và Đại học Sungkyunkwan đã tài trợ kinh phí cho nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- APHA (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st ed., American Water Works Association, Water Pollution and Control Federation, Washington, USA.
- BTNMT (2009). QCVN 24:2009: Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về nước thải công nghiệp. Tổng cục Môi trường, Bộ Tài nguyên và Môi trường.
- Dircks, K., M. Henze, M.C.M. van Loosdrecht, H. Mosbk and H. Aspegren (2001). Storage and degradation of poly- β -hydroxybutyrate in activated sludge under aerobic conditions. *Water Res.*, 35: 2277-2285.
- EPA (2009). Regulatory Plan and Semiannual Regulatory Agenda. Environmental Protection Agency, USA.
- EU (2008). European Environmental and Regulatory. European Union, Farley & Williams, London, UK.
- KMoE (2007). Water quality management. Korean Ministry of Environment, Korea.
- Lee, D.S., C.O. Jeon and J.M. Park (2001). Biological nitrogen removal with enhanced phosphate uptake in a sequencing batch reactor using single sludge system. *Water Res.*, 35: 3968-3976.

- Liu, W.T., T. Mino, T. Matsuo and K. Nakamura (1996). Biological phosphorus removal processes: Effect of pH on anaerobic substrate metabolism. *Water Sci. Tech.*, 34: 25-32.
- Peng, Y. and G. Zhu (2006). Biological nitrogen removal with nitrification and denitrification via nitrite pathway. *Appl. Microb. Biotech.*, 73: 15-26.
- Seviour, R.J., T. Mino and M. Onuki (2003). The microbiology of biological phosphorus removal in activated sludge systems. *FEMS Microb. Rev.*, 27: 99-127.
- Stanley, E.M. (2001). *Fundamentals of Environmental Chemistry*. 2nd ed., Lewis Publishers London, UK.
- Tchobanoglous, G., F.L. Burton and H.D. Stensel (2003). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. 4th ed., McGraw-Hill, New York.
- Uan, D.K., J.R. Banu, S. Kaliappan and I.T. Yeom (2009). Application of membrane filtration to organic and nutrient removal in municipal wastewater using anaerobic-anoxic-aerobic bioreactor. *In: Proceedings of Vietnam National Conference on Biological Technology*. Thai Nguyen University & Institute of Biotechnology, 26-27 Nov. 2009, pp. 950-953.
- WEF (1998). *Biological and chemical systems for nutrient removal*. Water Environment Federation, Alexandria, VA, USA.
- Zheng, X., J. Tong, H. Li and Y. Chen (2009). The investigation of effect of organic carbon sources addition in anaerobic-aerobic sequencing batch reactor for nutrients removal from wastewaters. *Biores. Technol.*, 100: 2515-2520.