

الملخص العربي للبحث

العلاقة بين الهضم اللاهوائي للنفايات الحيوانية والملوثات المرتبطة بالمضادات الحيوية: مراجعة نقدية

Nexus between anaerobic digestion of animal waste and antibiotic-related pollutants: A critical review

Mahmoud M. Ali^{a,b,c}, Leli Zhang^{a,b}, Yongdong Xu^{a,b}, Mohamed S. Gaballah^d, **Eid S. Gaballah^{e,f}**, M. Samer^g, Zhidan Liu^{a,b,*}

a Laboratory of Environment-Enhancing Energy (E2E), College of Water Resources and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China.

bKey Laboratory of Agricultural Engineering in Structure and Environment, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100083, China

c Agricultural Engineering Research Institute (AEnRI), Agricultural Research Center (ARC), Giza 12611, Egypt

d School of Engineering and Technology, Central Michigan University, Mt. Pleasant, MI 48859, USA

e School of Energy and Environment, Southeast University, Nanjing 210096, China

f Agricultural Engineering Department, Faculty of Agriculture, Fayoum University, Fayoum 63514, Egypt

g Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Cairo University, Giza, Egypt

الملخص العربي:

يُعدّ الهضم اللاهوائي لمخلفات الحيوانات تقنية مستدامة لإنتاج الطاقة المتجددة. ومع ذلك، غالبًا ما تُفرز المضادات الحيوية المستخدمة على نطاق واسع في الماشية بكميات كبيرة (17-90%)، مما يؤثر على إنتاج الغاز الحيوي ويعزز انتشار جينات مقاومة المضادات الحيوية (ARGs) والعناصر الجينية المتنقلة (MGEs)، مما يُشكل مخاطر جسيمة على الصحة العامة. تناقش هذه المراجعة بشكل نقدي التفاعل المعقد بين الهضم اللاهوائي، والمضادات الحيوية، وجينات مقاومة المضادات الحيوية، والعناصر الجينية المتنقلة، مع التركيز على الآليات والكائنات الدقيقة والإنزيمات المعنية. تُظهر المضادات الحيوية تأثيرات متباينة على إنتاج الميثان، تتراوح بين التثبيط وعدم التأثير، بل وحتى التحفيز. علاوة على ذلك، تختلف كفاءة إزالة المضادات الحيوية، وجينات مقاومة المضادات الحيوية (ARGs)، والعناصر الجينية المتحركة (MGEs) باختلاف نوع المضاد الحيوي، وتركيزه، ومعايير الهضم اللاهوائي وخصائصه. تشمل مسارات إزالة المضادات الحيوية الرئيسية إزالة الكلور، والتحلل المائي، وإزالة الميثيل، وتعديلات مختلفة للمجموعات الوظيفية مثل مجموعات الأمينو، والفورميل، والأسيتيل، والهيدروكسيل. تلعب إنزيمات مثل أسيتات كيناز، ولاكاز، وإستراز، وأستيل ترانسفيراز، ونازعة الهيدروجين أدواتًا محورية في التحلل الحيوي للمضادات الحيوية. تستطيع أجناس مثل ميثانوميثيلوفوران، وميثانوثريكس، وديسلفومونيل، وسينتروفاسيا التحلل الحيوي للمضادات الحيوية مثل إريثروميسين، وسلفاميثوكسازول، وأمبيسيلين بتركيزات تتراوح بين 10 و250 ميكروغرام/لتر. تم اقتراح استراتيجيات مثل المعالجة المسبقة واللاحقة والهضم المشترك وإضافة المواد الكربونية لتعزيز كفاءة إزالة الملوثات واستعادة الطاقة. وأخيرًا، تم تحديد التحديات وتوجهات البحث المستقبلية لتعزيز فعالية الهضم اللاهوائي في إدارة ملوثات المضادات الحيوية وتعزيز استدامة تحويل النفايات إلى طاقة.

Ali, M. M., Zhang, L., Xu, Y., Gaballah, M. S., **Gaballah, E. S.**, Samer, M., & Liu, Z. (2025). Nexus between anaerobic digestion of animal waste and antibiotic-related pollutants: A critical review. *Applied Energy*, 382, 125284. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.125284>



Nexus between anaerobic digestion of animal waste and antibiotic-related pollutants: A critical review

Mahmoud M. Ali^{a,b,c}, Leli Zhang^{a,b}, Yongdong Xu^{a,b}, Mohamed S. Gaballah^d,
Eid S. Gaballah^{e,f}, M. Samer^g, Zhidan Liu^{a,b,*}

^a Laboratory of Environment-Enhancing Energy (E2E), College of Water Resources and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China.

^b Key Laboratory of Agricultural Engineering in Structure and Environment, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100083, China

^c Agricultural Engineering Research Institute (AEIRI), Agricultural Research Center (ARC), Giza 12611, Egypt

^d School of Engineering and Technology, Central Michigan University, Mt. Pleasant, MI 48859, USA

^e School of Energy and Environment, Southeast University, Nanjing 210096, China

^f Agricultural Engineering Department, Faculty of Agriculture, Fayoum University, Fayoum 63514, Egypt

^g Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Cairo University, Giza, Egypt.

HIGHLIGHTS

- Interactions among AD, antibiotics, ARGs, and MGEs were comprehensively discussed.
- Antibiotic residue repercussions on anaerobic digestion performance are discussed.
- Effects of antibiotic properties and AD parameters on antibiotics, ARGs, MGEs removal.
- Discussed: mechanisms, microorganisms, enzymes affecting antibiotic, ARG, MGE in AD.

ARTICLE INFO

Keywords:

Anaerobic digestion
Livestock waste
Antibiotic residue
Antibiotic resistance genes
Mobile genetic elements

ABSTRACT

Anaerobic digestion (AD) of animal waste is a sustainable technology for renewable energy production. However, antibiotics widely used in livestock are often excreted in significant amounts (17–90 %), affecting biogas production and promoting the spread of antibiotic resistance genes (ARGs) and mobile genetic elements (MGEs) which pose serious public health risks. This review critically discusses the intricate interplay among AD, antibiotics, ARGs, and MGEs focusing on mechanisms, microorganisms, and enzymes involved. Antibiotics exhibit contrasting effects on methane production, from inhibition to non-effect or even stimulation. Moreover, the removal efficiency of antibiotics, ARGs, and MGEs varies based on the antibiotic's type, concentration, and characteristic and AD parameters. Key antibiotic removal pathways include dechlorination, hydrolysis, demethylation, and various modifications of functional groups such as amino, formyl, acetyl, and hydroxyl groups. Enzymes like acetate kinase, laccase, esterase, acetyltransferases, and dehydrogenases play crucial roles in antibiotic biodegradation. Genera like *Methanomethylivorans*, *Methanobrix*, *Desulfomonile*, and *Syntrophaceae* could biodegrade antibiotics like erythromycin, sulfamethoxazole, and ampicillin at concentrations 10–250 µg l⁻¹. Strategies like pretreatment, post-treatment, co-digestion, and carbonaceous material supplementation are proposed to enhance pollutant removal efficiency and energy recovery. Finally, challenges and future research

Abbreviations: AD, Anaerobic digestion; AcoD, Anaerobic co-digestion; ARGs, Antibiotic resistance genes; ARB, Antibiotic-resistant bacteria; C/N, Carbon to nitrogen ratio; COD, Chemical oxygen demand; CIP, Ciprofloxacin; CLA, Clarithromycin; CTC, Chlorotetracycline; CH₄, Methane; DOG, Doxycycline; ENR, Enrofloxacin; ERY, Erythromycin; FFC, Florfenicol; HGT, Horizontal gene transfer; HRT, Hydraulic retention time; HT, Hydrothermal treatment; MGEs, Mobile genetic elements; MLs, Macrolides; McrA, Methyl coenzyme M reductase gene; MLSB, Macrolide, lincosamide, and streptogramin B; MDL, Method detection limit; NOR, Norfloxacin; OTC, Oxytetracycline; QNS, Fluoroquinolones; SRT, Solid retention time; SIR, Substrate to inoculum ratio; SAs, Sulfonamides; SMZ, Sulfamethazole; SDZ, Sulfadiazine; SMX, Sulfamethoxazole; SDD, Sulfadimidine; SDM, Sulfadimethoxine; SMN, Sulfamethazine; TS, Total solid; TC, Tetracycline; TYL, Tylosin; TMP, Trimethoprim; VS, Volatile solid; VFAs, Volatile fatty acids.

* Corresponding author at: Laboratory of Environment-Enhancing Energy (E2E), College of Water Resources and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

E-mail address: zdliu@cau.edu.cn (Z. Liu).

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.125284>

Received 21 October 2024; Received in revised form 17 December 2024; Accepted 3 January 2025

0306-2619/© 2025 Elsevier Ltd. All rights are reserved, including those for text and data mining, AI training, and similar technologies.