



Original Article

The Dependence of Removal Rate and Efficiency on COD Loading Rate in Two Anaerobic Systems Treating High Organic Suspended Wastewater

Nguyen Truong Quan^{1,*}, Vo Thi Thanh Tam¹, Cao The Ha¹,
Le Van Chieu², Tran Manh Hai³

¹*Research Center for Environmental Technology and Sustainable Development (CETASD),
VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Hanoi, Vietnam*

²*VNU Project Management Department, 144 Xuan Thuy, Cau Giay, Hanoi, Vietnam*

³*Institute of Environmental Technology, Vietnam Academy of Science and Technology (VAST),
18 Hoang Quoc Viet, Hanoi, Vietnam*

Received 20 March 2018

Revised 09 March 2019; Accepted 13 March 2019

Abstract: The dependence of removal rate and efficiency on COD loading rate in two anaerobic systems using Internal Circulation (IC) and Modified Internal Circulation (MIC) models were evaluated for the treatment of piggery waste in this study. Two systems were operated at a similar COD loading rate and retention times at room temperature when using an anaerobic sludge concentration of 13.3 gVMLSS/l. Generally, both IC and MIC achieved the similar performances regarding total COD removal rate are in the range of 0.7 - 13.0 kgCOD/m³/day with influent COD loading rate of 1.0 - 20.0 kg/m³/day; soluble COD removal rate are in the range of 0.3 - 4.0 kgCOD/m³/day with influent soluble COD of 0.6 - 7 kgCO/m³/day. Both IC and MIC showed a similar performance regarding total and soluble COD removal efficiencies, which are in the range of 69 - 71% and 65%, respectively. However, MIC is more advantaged in the aspects of system manufacturing and operation.

Keywords: Loading rate, removal capacity, internal circulation, anaerobic.

* Corresponding author.

E-mail address: nguyentruongquan@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4233>



Mối quan hệ giữa tải trọng với năng suất và hiệu suất xử lý COD của hai kỹ thuật xử lý yếm khí nước thải giàu cặn hữu cơ

Nguyễn Trường Quân^{1,*}, Võ Thị Thanh Tâm¹, Cao Thế Hà¹,
Lê Văn Chiêu², Trần Mạnh Hải³

¹Trung tâm Nghiên cứu Công nghệ Môi trường và Phát triển bền vững (CETASD),
Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN, 334 Nguyễn Trãi, Hà Nội, Việt Nam

²Ban Quản lý các Dự án, Đại học Quốc gia Hà Nội, 144 Xuân Thủy, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

³Viện Công nghệ Môi trường, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam,
18 Hoàng Quốc Việt, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 20 tháng 3 năm 2018

Chỉnh sửa ngày 09 tháng 3 năm 2019; Chấp nhận đăng ngày 13 tháng 3 năm 2019

Tóm tắt: Bài báo đánh giá mối quan hệ giữa tải trọng với năng suất và hiệu suất xử lý COD đối với công nghệ yếm khí cao tải bằng kỹ thuật tuần hoàn nội (IC) và tuần hoàn nội cải tiến (MIC) qui mô phòng thí nghiệm áp dụng xử lý nước thải chăn nuôi lợn. Hai hệ được vận hành ở điều kiện nhiệt độ thường với thời gian lưu nước, tải trọng COD đầu vào tương đương nhau và có mật độ bùn yếm khí ban đầu 13,3 g/l. Nhìn chung cả hai hệ IC và MIC có khả năng xử lý là tương đương nhau với năng suất xử lý COD tổng trong khoảng 0,7 - 13,0 kgCOD/m³/ngày với tải trọng COD vào từ 1,0 - 20,0 kg/m³/ngày; năng suất xử lý COD hòa tan trong khoảng 0,3 - 4,0 kgCOD/m³/ngày với tải trọng COD vào 0,6 - 7,0 kgCO/m³/ngày. Cả hai hệ IC và MIC có hiệu suất xử lý COD tổng và hòa tan tương đương nhau dao động trong khoảng 69-71% và 65%. MIC có ưu điểm hơn so với hệ IC về khía cạnh chế tạo và vận hành.

Từ khóa: Tải trọng, năng suất xử lý, tuần hoàn nội, yếm khí.

1. Mở đầu

Nước thải chăn nuôi thuộc loại nước thải có thành phần cặn hữu cơ cao, chứa nhiều hợp chất khó phân hủy sinh học và là một đối tượng rất khó xử lý. Kỹ thuật yếm khí luôn là sự lựa chọn

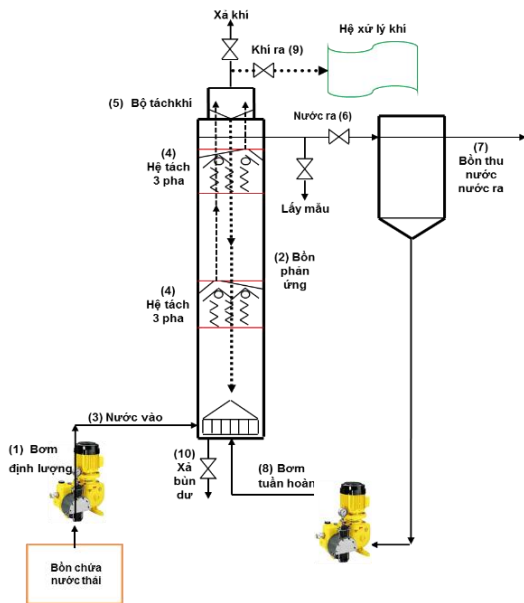
đầu tiên đối với loại nước thải này. Theo Lettinga [1], hệ yếm khí là quá trình diễn ra chậm, tốc độ sinh trưởng vi khuẩn yếm khí thấp và năng suất xử lý kém so với kỹ thuật hiếu khí. Tuy nhiên các kỹ thuật yếm khí hiện đại gần đây được cải tiến như kỹ thuật tuần hoàn nội (IC - Internal Circulation) có thể chấp nhận tải trọng đầu vào từ vài chục đến hàng trăm kgCOD/m³/ngày với hiệu suất xử lý lên tới 70-90% [2, 3].

*Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: nguyentruongquan@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4233>

Kĩ thuật tuần hoàn nội hoạt động dựa trên nguyên tắc của hai bồn phản ứng yếm khí ngược dòng qua lớp đệm vi sinh (Upflow Anaerobic Sludge Blanket - UASB) xếp chồng lên nhau. Khí tách ra từ bộ phận tách pha bên dưới chuyển động lên phía trên vào khoang thu khí qua đường ống dẫn lên. Dòng khí chuyển động lên sẽ cuốn theo nước và bùn từ vùng phân hủy cao tải bên dưới. Sau khi tách khí, nước và vi sinh được đưa trở lại vào vùng phản ứng xuống đáy bể, hòa trộn với dòng vào qua đường ống dẫn xuống. Dòng bùn-nước quay ngược lại vùng phản ứng cao tải tạo ra dòng tuần hoàn liên tục trong cột phản ứng - đây là tính chất đặc trưng của kĩ thuật tuần hoàn nội. Kĩ thuật này được đánh giá rất cao cho năng suất xử lý khá lớn trên đơn vị thể tích, gấp tới 75 lần so với kĩ thuật truyền thống (bồn phản ứng khuấy trộn hoàn toàn) và gấp 3 lần so với kĩ thuật UASB [4]. Do vậy, kĩ thuật này được lựa chọn để nghiên cứu đối với loại nước thải có thành phần cặn hữu cơ cao.



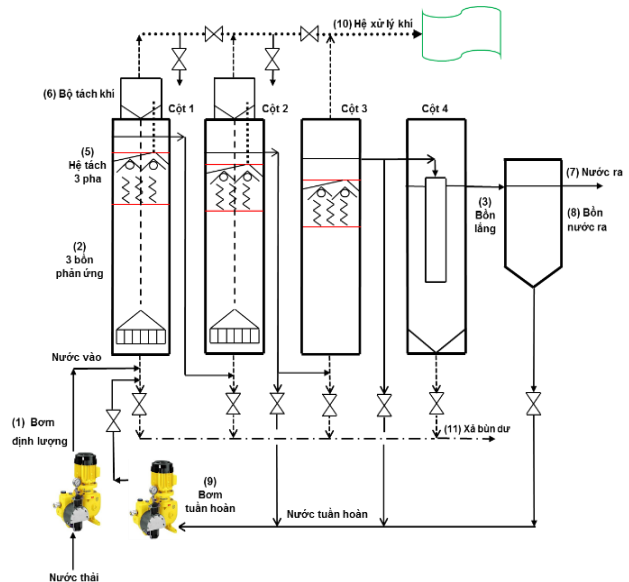
Hình 1. Sơ đồ hệ thống thí nghiệm IC.

2. Thực nghiệm

2.1. Hệ thống xử lý nước thải chăn nuôi qui mô phòng thí nghiệm

Để đánh giá năng lực xử lý COD của kĩ thuật tuần hoàn nội, các thí nghiệm được tiến hành trên 02 hệ thí nghiệm: (1) Hệ IC - được thiết kế gồm 01 cột phản ứng có đường kính 0,14m, cao 2m, ứng với thể tích $V = 30$ lít (Hình 1) và (2) Hệ MIC (Kĩ thuật tuần hoàn nội cải tiến - Modified Internal Circulation) - được thiết kế gồm 03 cột phản ứng và 01 cột lắng có đường kính 0,14m và cao 1m, ứng với tổng thể tích $V = 52$ lít (Hình 2). Hệ MIC được cải tiến từ kĩ thuật IC với mục đích làm giảm chiều cao từ 2-3 lần để dễ dàng chế tạo, vận hành và tăng cường khả năng tách bùn sau xử lý do bố trí thêm một cột lắng phía sau.

Hai hệ IC và MIC được vận hành song song, đều ở điều kiện thường (không điều nhiệt) với thời gian lưu nước (24, 20, 16, 12, 10 và 6 giờ) và giá trị COD đầu vào tương đương nhau, và có mật độ bùn yếm khí ban đầu là 13,3 g/l.



Hình 2. Sơ đồ hệ thống thí nghiệm MIC.

2.2. Lấy mẫu, phân tích mẫu và tính toán

Nước thải được lấy từ các hộ nuôi lợn thịt ở thôn Đông Mỹ, Thanh Trì, Hà Nội. Điểm lấy mẫu là hồ ga, lấy lúc rửa chuồng với tần suất lấy mẫu 1-3 lần/tuần. Mẫu được lọc cặn bằng rây có kích thước lỗ 1mm sau đó lưu vào bồn chứa, nước thải được kiểm tra các chỉ tiêu COD, TSS, hiệu chỉnh nhằm đảm bảo sự ổn định về thành phần và tải trọng COD. Ở chế độ khởi động (thời gian lưu thủy lực HRT=24h) cả hai hệ thí nghiệm được vận hành liên tục trong khoảng 2 tháng để vi sinh thích nghi, ở các chế độ tiếp theo (tăng dần tải trọng đầu vào) thì các hệ được vận hành trong khoảng 2-3 tuần và lấy mẫu đầu vào, đầu ra (tần suất 2 ngày/lần) để phân tích các chỉ tiêu áp dụng các phương pháp phân tích tiêu chuẩn [5, 6]. Các giá trị được lấy trung bình trong từng chế độ thí nghiệm.

Trên cơ sở kết quả phân tích chỉ tiêu COD (g/l) và đánh giá hiệu quả xử lý đối với hai hệ thí nghiệm (IC và MIC), chúng tôi thiết lập mối quan hệ giữa tải trọng với năng suất xử lý và hiệu suất xử lý của COD tổng và COD hòa tan.

Tải trọng (TT- kgCOD/m³/ngày), năng suất xử lý (NSXL- kgCOD/m³/ngày) và hiệu suất xử lý (HS - %) được tính theo các công thức sau:

$$TT = \frac{COD \times Q}{V} \quad (1)$$

$$NSXL = TT_{\text{vào}} - TT_{\text{ra}} \quad (2)$$

$$HS = \frac{TT_{\text{vào}} - TT_{\text{ra}}}{TT_{\text{vào}}} \times 100\% \quad (3)$$

Trong đó:

- Q: Lưu lượng (m³/ngày)
- V: Thể tích phản ứng của hệ xử lý (m³).

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Thành phần nước thải nuôi lợn

Nước thải có pH, giá trị COD tổng, COD hòa tan và TSS được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Thành phần nước thải đầu vào

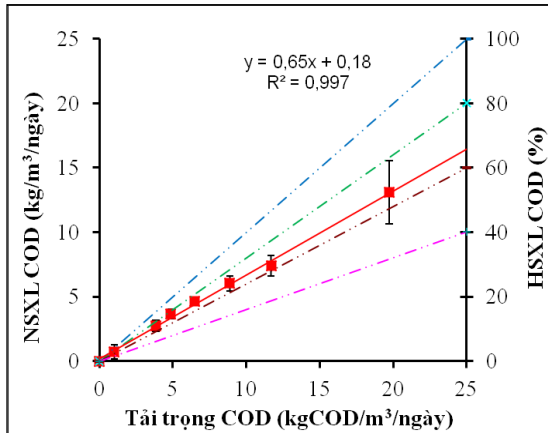
Thông số	Nước thải thô	Nước thải sau lọc thô
pH	7,1 - 7,5	7,2 - 7,5
COD _{tổng} (mg/l)	4.200 - 6.800	4.000 - 6.500
COD _{hòa tan} (mg/l)	750 - 1.450	550 - 1.100
TSS (mg/l)	1.500 - 2.800	1.450 - 2.750

Nước thải thô ban đầu khi lấy về có giá trị COD tổng trong khoảng 4.200-6.800 mg/l, COD hòa tan trong khoảng 750-1.450 mg/l, nước thải sau khi lọc thô có giá trị COD tổng trong khoảng 4.000-6.500 mg/l, COD hòa tan trong khoảng 550-1.100 mg/l.

3.2. Mối quan hệ tải trọng với năng suất xử lý và hiệu suất xử lý COD tổng

Mối quan hệ giữa tải trọng với năng suất xử lý và hiệu suất xử lý COD tổng của hai hệ thí nghiệm IC và MIC được trình bày trong Hình 3 và Hình 4. Trong đó, đường nét liền thể hiện đường hồi quy các giá trị NSXL trung bình. Các đường chéo nét đứt biểu diễn các đường mức hiệu suất xử lý tính theo tải trọng COD để việc quan sát và đánh giá được thuận tiện.

Đồ thị Hình 3 và Hình 4 cho thấy NSXL COD tổng với tải trọng COD đầu vào của hệ IC và MIC có mối quan hệ tuyến tính, tức là khi tăng tải trọng COD tổng đầu vào thì NSXL tăng lên. Trong các chế độ thí nghiệm, tải trọng COD tổng đầu vào chỉ khảo sát đến 20,8 kgCOD/m³/ngày vì khi tiếp tục tăng bằng cách bổ sung nước thải đậm đặc hoặc tăng lưu lượng đầu vào (giảm thời gian lưu) thì lượng cặn (TSS) đi vào hệ thí nghiệm sẽ gây ảnh hưởng rất lớn đến khả năng lắng và tách bùn (bao gồm cả cặn) dẫn đến bùn bị rửa trôi tại đầu ra.

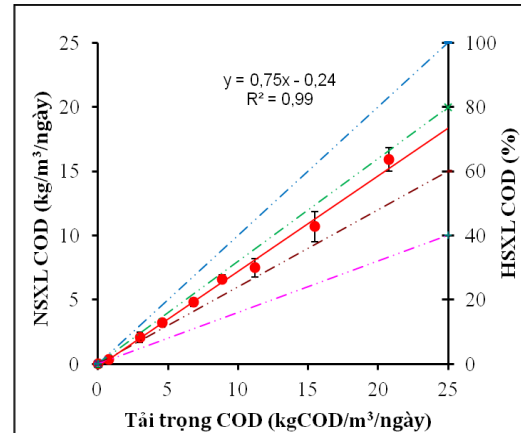


Hình 3. Mỗi quan hệ giữa NSXL và HSXL với TT COD tổng đầu vào (Hệ IC).

Đối với hệ IC (Hình 3), tải trọng COD tổng được khảo sát từ 1 - 19,7 kgCOD/m³/ngày thì NSXL của hệ xử lý được từ 0,7 - 13 kgCOD/m³/ngày và HS xử lý dao động trong khoảng từ 63-75% (giá trị trung bình là 69%), tại các điểm có tải trọng thấp thì hệ xử lý đạt HS xử lý trung bình trên 70% (HS cao nhất tại TT = 4,9 kgCOD/m³/ngày đạt 75%). Trong khi đó, hệ MIC (Hình 4) được khảo sát tải trọng COD từ 0,8 - 20,8 kgCOD/m³/ngày thì NSXL của hệ xử lý được từ 0,3 - 16 kgCOD/m³/ngày, đạt hiệu suất So sánh hệ MIC và hệ IC có thể thấy rằng hiệu suất xử lý COD hòa tan trung bình của hai hệ là tương đương nhau và ổn định như nhau do các giá trị NSXL nằm trong khoảng dao động gần như nhau, hiệu quả xử lý của hai hệ đều đạt giá trị trung bình là 65%.

ất xử lý trong khoảng từ 67-77 % (giá trị trung bình là 71%, trừ giá trị tại điểm ban đầu là giai đoạn khởi động có TT = 0,8 kgCOD/m³/ngày, HS = 42%), HS xử lý cao nhất tại TT = 20,8 kgCOD/m³/ngày đạt 77%.

So sánh hai hệ IC và MIC có thể thấy rằng HSXL trung bình của hệ MIC (71%) tương đương với hệ IC (69%). Tuy nhiên, hệ MIC có các giá trị NSXL nằm trong khoảng dao động nhỏ hơn so với hệ IC (so sánh khoảng cực đại trên và dưới tại mỗi giá trị TT trên đồ thị). Điều



Hình 4. Mỗi quan hệ giữa NSXL và HSXL với TT COD tổng đầu vào (Hệ MIC).

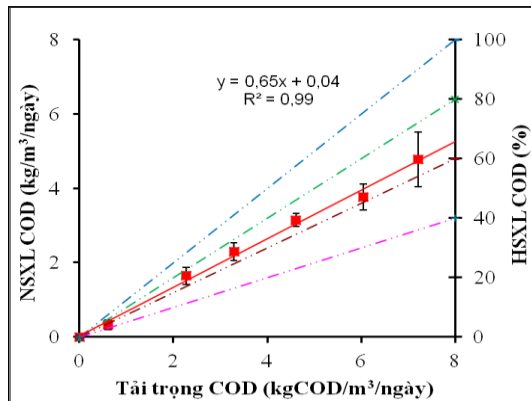
này cho thấy hệ MIC có khả năng xử lý COD tổng ổn định hơn so với hệ IC.

3.3. Mỗi quan hệ tải trọng với năng suất xử lý và hiệu suất xử lý COD hòa tan

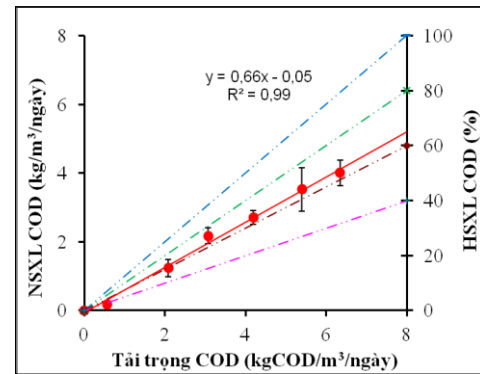
Mối quan hệ giữa tải trọng với năng suất xử lý và hiệu suất xử lý COD hòa tan của hai hệ thí nghiệm IC và MIC được thể hiện trong Hình 5 và Hình 6.

Đồ thị Hình 5 và Hình 6 cho thấy NSXL COD hòa tan với tải trọng COD đầu vào của hệ IC và MIC cũng có mối quan hệ tuyến tính, tức là khi tải trọng COD hòa tan đầu vào tăng thì NSXL tăng.

Đối với hệ IC (Hình 5), tải trọng COD hòa tan được khảo sát từ 0,6 - 7,2 kgCOD/m³/ngày thì NSXL của hệ xử lý được từ 0,3 - 4,8 kgCOD/m³/ngày và hiệu suất xử lý đạt trong khoảng từ 54-72% (giá trị trung bình là 65%). Trong khi đó hệ MIC (Hình 6) được khảo sát tải trọng COD hòa tan từ 0,6 - 6,3 kg COD/m³/ngày thì NSXL của hệ xử lý được từ 0,2 - 4,0 kgCOD/m³/ngày và đạt hiệu suất xử lý trong khoảng từ 60-71 % (giá trị trung bình là 65% - trừ thời điểm ban đầu là giai đoạn khởi động có TT = 0,6 kgCOD/m³/ngày, HS chỉ đạt 33%).



Hình 5. Mối quan hệ giữa NSXL và HSXL với TT COD hòa tan (Hệ IC).



Hình 6. Mối quan hệ giữa NSXL và HSXL với TT COD hòa tan (Hệ MIC).

Nhìn chung cả hai hệ IC và MIC có khả năng xử lý là tương đương nhau với NSXL COD tổng trong khoảng 0,7 - 13 kgCOD/m³/ngày với TT COD vào từ 1,0 - 20 kg/m³/ngày; NSXL COD hòa tan trong khoảng 0,3 - 4,0 kgCOD/m³/ngày với TT COD vào 0,6-7,0 kgCOD/m³/ngày.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu và đánh giá mối quan hệ giữa tải trọng với năng suất xử lý và hiệu suất xử lý COD của hai hệ thí nghiệm IC và MIC cho thấy: Hệ MIC xử lý COD tổng hiệu quả và ổn định hơn một chút so với hệ IC, còn đối với COD hòa tan thì cả hai hệ đều xử lý ổn định và hiệu quả xử lý là tương đương nhau. Về mặt ứng dụng thực tế, hệ MIC có ưu điểm hơn so với hệ IC về khía cạnh chế tạo và vận hành.

Mối quan hệ giữa tải trọng COD đầu vào với năng suất xử lý và hiệu suất xử lý COD thiết lập được làm cơ sở tính toán, thiết kế xây dựng một hệ xử lý nước thải giàu hữu cơ trên thực tế khi lựa chọn công nghệ xử lý yếm khí cao tải.

Lời cảm ơn

Các tác giả xin cảm ơn Đề tài cấp nhà nước “Nghiên cứu và ứng dụng công nghệ tiên tiến

phù hợp với điều kiện Việt Nam để xử lý ô nhiễm môi trường kết hợp với tận dụng chất thải của các trang trại chăn nuôi lợn.” Mã số: KC.08.04/11-15 do Bộ Khoa học và Công nghệ tài trợ.

Tài liệu tham khảo

- [1] G. Lettinga, Anaerobic digestion and wastewater treatment systems. Antonie van Leeuwenhoek, 1995, Vol.67, Issue 1, pp. 3-28.
- [2] Z.A. Kassam, L. Yerushalmi, Guiot, A market study on the anaerobic wastewater treatment systems. Water, Air, and Soil Pollution 143 (2003) 179-192, Kluwer Academic Publishers.
- [3] B. Jules van Lier, Grietje Zeeman, Current Trends in Anaerobic Digestion: Diversifying from waste(water) treatment to resource oriented energetic conversion techniques, 2009.
- [4] J.B. Van Lier, New challenges for wastewater: from pollution prevention to resource recovery in “Nieuwe Uitdagingen”, TU Delft, Published by water Management Academic Press, Delft, The Netherlands, 2009, pp. 57-67.
- [5] American Public Health Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Edition, American Public Health Association, 5220 D Closed Reflux, Colorimetric Method, 1995, pp. 5.15 - 5.16.
- [6] Adams. V. Dean, Water & Wastewater Examination Manual, Lewis Publishers, 1990, pp. 168-17.