

Effets dépendants de la concentration des microplastiques de polystyrène sur l'activité méthanogène et les changements de la communauté microbienne dans les sédiments d'égout

Points forts

- Les microplastiques de polystyrène augmentent la production de méthane dans les sédiments des égouts.
- L'exposition aux PS-MP inhibe les enzymes clés, perturbant les voies méthanogènes.
- De faibles concentrations de PS-MP stimulent la croissance des archées méthanogènes.
- Les sous-produits toxiques des PS-MP modifient la structure de la communauté microbienne.

Résumé

Les microplastiques (MP) sont des contaminants environnementaux émergents qui interfèrent avec les processus microbiens, mais leurs effets sur la méthanogénèse dans les systèmes anaérobies restent insuffisamment compris.

Cette étude examine l'impact des microplastiques de polystyrène (PS-MP) sur la méthanogénèse, la structure de la communauté microbienne et les voies métaboliques dans des systèmes de sédiments d'égout simulés, avec des concentrations d'exposition de 5, 50 et 250 mg·L⁻¹.

Les résultats ont révélé un effet concentration-dépendant des PS-MP sur la méthanogénèse : une augmentation de 222,2 % à 5 mg·L⁻¹, et des augmentations de 72,2 % et 88,9 % à 50 mg·L⁻¹ et 250 mg·L⁻¹, respectivement, indiquant une réponse non linéaire. L'exposition aux PS-MP a augmenté l'activité de la coenzyme F420 (F420), un indicateur clé de l'activité méthanogène, mais a également inhibé la méthyl coenzyme M réductase (Mcr), perturbant ainsi les voies méthanogènes critiques.

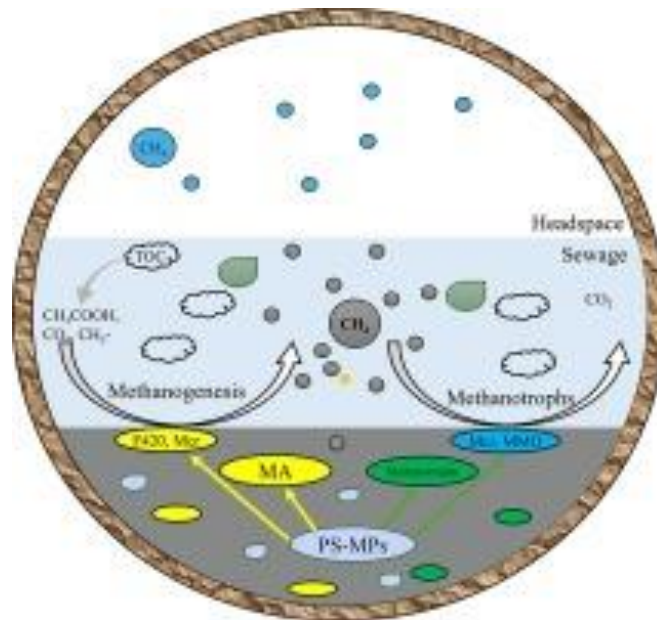
À faibles concentrations, les PS-MP ont favorisé l'abondance des méthanogènes hydrogénotrophes, tandis que des concentrations plus élevées ont supprimé l'activité méthanogène globale.

De plus, les PS-MP ont eu un effet dose-dépendant sur l'oxydation du CH₄, influençant la structure des communautés méthanotrophes.

Ces résultats établissent une relation dose-réponse claire entre la concentration de PS-MP et la dynamique du CH₄ dans les systèmes anaérobies, soulignant le rôle complexe des microplastiques dans la méthanogénèse et les interactions microbiennes.

Cette recherche apporte des informations précieuses sur les implications environnementales des microplastiques dans les systèmes d'assainissement et leurs impacts potentiels sur la production de biogaz et la réduction du CH₄, en accord avec les objectifs de la bio-ingénierie environnementale et de la gestion durable des déchets.

Résumé graphique



Introduction

Les MP sont des particules de polymères synthétiques dont la taille varie de 100 nm à 5 mm, suscitant d'importantes préoccupations en raison de leur présence généralisée dans l'environnement et de leur toxicité écologique potentielle (Rochman, 2018). Notamment, 80 % des microplastiques présents dans les eaux marines proviennent de sources terrestres (Andrady, 2011).

Il est crucial de reconnaître l'impact de l'exposition aux microplastiques et de leur transport ultérieur sur les communautés biologiques dans divers écosystèmes. La coexistence de plusieurs microplastiques (polystyrène et chlorure de polyvinyle) a été étudiée dans les boues granulaires anaérobies (Wei et al., 2022).

Par exemple, l'exposition aux microplastiques et à leurs toxiques intégrés peut perturber la structure des communautés microbiennes, altérant ainsi des processus écologiques critiques et influençant la méthanogénèse dans divers contextes environnementaux (Chen et al., 2021).

Compte tenu de l'influence significative des activités humaines, les principales sources de microplastiques dans les zones urbaines comprennent les effluents d'eaux usées, les dépôts atmosphériques et le ruissellement de surface (Andrady, 2011).

Ces sources sont toutes liées aux processus de collecte et de rejet dans le système de drainage, qui sert de canal essentiel pour le transfert de polluants entre les environnements terrestres et aquatiques (Uurasjärvi et al., 2021).

En raison de leur petite taille et de leur résistance à la dégradation, les microplastiques sont facilement ingérés par les organismes vivants, entraînant l'accumulation de substances toxiques et la perturbation ultérieure des fonctions physiologiques (Issac et Kandasubramanian, 2021).

Les MP présents dans les eaux usées peuvent se décomposer en réponse à une contrainte de cisaillement (Enfrin et al., 2020).

Par conséquent, leur petite taille et leur forte hydrophobicité de surface favorisent l'agglomération, ce qui peut potentiellement affecter les communautés microbiennes (Enfrin et al., 2019, Wei et al., 2020). Par conséquent, des quantités importantes de MP s'accumulent dans les réseaux d'égouts, affectant potentiellement les micro-organismes présents dans l'environnement sédimentaire.

L'exposition du PS-MP aux boues activées déclenche la solubilisation, ce qui favorise la production de métabolites anaérobies (Wang et al., 2022a). Les PS-MP représentaient jusqu'à 20 % de la masse particulaire totale dans l'affluent de la station d'épuration des eaux usées (Lv et al., 2019). En 2016, la production mondiale de polystyrène a atteint environ 14,7 millions de tonnes par an, ce qui en fait le plus grand polymère synthétique en volume (Hidalgo-Crespo et al., 2022) et représente plus de 40 % de la production mondiale totale de plastique (Bouwmeester et al., 2015).

Il a été démontré que les additifs contenus dans les microplastiques libèrent des substances toxiques biologiquement nocives tout au long du cycle de vie du produit (Sajiki et Yonekubo, 2003, Lithner et al., 2009). De plus, les PS-MP contiennent une multitude d'additifs chimiques (Gigault et al., 2021) qui, en raison de leur faible affinité de liaison à la matrice polymère, peuvent s'infiltrer dans l'environnement et potentiellement perturber les écosystèmes adjacents (Blasco et al., 2022).

Par conséquent, il a été conclu que les PS-MP représentaient l'un des polymères les plus dangereux, en raison de leur toxicité inhérente et de celle de leurs dérivés (Xu et al., 2023).

Il est primordial de reconnaître l'influence potentielle des microplastiques sur les communautés microbiennes au sein des réseaux d'égouts. Wang et al. ont constaté que l'exposition aux PS-MP dans les boues granulaires anaérobies compromettait l'intégrité et la viabilité cellulaire des granules anaérobies, avec des réductions correspondantes de l'abondance des bactéries productrices d'acide et des micro-organismes fonctionnels méthanogènes (Wang et al., 2022b). La lixiviation des produits chimiques toxiques des MP se produit à des concentrations variables en fonction du dosage, ce qui peut ensuite avoir un impact sur la structure et l'activité des communautés microbiennes (Sun et al., 2022, Zhang et al., 2022).

De plus, Ma et al. ont étudié la dégradation du carbone de la biomasse microbienne et des composés organiques volatils tout en inhibant les activités des enzymes clés et en modifiant l'abondance relative des micro-organismes dominants (Ma et al., 2022), lors de l'étude des effets de différentes concentrations de PS-MP sur le compostage des boues d'épuration. La littérature existante sur ce sujet s'est concentrée sur l'étude de l'effet des PS-MP et de leur environnement sur les boues activées anaérobies. Les égouts peuvent produire entre 0,004 et 9 mg·L⁻¹ de CH₄, qui a été mélangé aux eaux usées et transporté vers une station d'épuration (Daelman et al., 2012).

Cependant, les recherches sur l'effet des microplastiques sur ce processus sont rares, en particulier dans cet environnement spécifique. De plus, les études examinant la méthanogénèse et l'oxydation dans ce système sont rares.

Par conséquent, l'objectif de cette étude était d'élucider la relation dose-effet entre les PS-MP et les processus de méthanogénèse dans les environnements anaérobies des égouts. Grâce à une exposition contrôlée aux PS-MP à différentes concentrations ($0 \sim 250 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) dans des canalisations d'égout simulées, nous avons analysé systématiquement leurs impacts sur quatre dimensions : fluctuations de la qualité de l'eau, composition en polymères extracellulaires (EPS), cinétique enzymatique critique et succession fonctionnelle microbienne. Cette étude facilitera l'évaluation de l'impact des PS-MP sur les caractéristiques de méthanogénèse des sédiments d'égout et fournira une base pour de futures recherches visant à améliorer l'abondance des méthanotrophes dans les égouts et à optimiser leurs caractéristiques de distribution pour réduire les émissions de CH_4 .

Matériel expérimental

Tous les sédiments d'égout utilisés dans cette étude provenaient des égouts de Nanjing, en Chine. L'échantillonnage a été réalisé à l'aide d'une cuillère à creuser pour prélever les sédiments et les déposer dans des flacons d'échantillonnage en polyéthylène (500 ml), qui ont ensuite été rapidement transportés au laboratoire et conservés au réfrigérateur à $4 \text{ }^\circ\text{C}$ pour les expériences ultérieures. Les PS-MP ($48 \mu\text{m}$, Dongguan Zhangmutou Hengli New Material Operation Department, Chine) utilisés dans les expériences provenaient tous du même lot. L'eau expérimentale a été déionisée.

Méthanogénèse

Les courbes de concentration de CH_4 à l'état dissous, correspondant à différents gradients de concentration de PS-MP, sont présentées à la figure 2.

Comme l'illustre la figure, la concentration de CH_4 a initialement augmenté régulièrement, atteignant son pic le huitième jour. Par la suite, une diminution progressive de la concentration de CH_4 a été observée après l'ajout de BES. Ces résultats permettent de conclure, à titre préliminaire, que la présence de PS-MP a contribué de manière significative aux émissions de CH_4 . Le huitième jour,

Conclusion

Les effets des PS-MP sur les propriétés méthanogènes des sédiments d'égout variaient en fonction de la concentration, révélant une relation dose-réponse complexe :

(1) Performance méthanogène : L'impact des PS-MP sur l'activité méthanogène des sédiments était plus prononcé à faible concentration ($5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), ce qui améliorait significativement la méthanogénèse par rapport au groupe témoin (B0-0). À mesure que la concentration de PS-MP augmentait, l'effet stimulant diminuait, suggérant un seuil au-delà duquel le bénéfice pour la méthanogénèse disparaissait.

Déclaration de contribution d'auteur CRediT

Lucheng Li : Rédaction – révision et édition, supervision. Ting Xiao : Rédaction – brouillon original, enquête. ZANJI He : Ressources. QIJIN Chen : Ressources.

Déclaration d'intérêts concurrents

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont aucun intérêt financier concurrent connu ni aucune relation personnelle qui aurait pu sembler influencer le travail rapporté dans cet article.

Remerciements

Les auteurs remercient chaleureusement la Fondation des sciences naturelles de la province du Jiangsu pour son soutien financier (subvention n° BK20230427).

Références (62)

- M. Alberto *et al.*
[Une technique d'échantillonnage pour la détermination du méthane dissous dans la solution du sol](#)
Chimiosphère-Global Change Sci.
(2000)
- AL Andradý
[Microplastiques dans le milieu marin](#)
Mar. Pollut. Bull.
(2011)
- L. Blasco *et al.*
[Dynamique de la communauté microbienne en réponse à la composition des co-matières premières dans la digestion anaérobie](#)
Bioressource Technol.
(2022)
- Q. Cao *et al.*
[Compartimentation des communautés microbiennes en structure et en fonction pour l'oxydation du méthane couplée à la nitrification-dénitrification](#)
Bioressource Technol.
(2021)
- H. Chen *et al.*
[Le biochar aide les bactéries solubilisant le phosphate à résister au stress combiné du Pb et du Cd en favorisant la sécrétion d'acide et le transfert d'électrons extracellulaires](#)
J. Hazard. Mater.
(2023)
- H. Chen *et al.*
[Les microplastiques polyamide 6 facilitent la production de méthane lors de la digestion anaérobie des boues activées résiduaires](#)
Chim. Ing. J.
(2021)
- Y. Chen *et al.*
[Amélioration des connaissances mécanistes et optimisation des performances : Contrôle du méthane et du sulfure dans les égouts à l'aide de stratégies de dosage des nitrates](#)
Sci. Total Environ.
(2024)
- M. Daelman *et al.*
[Émission de méthane lors du traitement des eaux usées municipales](#)
Eau Res.
(2012)
- A. Eker *et al.*
[Purification et propriétés des dérivés de la 8-hydroxy-5-déazaflavine de Streptomyces griseus](#)
Fems Microbiol. Lett.
(1980)
- M. Enfrin *et al.*
[Nano/microplastiques dans les procédés de traitement de l'eau et des eaux usées : origine, impact et solutions potentielles](#)
Eau Res.
(2019)