

Tối ưu hóa quá trình xử lý nước thải sản xuất bia bằng phương pháp kỵ khí

Lê Đức Mạnh¹, Lưu Thị Lệ Thủy²

¹*Viện Công nghiệp thực phẩm, 301 Nguyễn Trãi, Hà Nội, Việt Nam*

²*Phân Viện Công nghiệp thực phẩm tại thành phố Hồ Chí Minh*

Nhận ngày 03 tháng 6 năm 2009

Tóm tắt. Xử lý kỵ khí là phương pháp có hiệu quả nhất trong sử dụng để xử lý nước thải có độ ô nhiễm hữu cơ cao, có khả năng thu hồi năng lượng, tạo ra ít bùn, khả năng phân huỷ chất hữu cơ tới 75%. Đóng vai trò quyết định sự thành công của quá trình xử lý kỵ khí là những nhóm vi sinh vật tham gia quá trình, bao gồm các vi sinh vật lên men axit và vi sinh vật lên men metan. Các nhóm này nhìn chung lên men rất chậm và bị ảnh hưởng của rất nhiều yếu tố lý hoá học trong môi trường. Trong nghiên cứu này, phương pháp toán học được áp dụng để tối ưu hóa một số thông số quá trình trong hệ thống xử lý nước thải kỵ khí sử dụng hệ UASB cải tiến. Kết quả cho thấy, nồng độ bùn hoạt tính 14,2%, thời gian lưu thủy lực 14,5 giờ và tỉ lệ chất mang 58,3% v/v là giá trị tối ưu cho quá trình xử lý kỵ khí nước thải sản xuất bia.

Từ khóa: Tối ưu hóa, xử lý nước thải bia, xử lý kỵ khí, UASB.

1. Giới thiệu

Hiện nay có nhiều phương pháp xử lý nước thải. Phụ thuộc vào tính chất của nước thải để lựa chọn các phương pháp xử lý cho phù hợp. Nước thải từ các nhà máy chế biến thực phẩm có tỉ lệ BOD/COD cao nên rất phù hợp cho ứng dụng công nghệ sinh học [1,2]. Công nghệ tối ưu là công nghệ xử lý kỵ khí [1,6]. Trong quá trình này, rất nhiều nhóm vi sinh vật đóng vai trò quan trọng quyết định sự thành công của hệ thống. Trên thực tế, các trạm xử lý nước thải làm việc trong điều kiện không ổn định do dòng thải, nhiệt độ, đặc trưng nguồn thải... không ổn định. Một vài yếu tố có thể được kiểm soát,

nhưng một số khác lại không thể điều khiển được [7-12]. Trong phạm vi nghiên cứu này, chúng tôi ứng dụng phần mềm STATGRAPHICS và phương pháp toán học để xác định điều kiện tối ưu của một số thông số như: nồng độ bùn hoạt tính, thời gian lưu thủy lực, tỉ lệ chất mang nhằm tối ưu hiệu suất xử lý theo COD [11-13].

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

Nước thải

Nguồn nước thải được sử dụng là nước thải của xưởng bia – Viện Công nghiệp Thực phẩm đã được tách cặn thông qua bể lắng sơ bộ,

* Tác giả liên hệ. ĐT.: 84-4-38584481.
E-mail: manh@firi.ac.vn

chúng có thành phần hóa học như sau: COD 2500 – 3000 (mg/l), BOD₅ 1500 – 2000 (mg/l), DO 1-1,5 (mg/l), TS 2500 -2800 (mg/l), SS 1200 -2500(mg/l), pH 4,5 - 5,5.

Xác định COD

Theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 6491:1999

Qui hoạch thực nghiệm

Qui hoạch hoá thực nghiệm theo mô hình hoá bậc 2 tâm trực giao. Đánh giá tính có nghĩa của các hệ số hồi qui theo chuẩn Student. Đánh giá tính phù hợp của phương trình hồi qui theo chuẩn Fisher. Phần mềm STATGRAPHICS được sử dụng để tính toán các số liệu trong qui hoạch và các giá trị trong bảng đơn hình.

3. Kết quả và bình luận

Qui hoạch thực nghiệm

Sau khi khảo sát sơ bộ ảnh hưởng của các yếu tố như chất mang, pH, lượng bùn hoạt tính, nhiệt độ, tải trọng chất hữu cơ, thời gian lưu giữ thủy lực, các chất kích thích và ức chế lên quá trình xử lý kỵ khí. Chúng tôi chọn 3 yếu tố có ảnh hưởng chính lên quá trình xử lý là: pH, thời gian lưu trữ thủy lực và tỉ lệ chất mang được dùng trong hệ thống kỵ khí.

Để nghiên cứu ảnh hưởng của 3 nhân tố này lên quá trình xử lý kỵ khí, chúng tôi chọn ma trận thực nghiệm bậc 2 tâm trực giao đầy đủ và đặt: X₁ là hàm lượng bùn hoạt tính trong khoảng từ 5% - 15% (giá trị mã hoá: x₁); X₂ là thời gian lưu trữ thủy lực xác định khoảng từ 3 đến 18 giờ (giá trị mã hoá: x₂); X₃ là phần trăm thể tích hệ chất mang trong hệ thống bể kỵ khí với khoảng xác định từ 20 - 60% (giá trị mã hoá: x₃); Y là giá trị COD (mg/lít) đo được sau quá trình xử lý (hàm mục tiêu).

Giá trị mã hoá các mức thực nghiệm và khoảng biến thiên của các yếu tố thực nghiệm được xác định theo Bảng 1. Về mặt hình học mô hình là một hình lập phương có 8 đỉnh mỗi đỉnh ứng với một thực nghiệm. Để tìm được các số hạng bậc 2 ta tiến hành thêm các thực nghiệm ở tâm (mức gốc) và những thực nghiệm ở điểm sao (*) là những điểm nằm trên trục toạ độ của các nhân tố tương ứng. Như vậy để xác định 10 hệ số của phương trình hồi qui ta phải tiến hành 15 thực nghiệm theo ma trận qui hoạch, trong đó số thí nghiệm ở tâm n₀ =1 và cánh tay đòn sao d=1,215 và số hiệu chuẩn hoá φ = 0,7303. Dạng ma trận thực nghiệm mã hoá bậc 2 tâm trực giao đầy đủ của 3 nhân tố có dạng như Bảng 2. Kết quả thực nghiệm theo ma trận được trình bày trong bảng 3. Thí nghiệm thứ 15 là thí nghiệm ở tâm được tiến hành 4 lần. Phương sai tái hiện được xác định theo thí nghiệm bổ xung ở tâm là S²_{th} = 86,92, độ lệch chuẩn thu được là S_{th} = 9,32. Kết quả thực nghiệm cho thấy, khi ta thay đổi các yếu tố trong các khoảng đã được chọn thì giá trị COD đo được biến thiên trong khoảng từ 270 đến 738 mg/lít, điều này chứng tỏ các yếu tố lựa chọn đều có ảnh hưởng lên kết quả thực nghiệm y. Để đánh giá mức độ ảnh hưởng của các yếu tố trên lên kết quả thực nghiệm chúng tôi tiến hành xác định giá trị của các hệ số và đánh giá chuẩn t của từng hệ số thu được. Kết quả tính toán của các hệ số hồi qui b_{ij} được trình bày trong bảng 4. Đánh giá tính có nghĩa của hệ số hồi qui thu được thông qua chuẩn phân phối student (t). Tra bảng ta có t_p(f) = t_{0,05} (3) = 2,92, khi chọn độ tin cậy thống kê P=0,95 và bậc tự do của tập số liệu kết quả thí nghiệm f = n-1=2. Các giá trị tuyệt đối của t₂₃ và t₁₁ < t_p(f) nên 2 hệ số hồi qui thu được này không có nghĩa, do đó ta nhận được phương trình hồi qui như sau :

$$Y = 32,6 - 5,4x_1 - 28,7x_2 - 13x_3 - 7,9x_1x_2 + 3,4x_1x_3 + 12x_2^2 + 24,3x_3^2$$

Để kiểm định sự phù hợp của phương trình hồi qui thu được với thực nghiệm trong các miền biến số đã chọn, chúng tôi tiến hành thêm 8 thí nghiệm trong các miền đã chọn và sau đó đánh giá sự tương thích của phương trình qua chuẩn phân phối Fisher.

Số bậc tự do $f_1 = N - 1 = 7$, giá trị phương sai dư thu được là $S^2_{\text{dư}} = 412,6$, với giá trị phương sai khi làm 4 thí nghiệm bổ sung ở tâm $S^2_{\text{tâm}} = 69,2$ thì chuẩn Fisher có giá trị $F_{\text{tính}} = 15,6$. Giá trị tra bảng của chuẩn Fisher với mức ý nghĩa $p = 0,95$ và các bậc tự do $f_1 = 7, f_2 = 2$ là $F_{\text{bảng}}(f_1, f_2) = 19,353$. Như vậy giá trị $F_{\text{tính}} < F_{\text{bảng}}$ do đó phương trình hồi qui tìm được tương thích với thực nghiệm. Khi thay thế biến mã hoá bằng biến thật (X_i) ta có phương trình hồi quy sau:

$$Y = 27 - 1,6X_1 - 12X_2 - 2,3X_3 - 1,1X_1X_2 + 0,5X_2X_3 + 0,34X_2^2 + 0,46X_3$$

Tối ưu thực nghiệm

Để xây dựng một qui trình công nghệ tối ưu chúng ta cần xác định cụ thể giá trị của từng nhân tố trong khoảng xác định đã chọn được. Sử dụng phương pháp mạng đơn hình sẽ cho phép chúng ta xác định nhanh chóng giá trị các biến số mà ở đó giá trị COD thu được là thấp nhất. Trong không gian nhân tố 3 chiều, đơn hình là một hình lồi có 4 đỉnh, mỗi đỉnh là một

tổ hợp 3 điều kiện ứng với 3 nhân tố ảnh hưởng lên kết quả thực nghiệm. Người ta đã chứng minh được tọa độ của 4 đỉnh của đơn hình trong không gian R^3 là các tọa độ của 4 véc tơ hàng của ma trận X như trong Bảng 6. Biến đổi từ các biến mã hoá (x_i) sang các biến thật (X_i) và tiến hành thí nghiệm theo đơn hình trên các miền biến số đã chọn: hàm lượng bùn hoạt tính từ 5- 15%, thời gian lưu trữ từ 3 đến 18 giờ, tỉ lệ chất mang từ 20-60% v/v. Khi đó ma trận và kết quả thực nghiệm của đơn hình với kích thước thật thu được trong bảng 7. Tiến hành tối ưu hoá theo mạng đơn hình ta dễ dàng nhận thấy: khi thực hiện liên tiếp các đơn hình S_0, S_1, \dots, S_8 thì các đơn hình xoay quanh đỉnh thực nghiệm thứ 12 ứng với quá trình xử lý kỵ khí đo được có giá trị COD thấp nhất (542). Đỉnh này ứng với điều kiện thực nghiệm là: nồng độ bùn hoạt tính kỵ khí là 14,2%; thời gian lưu giữ thủy lực là 14 giờ 30 phút; tỉ lệ chất mang là 58,3% v/v. Để kiểm tra tính chính xác của phương pháp chúng tôi tiến hành 4 thực nghiệm ở điểm thực nghiệm này. Kết quả thực nghiệm thu được ở bảng 8 cho thấy, giá trị trung bình của 4 lần thực nghiệm là 553, giá trị phương sai thu được là $S^2 = 57,15 < S^2_{\text{tâm}} = 86,92$, như vậy kết quả thực nghiệm nằm trong giới hạn tin cậy. Điều đó chứng tỏ rằng kết quả thực nghiệm thu được là chính xác.

Bảng 1. Mức thực nghiệm và khoảng biến thiên của các yếu tố thực nghiệm trong quá trình xử lý kỵ khí

Mức thực nghiệm	x_1	x_2	x_3
+	15	18	60
-	5	3	20
0	10	10,05	40
λ	5	7,95	20

(Kí hiệu: + : mức cao; - : mức thấp; 0 : mức gốc; λ : khoảng biến thiên)

Bảng 2. Sơ đồ ma trận thực nghiệm mã hoá bậc 2 tâm trực giao

N	x ₀	x ₁	x ₂	x ₃	x ₁ x ₂	x ₁ x ₃	x ₂ x ₃	x ₁ ²	x ₂ ²	x ₃ ²	Y
1	+	+	+	+	+	+	+	x ₁ ² -φ	x ₂ ² -φ	x ₃ ² -φ	y ₁
2	+	-	+	+	-	-	+	x ₁ ² -φ	x ₂ ² -φ	x ₃ ² -φ	y ₂
3	+	+	-	+	-	+	-	x ₁ ² -φ	x ₂ ² -φ	x ₃ ² -φ	y ₃
4	+	-	-	+	+	-	-	x ₁ ² -φ	x ₂ ² -φ	x ₃ ² -φ	y ₄
5	+	+	+	-	+	-	-	x ₁ ² -φ	x ₂ ² -φ	x ₃ ² -φ	y ₅
6	+	-	+	-	-	+	-	x ₁ ² -φ	x ₂ ² -φ	x ₃ ² -φ	y ₆
7	+	+	-	-	-	-	+	x ₁ ² -φ	x ₂ ² -φ	x ₃ ² -φ	y ₇
8	+	-	-	-	+	+	+	x ₁ ² -φ	x ₂ ² -φ	x ₃ ² -φ	y ₈
9	+	+d	0	0	0	0	0	(+d) ² -φ	-φ	-φ	y ₉
10	+	-d	0	0	0	0	0	(-d) ² -φ	-φ	-φ	y ₁₀
11	+	0	+d	0	0	0	0	-φ	(+d) ² -φ	-φ	y ₁₁
12	+	0	-d	0	0	0	0	-φ	(-d) ² -φ	-φ	y ₁₂
13	+	0	0	+d	0	0	0	-φ	-φ	(+d) ² -φ	y ₁₃
14	+	0	0	-d	0	0	0	-φ	-φ	(-d) ² -φ	y ₁₄
15	+	0	0	0	0	0	0	-φ	-φ	-φ	y ₁₅

Bảng 3. Ma trận và kết quả thực nghiệm quá trình xử lý kỹ khí

TN	Biến số mã hoá			Biến số thực			Kết quả
	x ₁	x ₂	x ₃	X ₁	X ₂	X ₃	Y
1	+	+	+	15	18	60	313
2	-	+	+	5	18	60	432
3	+	-	+	15	3	60	580
4	-	-	+	5	3	60	672
5	+	+	-	15	18	20	356
6	-	+	-	5	18	20	549
7	+	-	-	15	3	20	613
8	-	-	-	5	3	20	738
9	1,215	0	0	16,72	10,05	40	325
10	-1,215	0	0	3,79	10,05	40	515
11	0	1,215	0	10	19,71	40	270
12	0	-1,215	0	10	3,9	40	736
13	0	0	1,215	10	10,05	64,3	341
14	0	0	-1,215	10	10,05	15,7	696
15 ₁	0	0	0	10	10,05	40	347
15 ₂	0	0	0	10	10,05	40	336
15 ₃	0	0	0	10	10,05	40	358
15 ₄	0	0	0	10	10,05	40	342

Bảng 4. Giá trị các hệ số của phương trình hồi qui của quá trình xử lý kị khí

Hệ số hồi qui		Chuẩn phân phối Student	
b_0	32,6		
b_1	-5,4	t_1	14,63
b_2	-28,7	t_2	24,24
b_3	-13	t_3	12,37
b_{12}	-7,9	t_{12}	3,60
b_{13}	3,4	t_{13}	4,06
b_{23}	-1,6	t_{23}	2,62
b_{11}	0,6	t_{11}	1,54
b_{22}	12	t_{22}	3,08
b_{33}	24,3	t_{33}	5,43

Bảng 5. Các thí nghiệm kiểm tra sự thích ứng mô hình của quá trình xử lý kị khí

N	Biến số mã hoá			Biến số thực			Kết quả		
	x_1	x_2	x_3	X_1	X_2	X_3	Y_{th}	Y_{tt}	Độ sai biệt
16	0,2	+1	+1	11	18	60	347	321,2	84,9
17	-0,2	+1	+1	9	18	60	371	348,4	73
18	0,4	0,5	+1	12	14	60	326	332,3	5,6
19	-0,4	0,5	+1	8	14	60	403	381,8	64
20	0,6	-0,5	-1	13	6	20	584	575,6	10
21	-0,6	-0,5	-1	7	6	20	650	667,9	45,6
22	0,8	-1	-1	14	3	20	714	681,5	151
23	-0,8	-1	-1	6	3	20	822	794,9	104,7

Bảng 6. Toạ độ véc tơ của đơn hình xuất phát

0,5	0,289	0,204
-0,5	0,289	0,204
0	-0,578	0,204
0	0	-0,612

Bảng 7. Toạ độ véc tơ các điểm ảnh của đơn hình và kết quả tính toán

S	Đỉnh	X_1	X_2	X_3	Y_{tt}
S_0	1	12,5	12,35	44,08	578
	2	7,5	12,35	44,08	813
	3	10	5,45	44,08	1052
	4	10	10,05	27,76	942
S_1^3	5	10	17,7	33,2	457
S_2^1	6	5,8	14,4	27,9	1226
S_3^2	7	9,2	15,8	34,8	585
S_4^4	8	7,4	16,1	31,8	874
S_5^6	9	14,6	8,9	29,6	638
S_6^6	10	8,2	7,5	48,2	884
S_7^8	11	13,8	4,2	45,0	915
S_8^{10}	12	14,2	14,5	58,3	542
S_9^9	13	13,8	7,2	35,0	815
S_{10}^{11}	14	6,2	12,3	56,0	942

Bảng 8. Kết quả thực nghiệm kiểm chứng theo phương pháp đơn hình

TT	Điều kiện thực nghiệm			Kết quả		
	X_1	X_2	X_3	Y_u	Y_m	Sai số
1	14,2	14,5	58,3	528	542	1,63
2	14,2	14,5	58,3	566	542	2,87
3	14,2	14,5	58,3	548	542	0,07
4	14,2	14,5	58,3	571	542	3,67

4. Kết luận

Qua các kết quả thực nghiệm thu được khi xử lý nguồn nước thải của nhà máy bia bằng phương pháp sinh học. Chúng tôi nhận thấy nguồn nước thải nhà máy bia có chỉ số COD cao chủ yếu là trong thành phần nhiều tinh bột và các chất hữu cơ... Để xử lý tốt nguồn nước thải này đòi hỏi quá trình xử lý kỵ khí phải được thực hiện với các yếu tố ảnh hưởng chính như nồng độ bùn hoạt tính, thời gian lưu thủy lực và tỉ lệ chất mang trong UASB ở các giá trị lần lượt là 14,2%; 14 giờ 30 phút và 58,3%.

Tài liệu tham khảo

- [1] Đỗ Thị Huyền, Nguyễn Xuân Nguyên, Phạm Hồng Hải, *Quản lý nước thải thành phố*, 1998. Tr 246 - ...53.
- [2] J. Gruller, *Công trình làm sạch nước thải loại nhỏ*. Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội, 1985. Tr 50 -115.
- [3] Harald Cramen, *Phương pháp toán học trong thống kê*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 1970.
- [4] J.M. Hicks, *Fundamental Concepts in the Design of Experiments*. 3rd ed, Rinehart and Winston, NY., 1982.
- [5] Lê Đức Ngọc, *Xử lý số liệu và kế hoạch hoá thực nghiệm*, 1997.
- [6] Lê Huy Hoàng, *Chuyên đề ô nhiễm nước*, Đại học KHTN Hà Nội, 1991.
- [7] Nguyễn Văn Uyên, Nguyễn Tiến Thắng, *Những kiến thức cơ bản về công nghệ sinh học*, NXB Giáo dục, Hà Nội, 1999
- [8] Trần Hiếu Nhuệ, Lâm Minh Triết, *Xử lý nước thải*, Trường Đại học Xây dựng, Hà Nội.
- [9] Trần Thị Thanh, *Công nghệ vi sinh*, NXB Giáo dục, Hà Nội, 2003
- [10] Trần Văn Nhân, Ngô Thị Nga, *Giáo trình Công nghệ xử lý nước thải*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2002
- [11] J. Antharry. M.C.H.E. Boonicore, *Waste management Perrys chemical engineers handbook*. 6th ed, Anniversary edition, Section 26. p 3 - 74.
- [12] M. Arora, *Biological Control of Environmental Pollution*, Vol 1, Anmol Publications PVT, Ltd. New Delhi, India, 1998.
- [13] W.W. Eckenfelder, *Industrial water pollution control*. Mc, Graw Hill Book Company Inc. 1989. P 117 - 137.

Optimization of factors in wastewater anaerobic treatment

Le Duc Manh¹, Luu Thi Le Thuy²

¹Food Industries Research Institute (FIRI), 301 Nguyen Trai, Hanoi, Vietnam

²Branch of Food Industries Research Institute in Ho Chi Minh city

Anaerobic process is the most effective method for high-organic polluted wastewater treatment. It was able to generate energy, to cause less activated sludge and to improve treatment yield to 75% COD based. In this process, acidifying and methanogenic microorganisms plays an important role in the success of process. These groups, in general, grow slowly and sensitive to chemical-physical factors. Mathematical method has been used in this study to optimize several factors in anaerobic beer wastewater treatment. The results shown that the optimal value of activated sludge concentration, hydrolytic retention time and supporter ratio were 14.2%, 14.5% and 58,3%, respectively.

Keywords: Optimization, beer wastewater treatment, anaerobic process, UASB.