الملخص العربي للبحث

أداء وآلية المعالجة المسبقة للبكتيريا التحللية الجديدة لتعزيز تحلل الحمأة المنشطة للنفايات وإنتاج الأحماض الدهنية المتطايرة أثناء التخمير الحمضي

Performance and mechanism of a novel hydrolytic bacteria pretreatment to boost waste activated sludge disintegration and volatile fatty acids production during acidogenic fermentation

Eid S. Gaballah [a,b], Lei Gao [a] , Emad A. Shalaby [c], Biao Yang [a], Mostafa Sobhi [d] , Mahmoud M. Ali [e,f] , Mohamed Samer [g], Chongpeng Tang [h], Guangcan Zhu [a]

a *School of Energy and Environment, Southeast University, Nanjing, 210096, China*
b *Agricultural Engineering Department, Faculty of Agriculture, Fayoum University, Fayoum, 63514, Egypt*
c *Department of Biochemistry, Faculty of Agriculture, Cairo University, Giza, 12613, Egypt*
d *Agricultural and Bio-systems Engineering Department, Faculty of Agriculture, Alexandria University, Alexandria, 21526, Egypt*
e *College of Water Resources and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing, 100083, China*
f *Agricultural Engineering Research Institute (AEnRI), Agricultural Research Center (ARC), Giza, 12611, Egypt*
g *Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Cairo University, El-Gammaa Street, 12613, Giza, Egypt*
h *China CAMCE Environmental Technology Co., Ltd, Beijing, 100080, China*

الملخص العربي:

في الآونة الأخيرة، برز اهتمام كبير باستخدام الأحماض الدهنية المتطايرة المخمرة من الحمأة المنشطة الناتجة عن النفايات (WAS) كمصدر كربون فعال للغاية لإزالة العناصر الغذائية من مياه الصرف الصحي. يتيح هذا النهج إعادة استخدام المواد العضوية في الحمأة المنشطة ويساعد على الحد من إنتاجها. ومع ذلك، فإن فعالية إنتاج الأحماض الدهنية المتطايرة من عملية التخمر اللاهوائي للحمأة (WAS) محدودة بشكل كبير بسبب عدم كفاية ذوبان وتحلل WAS. يؤدي تثبيط تلامس المواد البوليمرية خارج الخلية (EPS) وجدران الخلايا الميكروبية إلى عدم إمكانية تحويل معظم المركبات العضوية في WAS بواسطة الميكروبات إلى أحماض دهنية متطايرة. ولمواجهة هذه المشكلة، تم تطوير ثقافة مبتكرة مختلطة من البكتيريا المحللة (HB) (الأنواع البكتيرية السائدة الرئيسية: Lactobacillus acetotolerans) في هذه الدراسة، كتقنية معالجة مسبقة صديقة للبيئة، لتعزيز إنتاج الأحماض الدهنية المتطايرة (VFAs) من الحمأة المنشطة بالنفايات (WAS). يهدف هذا العمل إلى دراسة نوع جديد من بكتيريا اللاكتوباسيلس أسيتوتوليرانس (Lactobacillus acetotolerans) (HB) بجرعات مختلفة (1%، 2%، 4%، 6% ، 8% حجم/حجم) ، وبالاضافة الي دمجه مع درجات حرارة منخفضة لتعزيز إنتاج الأحماض الدهنية المتطايرة (VFAs) خلال عملية التخمير للحمأة، مع توضيح الآليات الكامنة وراء ذلك. أولًا، تم تقييم تأثير المعالجة المسبقة ببكتيريا اللاكتوباسيلس أسيتوتوليرانس على إنتاجية الأحماض الدهنية المتطايرة ومحتواها خلال عملية التخمير في الحمأة. ثانيًا، تم تقييم تأثير المعالجة المسبقة ببكتيريا اللاكتوباسيلس أسيتوتوليرانس على تفكك الحمأة وإذابتها بناءً على إطلاق محتوى المادة العضوية. ثالثًا، تم تقييم تأثير المعالجة المسبقة ببكتيريا اللاكتوباسيلس أسيتوتوليرانس على العمليات البيولوجية الأولية من خلال التغيرات في نشاط الإنزيم. رابعًا، تم دراسة التغيرات في نمط المجتمع الميكروبي خلال عملية التخمير لفهم العلاقة بين أداء التخمير والمجتمع الميكروبي. تم تحقيق أعلى إنتاج من VFAs بمقدار 517 و 518 مجم / جم من VSS باستخدام المعالجات المسبقة 8 HB٪ و 8 HB٪C° 35- ، والتي كانت حوالي 3.6 أضعاف مقارنة بالكنترول (143 مجم / جم من

VSS)، على التوالي. بالإضافة إلى ذلك، كان حمضا الأسيتيك والبروبيونيك هما الحمضين الرئيسيين للأحماض الدهنية المتطايرة في جميع المفاعلات، إلا أن حمضي البروبيونيك والبيوترك ارتفعا خلال المعالجة المسبقة بـ HB مقارنةً بمجموعة الكنترول. كشف تحليل الآلية أن HB عزز التوافر الحيوي للمواد العضوية المنبعثة من WAS، وسرّع بشكل ملحوظ من ذوبان الحمأة. كما تحسّن النشاط الإنزيمي للبروتياز وα-غلوكوزيداز، الذي يرتبطو أرتباط قوي بالتحلل المائي وتكوّن الحماض. علاوةً على ذلك، أظهر تحليل المجتمع الميكروبي أن المعالجة المسبقة بـ HB زادت بشكل ملحوظ من نسب البكتيريا المحللة للماء والمحمضة. حيث تُقدم هذه الدراسة نهجًا واعدًا ومنخفض التكلفة وصديقًا للبيئة لاستعادة الموارد من WAS وتحويلها إلى منتجات عالية القيمة.

Gaballah, E. S., Gao, L., Shalaby, E. A., Yang, B., Sobhi, M., Ali, M. M., ... & Zhu, G. (2025). Performance and mechanism of a novel hydrolytic bacteria pretreatment to boost waste activated sludge disintegration and volatile fatty acids production during acidogenic fermentation. *Journal of Environmental Management*, *376*, 124399. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.124399

Journal of Environmental Management 376 (2025) 124399

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Environmental Management

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jenvman

Research article

Performance and mechanism of a novel hydrolytic bacteria pretreatment to boost waste activated sludge disintegration and volatile fatty acids production during acidogenic fermentation

Eid S. Gaballah [a,b], Lei Gao [a], Emad A. Shalaby [c], Biao Yang [a], Mostafa Sobhi [d], Mahmoud M. Ali [e,f], Mohamed Samer [g], Chongpeng Tang [h], Guangcan Zhu [a,*]

[a] School of Energy and Environment, Southeast University, Nanjing, 210096, China
[b] Agricultural Engineering Department, Faculty of Agriculture, Fayoum University, Fayoum, 63514, Egypt
[c] Department of Biochemistry, Faculty of Agriculture, Cairo University, Giza, 12613, Egypt
[d] Agricultural and Bio-systems Engineering Department, Faculty of Agriculture, Alexandria University, Alexandria, 21526, Egypt
[e] College of Water Resources and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing, 100083, China
[f] Agricultural Engineering Research Institute (AEnRI), Agricultural Research Center (ARC), Giza, 12611, Egypt
[g] Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Cairo University, El-Gammaa Street, 12613, Giza, Egypt
[h] China CAMCE Environmental Technology Co., Ltd, Beijing, 100080, China

ARTICLE INFO

Keywords:
Acidogenic fermentation
Waste activated sludge
Volatile fatty acids
Hydrolytic bacteria pretreatment
Microbial community

ABSTRACT

In this study, an innovative mixed hydrolytic bacteria culture (HB) (the main dominant bacterial species: *Lactobacillus acetotolerans*), as an environmentally friendly pretreatment technique, was developed to enhance the volatile fatty acids (VFAs) production from waste-activated sludge (WAS). The highest VFAs production of 517 and 518 mg/g VSS were achieved with HB 8% and HB 8%-35 °C pretreatments, which were almost 3.6 folds compared to the control (143 mg/g VSS), respectively. The mechanism analysis revealed that HB boosted the bioavailability of organics released from WAS and significantly accelerated sludge solubilization. Protease and α-glucosidase enzymatic activity were improved and associated with hydrolysis and acidogenesis. Furthermore, the microbial community analysis showed that HB pretreatment significantly increased the hydrolytic and acidifying bacteria proportions (e.g., *Veillonella*, *Macellibacteroides* sp., *Clostridium_sensu_stricto_1* and *Bacteroides* sp., etc.). This study provides a promising, low-cost, and eco-friendly approach for recovering resources from WAS and transforming them into high-value products.

1. Introduction

Exploring environmentally friendly and cost-effective disposal methods of waste-activated sludge (WAS) has attracted considerable attention from the public due to rapid urbanization and industrialization (Fang et al., 2021). Reports have shown that China's annual production of WAS exceeds 65 million tons (Wang et al., 2024). Generally, WAS contains a significant amount of water, perishable materials, harmful pollutants, and disease-causing organisms. Additionally, it emits an unpleasant odor. Therefore, improper disposal of WAS poses further risks to human health and the long-term sustainability of the environment (Guo et al., 2021). Fortunately, the resource potential of WAS has received significant attention owing to its abundant organic resources (Zhang et al., 2024).

So far, anaerobic fermentation has been regarded as a promising approach for the disposal of WAS. Additionally, anaerobic fermentation can efficiently transform valuable organic resources, such as proteins and carbohydrates, into high-value products like volatile fatty acids (VFAs) (Zhu et al., 2023). VFAs are valuable products that play a crucial role as intermediate products in acidogenic fermentation (AF). The hydrolysis reaction is the primary rate-limiting step in the formation of VFAs. This process occurs by a sequence of biochemical reactions mediated by several enzymes, including a complex microbial structure and competitive metabolic pathways (Shi et al., 2022). The hydrolytic bacteria break down intricate organic compounds like proteins, carbohydrates, and fats into smaller organic compounds (e.g., amino acids, monosaccharides, and fatty acids) (Nguyen et al., 2019). Following hydrolysis, acidogenic bacteria utilize the hydrolysis products and store

* Corresponding author.
E-mail address: gc-zhu@seu.edu.cn (G. Zhu).

https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.124399
Received 27 October 2024; Received in revised form 18 January 2025; Accepted 29 January 2025
Available online 5 February 2025
0301-4797/© 2025 Elsevier Ltd. All rights are reserved, including those for text and data mining, AI training, and similar technologies.