

QUÁ TRÌNH KẾT HẠT BÙN SINH HỌC HIẾU KHÍ TRONG XỬ LÝ NƯỚC THẢI VÀ KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG THỰC TIỄN

Lê Ngọc Thuần

Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

Tóm tắt

Quá trình kết hạt bùn sinh học thông thường được hình thành trong cả hai điều kiện hiếu khí và kỵ khí. Quá trình kết hạt bùn sinh học diễn ra trong điều kiện kỵ khí đã được đề cập đến trong nhiều nghiên cứu, nhưng trong điều kiện hiếu khí thì chỉ mới được quan tâm nghiên cứu trong thời gian gần đây. Công nghệ bùn hạt kỵ khí đã được ứng dụng rộng rãi với nhiều công trình trong thực tiễn, nhưng việc ứng dụng công nghệ này trong điều kiện hiếu khí còn chưa nhiều, còn thiếu những nghiên cứu cung cấp cơ sở cho việc ứng dụng này. Hạt bùn hiếu khí chủ yếu được ghi nhận trong hệ thống xử lý nước thải theo mẻ (SBR), có sự chọn lọc thủy lực. Hạt bùn hiếu khí được ghi nhận là có khả năng vượt trội về xử lý ni tơ và phân hủy chất hữu cơ ở tải lượng cao. Bài báo này cung cấp những thông tin về quá trình hình thành bùn hạt hiếu khí, đặc tính của hạt bùn hiếu khí, những yếu tố ảnh hưởng đến quá trình hình thành và duy trì trạng thái ổn định của hạt bùn hiếu khí và những triển vọng ứng dụng trong thực tế xử lý nước thải.

Từ khóa: Hạt bùn sinh học hiếu khí; Nitơ; Chất hữu cơ; Nước thải

Abstract

Aerobic biological granulation process in wastewater treatment and the practical application

Granulation usually occurs in both anaerobic and anaerobic conditions. The anaerobic granulation process has been mentioned in many studies. However, aerobic granulation has only been studied in recently. The anaerobic sludge technology has been extensively used in industrial process. In contrast, the application of this technology in aerobic conditions is still limited as there is still lack of research providing the scientific basis for this application. Aerobic sludge was mainly recorded in sequencing batch reactor (SBR) with hydraulic selection. Aerobic granules have been found to be effective in nitrogen removal and decomposition of high loading organic matter. This article provides information on the formation of aerobic sludge, the characteristics of aerobic granules, the factors influencing the formation and maintenance of steady state of aerobic granules and the application prospects in wastewater treatment.

Key words: Aerobic biological granule; Nitrogen; Organic matter; Wastewater

1. Tổng quan

Công nghệ bùn hạt sinh học hiếu khí được quan tâm nghiên cứu trong lĩnh vực công nghệ kỹ thuật môi trường và đã đạt được nhiều thành tựu có ý nghĩa. Quá trình kết hạt sinh học là một quá trình tự gắn kết của quần thể vi sinh vật với mật độ cao trong môi trường xử lý nước thải.

Hiện tượng kết hạt bùn sinh học được biết đến trong hệ xử lý kỵ khí dòng bùn chảy ngược (UASB) đối với cả nước thải sinh hoạt và nước thải công nghiệp [9]. Bùn hạt sinh học kỵ khí chủ yếu gồm các nhóm sinh vật sinh metan, hoặc nhóm acetic hóa và nhiều nhóm vi sinh vật lên men kỵ khí, hệ thống này đã được áp dụng nhiều trong

Nghiên cứu

các hệ thống xử lý kỵ khí từ những năm 1980 [5]. Quá trình bùn hạt sinh học hiếu khí được hình thành trong các quá trình phân hủy hiếu khí các chất hữu cơ, xử lý ni tơ trong điều kiện hiếu khí hoặc thiếu khí (Liu, 2014). Trong điều kiện kỵ khí hoặc thiếu khí, bùn hạt sinh học có sự phát triển của quần thể các vi sinh vật oxy hóa amoni kỵ khí (ANAMMOX) (Kartal, 2010).

Quá trình kết hạt bùn sinh học hiếu khí thường được biết đến và nghiên cứu trong các hệ bể xử lý dạng theo mẻ (SBR), thời gian hình thành bùn hạt sau khoảng 40 ngày vận hành, chưa thấy hiện tượng kết hạt bùn sinh học trong hệ bể xử lý theo dòng liên tục [2, 11]. Hiện tượng này khác với bùn hạt kỵ được biết đến đã lâu trong công trình xử lý dòng bùn chảy ngược (UASB). Cho đến hiện nay, các nghiên cứu thường tập trung vào tìm các điều kiện tối ưu để đạt trạng thái ổn định của bùn hạt hiếu khí, các yếu tố ảnh hưởng đến sự kết hạt bùn sinh học hiếu khí, thành phần quần thể vi sinh vật trong hạt bùn, khả năng áp dụng quá trình này trong thực tiễn.

Hạt bùn sinh học hiếu khí là một dạng kết tụ của một tập hợp các vi sinh vật, có mật độ vi sinh vật cao, khả năng lắng nhanh. Hạt bùn hiếu khí có thể tự được sinh ra hoặc phát triển trên bề mặt của hạt vật liệu nền như than hoạt tính, vật liệu nhựa hoặc cát. So với bùn hoạt tính thông thường thì hạt bùn sinh học hiếu khí có một số ưu điểm như sau:

- Thời gian lưu của sinh khối duy trì lâu hơn, điều này cho phép có thể duy trì hàm lượng sinh khối cao trong hệ thống xử lý trong khi vẫn có thể duy trì tải trọng xử lý cao.

- Khả năng lắng của hạt bùn hiếu khí tốt hơn, tốc độ lắng của hạt bùn phụ thuộc vào kích thước và trọng lượng của hạt

bùn, tốc độ lắng dao động trong khoảng 50 - 90 m/h.

- Hạt bùn có kích thước lớn tạo điều kiện để tồn tại các môi trường khác nhau trong cùng một hạt bùn (kỵ khí, thiếu khí, hiếu khí), điều này giúp quá trình nitrat hóa và phản nitrat hóa diễn ra đồng thời, nâng cao khả năng xử lý ni tơ trong nước thải [13].

- Quá trình tạo bùn hạt hiếu khí có thể được sử dụng để xử lý nhiều loại nước thải khác nhau, có khả năng chịu được hiện tượng shock tải lượng do có cấu trúc hạt đặc biệt và duy trì nồng độ sinh khối cao [12].

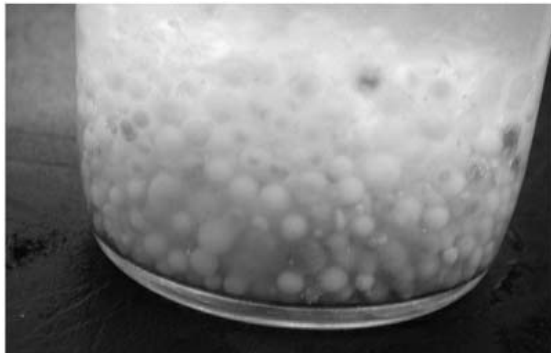
2. Đặc điểm của bùn hạt hiếu khí

2.1. Cơ chế hình thành bùn hạt

Quá trình tạo hạt là quá trình các bông bùn kết dính với nhau dưới tác dụng của polymer ngoại bào. Lực xáo trộn càng mạnh thì các vi sinh vật càng tiết ra nhiều polymer ngoại bào để kết dính lại với nhau hoặc là sẽ bị rửa trôi ra ngoài. Độ xáo trộn cao tạo điều kiện va chạm tốt và tác động xoáy hình elip làm các hạt được vo tròn, bề mặt mịn có dạng hình cầu, đặc chắc.

Bùn hạt được hình thành trên môi trường đầy đủ chất dinh dưỡng, các điều kiện vận hành nghiêm ngặt như pH = 6.8 - 7.2. Oxy hoà tan phải lớn hơn 2 mg/l, thời gian lưu nước càng ngắn thì khả năng tạo hạt càng cao, do chế độ chọn lọc kích thước hạt bùn thuận lợi hơn, tải lượng chất hữu cơ cao hơn. Trong thực tế các giai đoạn hình thành hạt bùn được chia theo cơ chế như sau: Thích nghi, hình thành hạt và trưởng thành. Ban đầu hạt được hình thành là những viên dạng sợi trong bể phản ứng bắt đầu phát triển nhanh hơn, những hạt này được gọi là những hạt ban đầu. Giai đoạn tương ứng từ lúc bắt đầu cho đến khi hình thành hạt ban đầu gọi

là giai đoạn thích nghi. Tương tự, những hạt ban đầu có thể phát triển hoàn toàn và nồng độ sinh khối thì không thay đổi. Giai đoạn hình thành hạt tương ứng từ những hạt ban đầu đến điểm trưởng thành. Dựa vào sự phân loại trên, quá trình hình thành hạt được bắt đầu và sau đó trưởng thành trong bể phản ứng.



Hình 1: Màu sắc hạt bùn trưởng thành [7]

2.2. Khả năng lắng của bùn hạt

Khả năng lắng của bùn hạt là một chỉ tiêu quan trọng, liên quan trực tiếp đến khả năng lưu bùn và khả năng loại tách bùn ra khỏi nước sau khi xử lý. Tốc độ lắng của bùn hạt hiếu khí rất dao động, từ 18 - 90 m/h, thậm chí có thể lên tới 130 m/h [18]. Tốc độ lắng này tương đương với tốc độ lắng của bùn hạt kỵ khí, nhưng cao hơn rất nhiều tốc độ lắng của bùn sinh học hiếu khí thông thường (chỉ khoảng 7 - 10 m/h) [14]. Chỉ số thể tích bùn (SVI), là một chỉ tiêu thể hiện khả năng lắng của bùn hạt, nằm trong khoảng 50 - 80 ml/g, thậm chí có thể đạt 20 ml/g [6].

2.3. Hình dạng và kích thước bùn hạt

So với bùn hoạt tính thông thường thì bùn hạt có bề mặt nhẵn, hình tròn hoặc hình elip. Các nghiên cứu trong phòng thí nghiệm chỉ ra rằng hình dạng bùn hạt phụ thuộc vào một số điều kiện vận hành như: tải trọng chất hữu cơ, loại cơ chất sử dụng, quần thể vi sinh vật và chế độ sục khí. Màu sắc của bùn hạt phụ thuộc vào thành phần nước thải và nhóm vi sinh vật chiếm

ưu thế trong bùn hạt, bùn hạt có màu vàng hoặc hơi đen [18]. Kích thước hạt là đặc tính vật lý quan trọng, nằm trong khoảng 0,2 đến 16 mm [2, 6]. Sự phân bố về kích thước của bùn hạt liên quan đến nhiều yếu tố, trong đó có tải lượng chất hữu cơ, kích thước của bùn hạt thường lớn hơn khi vận hành với tải lượng chất hữu cơ lớn, ngược lại kích thước bùn hạt sẽ nhỏ hơn nếu duy trì chế độ sục khí mạnh và thiếu cơ chất dài (Li, 2008). Nếu kích thước nhỏ hơn 4 mm, hạt bùn hiếu khí có khả năng lắng và mật độ vi sinh vật tốt hơn. Tuy nhiên nếu kích thước hạt lớn hơn 4 mm, đường kính hạt lớn hơn có thể làm giảm khả năng lắng và mật độ hạt bùn (Toh, 2003). Nồng độ ô xy hòa tan (DO) là yếu tố giới hạn chính đối với hoạt động chuyển hóa và sự phát triển kích thước của bùn hạt. Hạt bùn có kích thước 0.5 mm có khả năng loại bỏ chất hữu cơ cao hơn 3 lần so với bùn hạt có kích thước 1 mm [10].

2.4. Tính kỵ nước bề mặt tế bào

Tính kỵ nước bề mặt tế bào đối với bùn hạt rất khác so với bùn dạng bông thông thường. Tính kỵ nước của tế bào có sự khác nhau đáng kể trước khi và sau khi hình thành hạt hiếu khí. Tính kỵ nước bề mặt tế bào gia tăng từ 50,6% ở giai đoạn trước khi hình thành hạt đến 75,1% sau khi hạt hình thành. Điều đó nói lên rằng sự hình thành hạt hiếu khí sẽ kết hợp với sự gia tăng tính kỵ nước của tế bào. Tính kỵ nước bề mặt tế bào luôn được xem là đóng vai trò quan trọng trong việc cố định tế bào và bám dính của tế bào lên bề mặt cũng như sự dính bám giữa các tế bào với nhau [16].

2.5. Poymer ngoại bào (EPS) của bùn hạt hiếu khí

Các hợp chất EPS (Extracellular Polymeric Substances) là những hợp chất hữu cơ phân tử lớn được tiết ra bởi vi sinh

Nghiên cứu

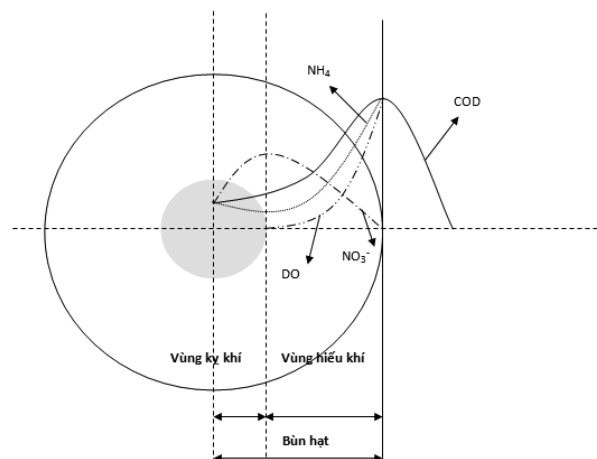
vật (chủ yếu là vi khuẩn) trong các điều kiện môi trường nhất định. Thành phần chính của EPS là protein (PN), polysaccharit (PS), axit humic, axit nucleic, lipid, và các hợp chất khác của tế bào. EPS có thể được sử dụng bởi chính vi sinh vật, vì ít nhất 50% PS và 30% PN trong EPS là những hợp chất dễ phân hủy sinh học. EPS trong trong bùn hạt hiếu khí bao gồm nhóm hợp chất dễ phân hủy và khó phân hủy sinh học. EPS dễ phân hủy sinh học có tốc độ phân hủy chậm hơn khoảng 5 lần so với acetate, nhưng nhanh hơn 50 lần so với EPS khó phân hủy [17].

2.6. Khả năng xử lý chất hữu cơ của bùn hạt

Bùn hoạt tính có thể được phát triển và được sử dụng để xử lý nước thải hữu cơ khác nhau bao gồm sữa, bia, chế biến cá, rác thành phố. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng hiệu quả xử lý COD ổn định từ việc xử lý tốt nước thải hữu cơ với bùn hoạt tính bằng cách tăng từng nồng độ của chất hữu cơ từ 6 đến 15 kg COD/m³.ngày. Mật tích cực của tải trọng COD trong sử dụng bùn hoạt tính có thể bị giới hạn bởi sự thay đổi lượng oxy, các nghiên cứu cho thấy không có sự khác biệt lớn về tốc độ xử lý chất hữu cơ khi thay đổi kích cỡ bùn hạt.

2.7. Khả năng xử lý ni tơ và phốt pho

Sự hình thành của các vi khuẩn hiếu khí không phụ thuộc vào nồng độ cơ chất. Các hạt có thể được tạo thành với nồng độ COD từ 500 - 3000 mg/l. Arrojo (2004) phát triển bùn hoạt tính xử lý nước thải công nghiệp từ các nhà máy sữa với tổng số COD của 1500 - 3000 mg/L, COD hòa tan là 300 - 1500 mg/L và tổng nitơ: 50 - 200 mg/L trong hai SBR. Một bể hoạt động với điều kiện thiếu oxy 10 - 30 phút, nhưng bể còn lại luôn luôn trong điều kiện hiếu khí. Các bể phản ứng đã được áp dụng sử dụng các mức tải trọng hữu cơ và nitơ lên đến 7 kg COD/m³.ngày và 0,7 kgN/m³.ngày với hiệu quả xử lý N 70%. Trong một thử nghiệm của xử lý nước thải chăn nuôi bò sữa, việc loại bỏ hiệu quả đến 90% đối với COD, 80% đối với Tổng N và 67% cho Tổng P với tỷ lệ thể tích trao đổi là 50% và thời gian của 1 chu kỳ là 8h. Tác giả Wang SG và cộng sự [17] đã phát triển bùn hoạt tính với nước thải nhà máy bia sau chín tuần hoạt động. Các vi khuẩn hiếu khí có hiệu quả loại bỏ cao và ổn định là 88,7% đối với COD và 88,9% cho NH₄⁺ với tỷ lệ trao đổi thể tích là 50% và chu kỳ là 6h. Các vi khuẩn hiếu khí xuất hiện vào ngày 19 trong bể phản ứng dùng để xử lý nước thải nhà máy sản xuất bột giấy.



Hình 2: Sơ đồ về nồng độ chất nền trong hạt hiếu khí [7]

Tuỳ thuộc vào cấu trúc hình cầu (spherical dense structure), hạt hiếu khí có đặc tính riêng của bùn hiếu khí ở lớp ngoài và bùn kỵ khí ở lớp trong vì vậy nitrogen có thể dễ dàng bị loại bỏ nếu sự khuếch tán oxygen bị giới hạn hoặc đường kính của hạt thì đủ lớn. Do đó, trong bùn hạt tồn tại hai điều kiện khác nhau. Điều kiện kỵ khí ở tâm (central core) và điều kiện hiếu khí ở phần bên ngoài (outer part). Bên trong hạt vi khuẩn hình que (rod bacteria) chiếm ưu thế (predominant) và có nhiều lỗ hổng (cavities). Những lỗ hổng này có thể tăng cường (enhance) sự vận chuyển chất nên từ khối chất lỏng vào trong hạt và đồng thời những sản phẩm trung gian (intermediate product) hoặc sản phẩm phụ (by-product) cùng với các sản phẩm khác có thể dễ dàng được vận chuyển từ bên trong hạt ra bên ngoài khối chất lỏng.

Bùn hạt hiếu khí có khả năng loại bỏ các hợp chất của ni tơ. Trong 1 hạt hiếu khí, một gradient DO tồn tại và để mô tả quá trình oxy hóa khử của các bùn hạt có thể chia thành 3 vùng: vùng hiếu khí sau đó là vùng thiếu khí và vùng kỵ khí với rất nhiều các loài vi sinh vật. Các vi sinh vật này cho phép sự phát triển của vi khuẩn dinh dưỡng khác trong hạt bùn với các chức năng trao đổi chất khác nhau bao gồm vi khuẩn nitrat hóa, vi khuẩn khử ni tơ và vi khuẩn kỵ khí (và cả vi sinh vật sinh khí metan). Bùn hiếu khí đã được thử nghiệm đồng thời cho các chất hữu cơ và loại bỏ ni tơ. Khi nghiên cứu xử lý nước thải từ ngành công nghiệp đóng hộp cá với tốc độ xả thải lên đến 1,72 kg COD/m³.ngày. Ni tơ amoni đã được loại bỏ thông qua quá trình oxy hóa khử nitrat đến 40% khi đó tải lượng ni tơ là 0,18 kg N/m³.ngày. Sự hình thành của bùn hiếu khí hoàn chỉnh diễn ra sau 75 ngày của quá trình với đường kính là 3,4 mm, SVI của 30 mL/g VSS và 1 hạt bùn có tỉ trọng khoảng 60g VSS/L [15, 17]. Theo Tác giả [17] đã sử dụng màng lọc sinh học bùn hiếu khí để xử lý nước thải tổng hợp. Tại dòng thải tổng Cacbon hữu cơ (TOC) từ 56,8 - 132,6 mg/L, quá trình loại bỏ TOC từ 84,7 - 91,9%. Việc loại bỏ

ni tơ amoni từ 85,4 - 99,7% với nồng độ từ 28,1 - 38,4 mg/L và tổng Ni tơ được xử lý là 41,7 - 78,4%. Hạt bùn hiếu khí với khả năng nitrat hóa một phần và hoạt động của anammox đã phát triển trong bể SBR ở phòng thí nghiệm với điều kiện giới hạn oxy sau 1,5 tháng. Tốc độ loại bỏ Ni tơ tăng lên từ 0,05 đến 0,45 kgN/m³.ngày trong 2 tháng [16]. Điều này đã xác nhận các hạt chứa trong quá trình Anammox có thể phát triển trong điều kiện DO thấp cho mục đích loại bỏ Ni tơ.

Các hạt hiếu khí có thể được sử dụng để làm tăng quá trình loại bỏ photpho sinh học. Việc loại bỏ photpho có thể thành công khi sử dụng quá trình loại bỏ photpho bằng sinh học, sự khử photpho và kết tủa photpho với các hạt bùn hiếu khí [3]. Tác giả Dulekgurgen và cộng sự [4] đã sử dụng hạt bùn hiếu khí để loại bỏ photpho trong bể SBR với bùn hoạt tính. Nồng độ của photpho đầu vào là 20,8 mg/L, trong khi đầu ra là 0,1 mg/l với quá trình loại bỏ P lên đến 99,6%. Theo Cassidy và Belia [3] đạt được hiệu quả loại bỏ COD và P là 98% và với N và VSS là hơn 97% khi phản ứng bùn hiếu khí diễn ra với nước thải cấp từ các lò mổ có chứa tổng COD là 7685 mg/L; COD hòa tan là 5163 mg/L; TKN là 1057 mg/L và VSS là 1520 mg/l. Young và cộng sự (2008) đã sử dụng acetate là cơ chất chính để gia tăng hạt hiếu khí cho việc tích lũy photpho. Hiệu suất loại bỏ COD là 95% đã đạt được với gần 100% loại bỏ photpho. Thành phần cơ bản và sự phân phối các bùn chứa P rất cao kết hợp với các chất nên có tỉ lệ P/COD khác nhau, và sự tích lũy canxi và magie trong các hạt bùn và gần như tương đồng với polyphosphat trong các hạt.

3. Kết luận

Các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình kết hạt sinh học bao gồm: áp lực sục khí, thời gian gian sục khí, tuy nhiên các kết quả chủ yếu mới thực hiện ở quy mô phòng thí nghiệm, với nước thải giả định. Các nghiên

Nghiên cứu

cứu sau này cần thử nghiệm trên nước thải sinh hoạt hoặc công nghiệp thực tế, trên quy mô lớn hơn, đặc biệt cần có các giải pháp rút ngắn thời gian khởi động.

Duy trì ổn định của bùn hạt trong thời gian dài còn khó khăn, cơ chế hình thành bùn hạt còn chưa được thống nhất rõ ràng trong các nghiên cứu, chưa có các số liệu mang tính định lượng. Khả năng xử lý chất hữu cơ (COD), ni tơ và phốt pho trong nước thải của bùn hạt khá tốt so với bùn hoạt tính truyền thống, do có sự hoạt động đồng thời của nhóm vi sinh vật nitrat hóa và phân nitrat trong cùg hạt bùn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Arrojo B, Mosquera Corral A, Garrido JM, Méndez R. (2004). *Aerobic granulation with industrial wastewater in sequencing batch reactors*. Water Res, 38, 3389 - 3399.
- [2]. Beun JJ, Hendriks A, Van Loosdrecht MCM. (1999). *Aerobic granulation in a sequencing batch reactor*. Water Res, 33, 2283 - 2290.
- [3]. Cassidy DP, Belia E. (2005). *Nitrogen and phosphorus removal from an abattoir wastewater in a SBR with aerobic granular sludge*. Water Res, 39, 4817 - 4823.
- [4]. Dulekgurgen E, Ovez S, Artan N. (2003). *Enhanced biological phosphate removal by granular sludge in a sequencing batch reactor*. Biotechnol Lett, 25, 687 - 693.
- [5]. Hickey RF, Wu WM, Veiga MC, Jones R. (1991). *The start-up, operation and monitoring of high-rate anaerobic treatment systems*. Water Sci Technol, 24, 207 - 255.
- [6]. Gao DW, Lin L, Liang H, Wu WM (2010). *Aerobic granules developed with different granulation enhancement strategies in sequencing batch reactor*. J Hazard Mater.
- [7]. Jang A, Yoon YH, Kim IS, Kim K S, Bishop PL (2003). *Characterization and evaluation of aerobic granules in sequencing batch reactor*. J Biotechnol;105:71 - 82.
- [8]. Jiang HL, Tay JH, Liu Y. (2003). *Ca²⁺ augmentation for enhancement of aerobically grown microbial granules in sludge blanket reactor*. Biotechnol Lett, 25, 95 - 103.
- [9]. Lettinga G, van Velsen AFM, Hosma SW, de Zeeuw W, Klapwijk A. (1980). *Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment*. Biotechnol Bioeng, 22, 699 - 734.
- [10]. Lin LH, Jian LW, Xiang HW, Yi Q. (2005). *The formation and characteristics of aerobic granules in sequencing batch reactor (SBR) by seeding anaerobic granules*. Process Biochem, 40, 1 - 7.
- [11]. Morgenroth E, Sherden T (1997). *Aerobic granular sludge in a sequencing batch reactor*. Water Res, 31, 3191–3194.
- [12]. Moy BYP, Tay JH, Toh SK, Liu Y, Tay STL. (2002). *High organic loading influences the physical characteristics of aerobic sludge granules*. Lett Appl Microbiol, 34, 407 - 412.
- [13]. Shi XY, Yu HQ, Sun YJ, Huang X (2009). *Characteristics of aerobic granules rich in autotrophic ammonium-oxidizing bacteria in a sequencing batch reactor*. Chem Eng J, 147, 102 - 109.
- [14]. Schmidt JE, Ahring BR (1996). *Granular sludge formation in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors*. Biotechnol Bioeng, 49, 229 - 235.
- [15]. Schwarzenbeck N, Erley R, Wilderer PA (2004). *Aerobic granular sludge in an SBR-system treating wastewater rich in particulate matter*. Water Sci Technol;4 9:21 - 46.
- [16]. Tay JH, Liu QS, Liu Y (2002). *Characteristics of aerobic granules grown on glucose and acetate in sequential aerobic sludge blanket reactors*. Environ Technol, 23, 931 - 936.
- [17]. Wang SG, Liu XW, Gong WX, Gao BY, Zhang DH, Yu HQ (2007). *Aerobic granulation with brewery wastewater in a sequencing batch reactor*. Bioresour Technol, 98, 2142 - 2147.
- [18]. Zheng YM, Yu HQ, Liu SJ. (2006). *Formation and instability of aerobic granules under high organic loading conditions*. Chemosphere, 63, 1791 - 1800.

BBT nhận bài: 20/10/2018; Phản
biện xong: 24/12/2018