

CÔNG NGHỆ XỬ LÝ NƯỚC THẢI SẢN XUẤT GIẤY BAO BÌ CÔNG NGHIỆP THEO PHƯƠNG PHÁP KỶ KHÍ CÓ GIÁ THỂ DI ĐỘNG Ở QUY MÔ PHÒNG THÍ NGHIỆM

TA THANH TÙNG, NGUYỄN THỊ PHƯƠNG THANH, NGUYỄN THỊ THU HIỀN

TÓM TẮT:

Mục đích của nghiên cứu là lựa chọn loại giá thể di động (MBBR) và tối ưu hóa yếu tố công nghệ như: thể tích giá thể và pH phù hợp trong bể sinh học kỵ khí có MBBR xử lý nước thải sản xuất giấy bao bì. Thí nghiệm được triển khai nghiên cứu trong 60 ngày. Kết quả nghiên cứu cho thấy, loại giá thể được lựa chọn có dạng khối lập phương màu trắng, kích thước 15 x 15mm, diện tích bề mặt riêng 8.000 -10.000 m²/m³, hiệu quả xử lý các chất hữu cơ COD đạt 88,08%; thể tích giá thể là 25%, pH từ 6,5 -7,5.

Từ khóa: Bể sinh học kỵ khí; MBBR; Xử lý nước thải; Giá thể sinh học; Giấy bao bì.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nước thải ngành sản xuất giấy bao bì được phát sinh phần lớn từ công đoạn xeo giấy, các công đoạn khác có phát sinh rất ít. Nồng độ các chất ô nhiễm nước thải sản xuất giấy bao bì trước khi vào bể kỵ khí có COD dao động trong khoảng 2.000 - 5.000 mg/l; TSS: 200 - 1.000 mg/l; nhiệt độ: 20 - 35°C; pH từ 6 - 9,5, AOX từ 3 - 10mg/l [1]. Hệ thống xử lý nước thải của nhà máy sản xuất giấy bao bì thông thường đều có 03 bước: 1) xử lý sơ bộ; 2) xử lý sinh học với bể kỵ khí (có một số ít các nhà máy) và hiếu khí (phần lớn) và 3) Xử lý bậc 3: lọc, khử trùng...

Tại Việt Nam, với những ưu điểm vượt trội, công nghệ MBBR đã chứng minh được hiệu quả xử lý đối với nhiều loại nước thải, trong đó có nước thải sản xuất mía đường, nước thải sản xuất bia, nước thải sinh hoạt, nước rỉ rác [2],... Tuy nhiên đến nay, chưa có nghiên cứu, thử nghiệm hay ứng dụng công nghệ MBBR trong bể kỵ khí của hệ thống xử lý nước thải sản xuất giấy và đặc biệt là nhà máy sản xuất giấy bao bì tại Việt Nam. Để tăng hiệu quả

xử lý nước thải của bể phân hủy kỵ khí, lựa chọn giải pháp bổ sung thêm giá thể, tăng thêm bề mặt bám dính, gia tăng số lượng vi sinh vật. Giải pháp này không phát sinh thêm các chi phí về xây dựng, thay đổi thiết bị, vận hành đơn giản, cần thiết và phù hợp với các quy mô công suất khác nhau.

Mục tiêu của nghiên cứu này là xây dựng được quy trình công nghệ xử lý sinh học kỵ khí đối với nước thải nhà máy sản xuất giấy bao bì có bổ sung thêm giá thể di động quy mô phòng thí nghiệm đạt hiệu suất xử lý COD đạt > 80%; BOD > 85% tăng > 5% so với bể kỵ khí thông thường.

Các vấn đề nghiên cứu được đặt ra của bài báo này là: 1) Lựa chọn giá thể phù hợp; 2) Ảnh hưởng của thể tích giá thể; 3) Ảnh hưởng của pH.

2. NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Sơ đồ thí nghiệm

Bể phản ứng là các bình nhựa 20 lít, thể tích làm việc 18 lít, có hình dạng trụ tròn, đường kính D = 26cm, chiều cao H= 36cm. (Hình 1)

2.2. Vật liệu nghiên cứu (Bảng 1)

2.3. Giá thể MBBR

Giá thể được lựa chọn thí nghiệm có đặc tính cơ bản và hình dạng được trình bày trong Bảng 2.

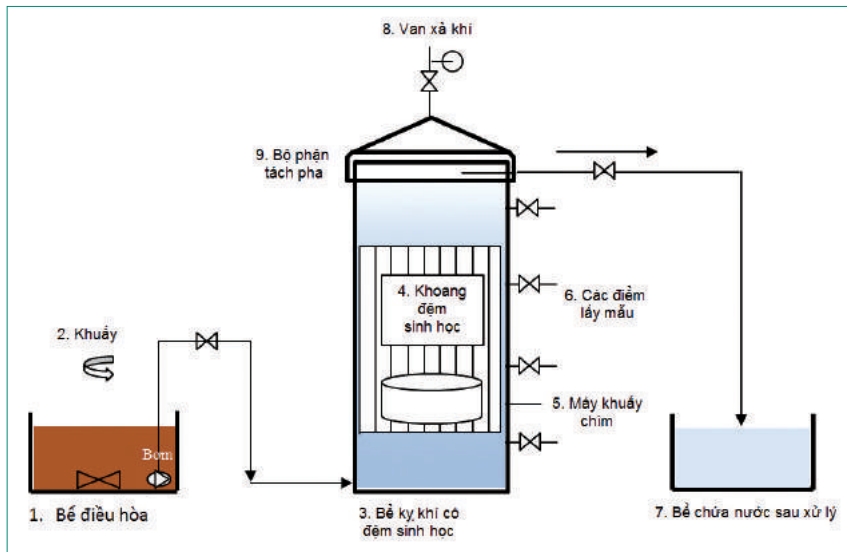
2.4. Vận hành bể kỵ khí

Thiết lập bể sinh học kỵ khí có giá thể MBBR:

Bước 1: Nạp bùn kỵ khí với khoảng 30-40% thể tích bể sinh học kỵ khí với nồng độ bùn trong bể sau khi nạp khoảng 10 kgVSS/m³;

Bước 2: Bổ sung thêm men vi sinh kỵ khí để cung cấp thêm các chủng men vi sinh, vi khuẩn và các enzyme làm xúc tác cho quá trình phân hủy chất hữu cơ của các vi sinh vật. Thành phần của men vi sinh: Vi khuẩn Lactic >5.10⁹ CFU/g; Vi khuẩn Bacillus > 3.10⁹CFU/g; Vi khuẩn Methane > 10⁹CFU/g; Xạ khuẩn >5.10⁹CFU/g; Nấm mốc >5.10⁹CFU/g; Ngoài ra còn có một số enzyme xúc tác cho quá trình hoạt động của các chủng vi sinh, nằm trong môi trường kỵ khí. Liều lượng bổ sung tương ứng 0,5ml/lít.

Bước 3: Cho nước thải vào bể với nồng độ 5,0 kg COD/m³/ngày, thời gian lưu nước 24 giờ.



Hình 1. Sơ đồ thí nghiệm: (1) Bể điều hòa V = 50 lít; (2) Thiết bị khuấy; (3) Bể kỵ khí có đệm sinh học V = 20 lít; (4) Khoảng chứa đệm sinh học MBBR; (5) Máy khuấy chìm (6) Các điểm lấy mẫu; (7) Bể chứa nước sau xử lý V = 20 lít; (8) Van xả khí; (9) Bộ phận tách pha rắn - lỏng - khí.

sinh học bằng phương trình Monod ứng dụng trong bể phản ứng MBBR với tốc độ tăng trưởng của vi sinh vật là tốc độ chuyển hóa VCR [3].

$$VCR = (COD_{\text{vào}} - COD_{\text{ra}}) \frac{Q_r}{V_m}$$

Trong đó: VCR là tốc độ chuyển hóa COD riêng phần màng sinh học trên giá thể (g/m³/ngày), COD vào là tổng hàm lượng COD vào bể phản ứng (g/m³), COD ra là tổng hàm lượng COD ra khỏi bể phản ứng (g/m³). Q_r là lưu lượng nước chảy qua bể phản ứng (m³/ngày) và V_m là tổng thể tích của giá thể (m³).

III. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Lựa chọn loại giá thể

Lựa chọn giá thể phù hợp dựa trên khả năng dính bám và sự phát triển

Bảng 1. Mẫu nước thải lấy sau hệ thống tuyển nổi của Công ty TNHH Giấy Hưng Hà và được phân tích tại phòng thí nghiệm, Trung tâm Công nghệ Môi trường - Viện Công nghệ giấy và Xenlulô

	Thông số	Đơn vị	Min	Max	TB
Đặc tính nước thải	pH	-	6,8	8,1	7,34
	COD	mg/l	2134	5087	3477
	BOD ₅	mg/l	1284	2895	1786
	Độ màu	Pt-Co	245	489	342
	TSS	mg/l	208	495	307
Bùn giống			Màu đen, lấy từ bể sinh học kỵ khí của Công ty		
Dinh dưỡng nuôi vi sinh (COD:N:P = 350:5:1)			Cơ chất sử dụng cho thí nghiệm là khoáng chất đa lượng NaHCO ₃ ; CaCl ₂ .2H ₂ O; MgSO ₄ .7H ₂ O; FeCl ₃ . Khoáng chất vi lượng 0,1% H ₃ BO ₃ ; CoCl ₂ .6H ₂ O; CuSO ₄ .5H ₂ O; FeCl ₃ .6H ₂ O; MnCl ₂ .2H ₂ O; Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O; ZnSO ₄ .7H ₂ O; KI, đường kính (glucoza, mantoza), Pepton, MgSO ₄ .7H ₂ O và KH ₂ PO ₄		

Theo dõi và kiểm soát các thông số bao gồm DO = 0mg/l; tỷ lệ dinh dưỡng: COD:N:P= 350:5:1, mật độ bùn vi sinh (sau lắng 30 phút) trong bể: từ 35-50%; Nhiệt độ nước thải: < 50°C; máy khuấy chìm tốc độ 20 -30 vòng/phút;

Tiến hành vận hành hệ thống ít nhất 30 ngày trước khi thực hiện các thí nghiệm [2].

2.5. Phương pháp tiến hành

Sau khi thiết lập bể kỵ khí ở mục 2.4, tiến hành các thí nghiệm. (Bảng 3)

2.6. Phương pháp thu và phân tích mẫu

Phương pháp thu và phân tích các thông số nước thải được thực hiện theo các Tiêu chuẩn, Quy chuẩn Việt Nam hiện hành. Các thông số đo nhanh như: Nhiệt độ được đo bằng

nhệt kế OEM – Trung Quốc; DO được đo bằng máy đo oxy hòa tan cầm tay Hanna HI9146-10, pH được đo bằng máy đo pH để bàn Hanna HI2210-02; BOD₅ được phân tích theo TCVN 6001-1:2008; COD theo phương pháp SMEWW 5220C:2012; Độ màu được phân tích bằng máy UV – VIS Model 7305 theo TCVN 6185:2008 và TSS được phân tích theo TCVN 6625:2000 trên thiết bị cân phân tích 5 số của Thụy Sĩ.

2.7. Đánh giá và xử lý số liệu

Số liệu được cập nhật, đồ thị được vẽ bằng phần mềm Excel. Xử lý thống kê, đánh giá độ tin cậy của số liệu, biểu đồ xác định các giá trị tối ưu bằng phần mềm SPSS-MBI 21.1. Đánh giá hiệu quả của bể phản ứng, sự phát triển màng

của vi sinh vật trên giá thể. Sự chuyển hóa của vi sinh vật trên giá thể là lượng cơ chất hình thành sinh khối và được tính theo phương trình Monod. Tốc độ chuyển hóa COD được sử dụng để tính toán hiệu quả của quá trình xử lý là VCR. Giá trị VCR đạt được của thí nghiệm với 03 loại giá thể được thống kê tổng hợp. (Bảng 4)

Kết quả nghiên cứu giá trị tốc độ chuyển hóa VCR trung bình (kg/m³.ngày) tương ứng với các loại giá thể được trình bày trong bảng 4 cho thấy, VCR của giá thể 3 đạt 4,68 ± 0,19 cao hơn so với các giá thể còn lại. Xét giá trị độ lệch chuẩn giá thể 3 có giá trị là 0,61 thấp hơn so với các giá thể khác.

Như vậy, giá thể phù hợp được lựa

Bảng 2. Mô tả một số đặc tính cơ bản của các giá thể sử dụng nghiên cứu

TT	Loại giá thể	Mô tả hình dạng, màu sắc	Kích thước (mm)	Vật liệu	Diện tích bề mặt riêng (m ² /m ³)	Khối lượng riêng (Kg/m ³)	Xuất xứ
1	GT1	Trụ tròn, đen	25 x 10	PP	620	100	Việt Nam
2	GT2	Tròn, dẹt, trắng	30 x 1,0	PE	4.000	150	Việt Nam
3	GT3	Vuông, trắng	15 x 15	PU	8.000 – 10.000	20	Nhật Bản

Hình 2. Hình ảnh các giá thể
Giá thể 1



Giá thể 2



Giá thể 3



Bảng 3.

TT	Tên thí nghiệm	Giá thể	Thể tích giá thể	pH	Thời gian lưu thủy lực	Số lượng mẫu
1	Thí nghiệm 1: Tìm giá thể phù hợp	Chọn 1 trong 3 loại	25%	Từ 6,8 – 7,2	12h	10 (5 ngày /mẫu)
2	Thí nghiệm 2: Thể tích giá thể phù hợp	Giá thể phù hợp	20; 25; 30 và 40%.	Từ 6,8 – 7,2	12h	10 (5 ngày /mẫu)
3	Thí nghiệm 3: Ảnh hưởng của pH	Giá thể phù hợp	25%	03 khoảng: 5,5 – 6,4; 6,5 – 7,5; 7,6 – 8,5	12h	10 (5 ngày /mẫu)

Nhiệt độ thí nghiệm duy trì ổn định trong khoảng 25 – 32°C. Tỷ lệ dinh dưỡng COD:N:P là 350:5:1. Tiến hành thu mẫu sinh khối, giá thể có dính bám màng, thu mẫu nước thải và phân tích pH, TSS, BOD₅ và COD.

Bảng 4. Thống kê giá trị tốc độ chuyển hóa VCR (kg/m³.ngày) và giá thể nghiên cứu (số mẫu n = 10)

STT	Giá thể thí nghiệm	Trung bình	Độ lệch chuẩn	Max	Min
1	GT1	3,86 ± 0,21	0,68	4,88	3,04
2	GT2	4,34 ± 0,22	0,71	5,41	3,04
3	GT3	4,68 ± 0,19	0,61	5,76	3,99

chọn là giá thể số 3. Loại giá thể 3 với đặc trưng cơ bản: diện tích bề mặt tiếp xúc >8000 m²/m³; hình khối vuông, kích thước 15x15mm; làm bằng vật liệu nhựa PU; khối lượng riêng 20kg/m³. Giá thể này khi soi trên kính hiện vi điện tử có cấu trúc nhiều vách ngăn, dạng tổ ong để tăng khả năng dính bám và có xuất xứ từ Nhật Bản.

Mối quan hệ giữa tốc độ chuyển hóa VCR và nồng độ COD:

Để đánh giá tốc độ sinh trưởng của sinh khối, xem xét mối quan hệ giữa tốc độ chuyển hóa VCR với nồng độ COD đầu vào của các giá thể. Kết quả nghiên cứu được trình bày ở Hình 3. Qua đó cho thấy tốc độ chuyển hóa của giá thể 3 tăng theo phương trình hàm mũ - logarit với giá trị tương quan chặt R² là 0,9184. Như vậy, với điều kiện pH = 6,5 – 7,5 và tỷ lệ dinh dưỡng COD:N:P là 350:5:1, khi thay giá trị biến

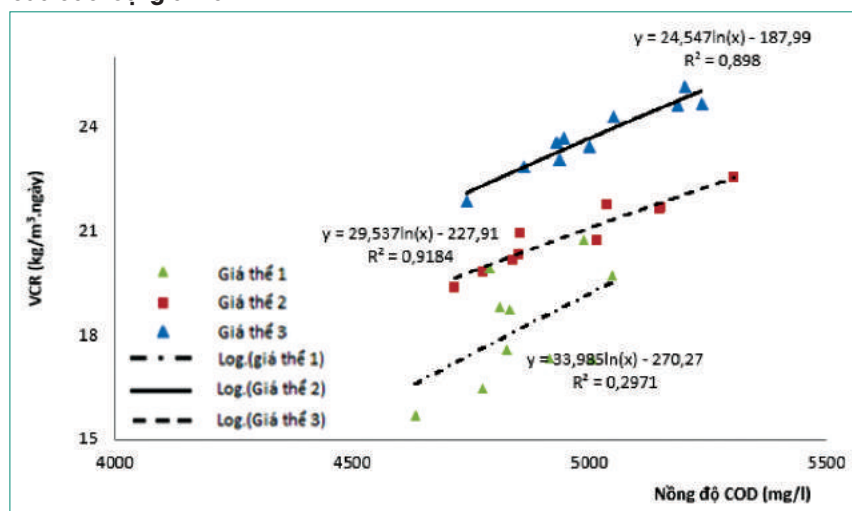
“y” là VCR và biến “x” là nồng độ COD vào phương trình trên đồ thị sẽ thiết lập được hàm số biến thiên của VCR theo nồng độ COD.

VCR (kg/m³.ngày) = 29,537ln(COD vào) – 227,92.

3.2. Ảnh hưởng của thể tích giá thể

Kết quả thí nghiệm được trình bày trong bảng 5 cho thấy, với loại giá thể 3, ở thể tích V = 25% hiệu suất xử lý

Hình 3: Phương trình mối quan hệ giữa tốc độ chuyển hóa VCR và COD đầu vào của các loại giá thể



COD trung bình đạt 80,16%, đồng thời có giá trị lớn nhất đạt 83,53%. Hơn nữa, ở mức thể tích giá thể 25% thì đạt hiệu suất ổn định so với thể tích giá thể 30 và 40% (Bảng 5). Và độ lệch chuẩn và sai số chuẩn ở mức giá thể 25% thấp hơn so với các mức thể tích giá thể khác. Vì vậy, lựa chọn thể tích giá thể 25% là tối ưu.

Một số nghiên cứu đã chỉ ra rằng hiệu suất xử lý của MBBR tỷ lệ thuận

với diện tích màng sinh học, diện tích màng có thể tăng lên bằng cách thêm giá thể. Tăng sinh khối màng bằng giá thể, thể tích giá thể có thể từ 20 – 70% tổng thể tích của bể phản ứng [4]. Tuy nhiên, một số nghiên cứu chỉ ra rằng có những hạn chế đối với sự chuyển động của giá thể khi mức độ lấp đầy ở mức 70%, việc tăng thể tích giá thể đồng nghĩa với việc tăng cường biện pháp để di động giá thể dẫn đến khả

năng bóc tách màng sinh học mạnh hơn vì vậy hiệu quả xử lý có thể sẽ không biến động trong giai đoạn ngắn nhưng về lâu dài sẽ giảm. Khi tăng cường biện pháp di động giá thể cũng sẽ dẫn đến đảo trộn các pha trong bể. Một số kết quả lại chỉ ra rằng ở mức độ lấp đầy 67% cũng không hiệu quả hơn so với lấp đầy ở 30% [5, 6]. Theo to Sokol (2003), tỷ lệ thể tích giá thể/thể tích làm việc của bể phản ứng là 0,55; nghiên cứu khác cho rằng tỷ lệ này là 0,6 – 0,7. Thể tích của giá thể MBBR so với thể tích bể được điều chỉnh theo tỷ lệ phù hợp, thường là < 50% thể tích bể.

3.3. Ảnh hưởng của pH

Kết quả thí nghiệm được trình bày trong bảng 6 và cho thấy, với pH trong khoảng từ 6,5 – 7,5 hiệu suất xử lý COD trung bình đạt lớn nhất 80,15%, giá trị lớn nhất đạt 85,11% và có hiệu suất ổn định hơn các khoảng giá trị pH khác. Hơn nữa, độ lệch chuẩn và sai số chuẩn của khoảng pH từ 6,5 – 7,5 thấp hơn so với các khoảng pH còn lại. Vì vậy, lựa chọn khoảng pH tối ưu là từ 6,5 – 7,5. Vì trong bể kỵ khí khoảng pH tốt nhất cho axit hóa là 5,5 – 6,5 và methan

Bảng 5. Hiệu suất xử lý COD (%) với thể tích giá thể khác nhau (Giá thể lựa chọn là giá thể 3)

Thể tích giá thể (%) VGT	Hiệu suất xử lý trung bình (%)	Độ lệch chuẩn	Giá trị nhỏ nhất	Giá trị lớn nhất	Số mẫu
20	75,38 ± 1,69	5,34	66,22	82,00	10
25	80,16 ± 0,65	2,05	77,16	83,53	10
30	81,26 ± 1,47	4,64	72,29	85,97	10
40	82,06 ± 1,19	3,76	74,82	86,31	10

Bảng 6. Hiệu suất xử lý COD (%) của nước thải có pH khác nhau

Giá trị pH	Hiệu suất xử lý trung bình (%)	Độ lệch chuẩn	Giá trị nhỏ nhất	Giá trị lớn nhất	Số mẫu
5,5 - 6,4	73,39 ± 1,15	3,64	68,67	80,10	10
6,5 – 7,5	80,15 ± 0,84	2,65	77,25	85,11	10
7,6 – 8,5	70,59 ± 1,37	4,23	63,13	79,13	10
40	82,06 ± 1,19	3,76	74,82	86,31	10

Bảng 7. Chất lượng nước sau khi xử lý của bể kỵ khí có ứng dụng giá thể MBBR

Điều kiện phù hợp	Các thông số	Đơn vị	Trung bình	Min	Max	Hiệu suất xử lý (%)
- Giá thể số 3; - Thể tích giá thể 25%; - pH từ 6,5 – 7,5	pH	-	7,19 ± 0,11	6,75	7,67	-
	COD	(mg/l)	950,7 ± 25,01	820	1055	80,87 ± 0,3
	BOD	(mg/l)	381,9 ± 13,71	300	425	85,15 ± 0,53
	TSS	(mg/l)	85,4 ± 0,7	420	538	40,35 ± 2,0

hóa là 7,8 – 8,2. Giai đoạn methan hóa được coi là bước giới hạn, nên cần thiết duy trì pH gần trung tính, pH thấp làm giảm hoạt động methan hóa gây tích tụ axit béo và hydro. pH tăng cao có thể do các chất dinh dưỡng chính bị thiếu hụt hoặc do có sự xuất hiện quá nhiều kim loại nặng (ở dạng vi lượng) bị kết tủa làm hạn chế quá trình trao đổi chất.

Hiệu quả xử lý nước thải

Ứng dụng các điều kiện tối ưu nghiên cứu được để xử lý nước thải, kết quả được trình bày trong Bảng 7. Qua đó cho thấy hiệu suất xử lý COD trung bình trên 80%, BOD trên 85%. Một số giá trị lớn nhất như BOD có mẫu đạt 425 mg/l và COD 1055 mg/l. Các giá trị này sẽ được xử lý tiếp tại bể phản ứng hiếu khí tại các nhà máy.

Tóm lại:

Giá thể MBBR đóng vai trò quan trọng đối với hiệu quả xử lý của bể

phản ứng kỵ khí. Mỗi loại giá thể có các thông số như: diện tích bề mặt, hình dạng, kích thước, độ xốp, trọng lượng riêng khác nhau mang lại hiệu quả xử lý khác nhau. Giá thể có tỷ trọng nhẹ hơn nước, có khả năng nổi, lơ lửng và chuyển động trong nước dưới tác động của lực đảo nước bởi thiết bị cấp nước đầu vào và máy khuấy nên mật độ vi sinh tái tạo tăng và hiệu quả xử lý [7].

Chinnaraj và Rao (2006) [8] đã thực hiện thí nghiệm bể phản ứng kỵ khí có sử dụng giá thể, hiệu suất xử lý COD đã giảm 80% - 85%, sản xuất khí sinh học đạt 520 l/kg COD, sau khi thay thế bể yếm khí bằng cách bổ sung hệ thống MBBR của bể UASB xử lý nước thải bột giấy. Bên cạnh đó, đã ghi nhận được giảm 6,4 Gg lượng khí thải carbon dioxide thông qua việc tiết kiệm tiêu thụ nhiên liệu hóa thạch (bằng 43,8 Gg carbon dioxide) trong 9 tháng. Tuy nghiên cứu này có

tính chất nước thải (giấy bao bì) khác so với nghiên cứu của Chinnaraj và Rao năm 2006 nhưng- hiệu quả xử lý COD cũng đạt > 80%, BOD >85%. Với giá thể bằng polymer xốp (giá thể 3 có diện tích bề mặt riêng rất lớn), nghiên cứu này đã thử nghiệm và hiệu quả xử lý tương đối cao, có thể ứng dụng thực tế tại doanh nghiệp.

4. KẾT LUẬN

Loại giá thể phù hợp với xử lý kỵ khí nước thải sản xuất giấy bao bì là loại màu trắng, hình dạng khối lập phương có kích thước 15 x 15mm, diện tích bề mặt riêng 8000 -10000 m²/m³, khối lượng riêng 20kg/m³, xuất xứ Nhật Bản. Hiệu suất xử lý nước thải của giá thể này đối với BOD là ≈ 85,39% và COD là ≈ 80,81%. Các thông số phù hợp trong quá trình vận hành là thể tích giá thể là 25%; pH tối ưu trong khoảng 6,5 – 7,5 ❖

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được hỗ trợ kinh phí từ Đề tài cấp Bộ Công Thương theo Hợp đồng số 070.2021.ĐT.BO/HĐKH-CN. Chúng tôi chân thành cảm ơn Bộ Công Thương đã tạo điều kiện giúp đỡ để hoàn thành tốt kết quả nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Gonzalez-Estrella, J., et al., 2017; A review of anaerobic digestion of paper and paper board waste. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology. 16(3): p. 569-590.
2. Nguyễn Thị Thu Hiền (2012), Nghiên cứu ứng dụng công nghệ lọc sinh học tuần hoàn nước ương nuôi giống cá biển, Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật Môi trường, Viện Công nghệ Môi trường, Hà Nội, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội.
3. Pfeiffer, T. and R. Malone (2006), Nitrification performance of a propeller-washed bead clarifier supporting a fluidized sand biofilter in a recirculating warmwater fish system. Aquacultural engineering. 34(3): p. 311-321.
4. Rodgers, M. and X.-M. Zhan, 2003; Moving-medium biofilm reactors. Reviews in Environmental Science and Biotechnology. 2(2-4): p. 213-224.
5. Luigi Falletti, 2013; Moving bed biofilm reactors. A case of study on paper mill wastewater treatment with MBBR. University of Padova, Italia.
6. Zhang, X., et al., 2016; Effect of filling fraction on the performance of sponge-based moving bed biofilm reactor. Bioresource technology. 219: p. 762-767.
7. Goode, C. (2010), Understanding biosolids dynamics in a moving bed biofilm reactor, Journal, Issue, p.
8. Chinnaraj, S. and G.V. Rao, 2006; Implementation of an UASB anaerobic digester at bagasse-based pulp and paper industry. Biomass and Bioenergy. 30(3): p. 273-277.

Ngày nhận bài: 20/8/2022;

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 25/8/2022;

Ngày chấp nhận đăng bài: 30/8/2022

Người phản biện:

TS. Nguyễn Hoài Nam

Thông tin tác giả:

TẠ THANH TÙNG, NGUYỄN THỊ PHƯƠNG THANH, NGUYỄN THỊ THU HIỀN
Viện Công nghiệp Giấy và Xenlulô