Surmonter les défis de la déshydratation en profondeur du digestat des déchets alimentaires grâce à l'oxyde de polyéthylène comme agent de conditionnement innovant

Points forts

- Le conditionnement PEO permet une déshydratation en profondeur du digestat des déchets alimentaires.
- Amélioration de la fluidité de l'eau en réduisant l'énergie de liaison solide-liquide.
- Le PEO augmente la porosité du gâteau de digestion et améliore le drainage de l'eau.
- La formation de la structure squelettique est cruciale pour la déshydratation du digestat.
- La résistance au sel du PEO étend son utilisation à la déshydratation d'autres déchets solides à forte salinité.

Résumé

Le traitement efficace du digestat de déchets alimentaires est essentiel pour réduire la pollution de l'environnement et atténuer les émissions de carbone, la déshydratation en profondeur jouant un rôle central.

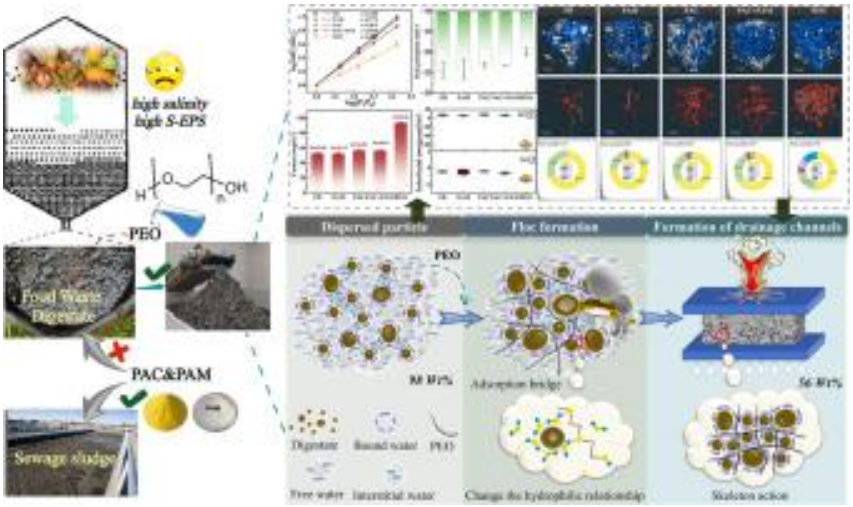
Les agents de déshydratation conventionnels tels que le chlorure de polyaluminium (PAC) et le polyacrylamide (PAM), couramment utilisés dans le traitement des boues municipales, présentent une efficacité limitée lorsqu'ils sont appliqués au digestat de déchets alimentaires en raison de la salinité élevée de ce dernier et de ses stades de fermentation avancés.

Cette étude présente l'oxyde de polyéthylène (PEO) comme nouvel agent de conditionnement et examine ses performances de déshydratation par rapport au PAC et au PAM, en élucidant le mécanisme sous-jacent. Le conditionnement au PEO améliore considérablement la déshydratation en profondeur, réduisant la teneur en humidité du digestat de 93,11 % à 56,71 % et abaissant la résistance spécifique à la filtration (SRF) de 90,3 %.

En revanche, le PAM, le PAC et leur combinaison permettent des réductions d'humidité à 81,18 %, 84,49 % et 87,07 % respectivement, avec des améliorations SRF nettement inférieures. Le PEO favorise la libération de l'eau liée en affaiblissant l'énergie de liaison solide-liquide, facilitant la transition de l'eau liée à l'eau libre et améliorant la mobilité globale de l'eau. De plus, les analyses du coefficient de compressibilité et la tomodensitométrie à rayons X (X-CT) révèlent que le traitement au PEO augmente considérablement la porosité du gâteau de filtration, avec un taux de porosité effectif de 56,65 %, ce qui se traduit par des performances de drainage supérieures. L'efficacité de déshydratation améliorée du PEO provient de sa capacité à améliorer la perméabilité à l'eau dans le gâteau de filtration pendant la compression, ce qui distingue son mécanisme des approches traditionnelles de floculation (PAM) et de coagulation (PAC). Ce travail met en évidence le potentiel du PEO en tant que solution hautement efficace pour le traitement du digestat des déchets alimentaires dans la gestion des déchets solides, ses

propriétés de résistance au sel étendant encore son applicabilité aux flux de déchets à forte salinité.

Résumé graphique



Introduction

Avec la croissance démographique mondiale et l'urbanisation accélérée, la production de déchets alimentaires a fortement augmenté, ce qui pose un défi majeur dans la gestion des déchets solides urbains. Des rapports indiquent que le taux de croissance annuel composé de la production de déchets alimentaires en Chine était de 7,21 % entre 2015 et 2021, et devrait atteindre 170 millions de tonnes d'ici 2025, soulignant le besoin urgent de technologies de traitement des déchets alimentaires (Liu et al., 2022 ; Negri et al., 2020). Dans ce contexte, la digestion anaérobie est apparue comme une technologie efficace pour convertir les déchets de biomasse, y compris les déchets alimentaires, en énergie et en engrais, et est devenue une méthode principale de traitement des déchets organiques, tels que le digestat de déchets alimentaires (Cecchi et Cavinato, 2019 ; Jones et al., 2021 ; Tamasiga et al., 2022).

La digestion anaérobie des déchets alimentaires produit inévitablement un sous-produit important, le digestat, qui contient une matière organique abondante et des nutriments ayant un potentiel de conversion d'énergie et d'engrais (Tampio et al., 2016).

Cependant, sa teneur en humidité élevée et sa composition complexe présentent des difficultés de manipulation et d'utilisation. La teneur en humidité du digestat des déchets alimentaires est généralement comprise entre 95 % et 99,5 %, et doit être réduite à environ 60 % pour une utilisation ultérieure des ressources.

Par conséquent, le traitement de déshydratation en profondeur (teneur en humidité < 60 %) est une étape clé dans le traitement et l'utilisation ultérieurs du digestat des déchets alimentaires, et est indispensable dans le processus global de traitement et d'élimination des déchets alimentaires (Łysiak et al., 2023 ; Ries et al., 2023 ; Svennevik et al., 2019 ; Tymchuk et al., 2023).

Malgré l'application généralisée de la technologie de digestion anaérobie dans le traitement des déchets alimentaires, la recherche sur les performances de déshydratation du digestat est relativement limitée. La plupart des études se concentrent sur les performances de déshydratation des boues municipales, avec des recherches limitées sur le digestat des déchets alimentaires (Lee et al., 2024 ; Lü et al., 2015 ; Wang et al., 2022).

Les pratiques d'ingénierie actuelles utilisent principalement des méthodes de déshydratation mécanique telles que les centrifugeuses à sédimentation, les presses à vis et les filtres-presses à bande. Cependant, ces méthodes ne réduisent généralement la teneur en humidité du digestat qu'à une plage de 75 % à 91,3 %, ce qui est inférieur aux exigences de teneur en humidité pour une utilisation efficace des ressources (Ries et al., 2023 ; Zhou et al., 2024). Pour améliorer les performances de déshydratation du digestat des déchets alimentaires, un conditionnement approprié est nécessaire avant la déshydratation mécanique (Wang et al., 2020). Ces dernières années, les chercheurs ont adapté les méthodes de conditionnement des systèmes de boues municipales au digestat de déchets alimentaires afin d'améliorer ses performances de déshydratation (Zhang et al., 2022). Par exemple, Zhang et Liyin (2023) ont considérablement réduit la teneur en humidité du digestat grâce à un conditionnement combiné avec du Fe^{3+} sels inorganiques et floculants polymères à poids moléculaire élevé, combinés à une technologie de filtration à diaphragme à plaque et cadre haute pression.

Wang et al. (2020) ont utilisé l'activation thermique du prétraitement au persulfate (PDS), améliorant les performances de déshydratation et révélant le rôle crucial des protéines dans le processus. De plus, il a été démontré que le conditionnement par hydrolyse thermique augmente la teneur en eau libre et modifie la distribution de l'eau, améliorant ainsi les performances de déshydratation du digestat (Svennevik et al., 2019).

Dans les applications pratiques, les coagulants et les floculants représentés par PAC et PAM sont principalement utilisés dans la déshydratation des boues municipales, ce qui a également conduit à leur application généralisée dans le conditionnement de la déshydratation du digestat des déchets alimentaires (Hyrycz et al., 2022 ; Wang et al., 2019).

Cependant, en raison des différences significatives de composition organique, de teneur en huile et de teneur en sel entre les boues municipales et le digestat de déchets alimentaires, ces méthodes de conditionnement n'ont pas été pleinement applicables au digestat de déchets alimentaires, ce qui entraîne des effets de déshydratation en profondeur sous-optimaux (Dutta et al., 2021).

De plus, les agents conventionnels tels que le PAC et le PAM sont confrontés à des limitations environnementales et économiques importantes lorsqu'ils sont appliqués à des conditions de salinité élevée typiques du digestat de déchets alimentaires. La force ionique élevée dans ces environnements augmente la compétition ionique pour les sites actifs sur les particules de boues, diminuant l'efficacité des floculants traditionnels.

De plus, le stress osmotique induit par des niveaux de salinité élevés peut entraver l'agrégation des flocs de boues, affectant ainsi négativement le processus de déshydratation (Berde et Jolis, 2021 ; Gao et al., 2022).

Cette concurrence accrue et ce déséquilibre osmotique peuvent entraîner des dosages et des coûts d'exploitation plus élevés, rendant ces agents moins viables économiquement. Par conséquent, le développement de méthodes de conditionnement de déshydratation efficaces adaptées aux caractéristiques du digestat des déchets alimentaires est devenu une direction importante de la recherche actuelle.

Le polyéthylène oxyde (PEO), en tant que floculant organique de poids moléculaire élevé, a montré un grand potentiel pour des applications dans le traitement de l'eau et les domaines connexes en raison de sa structure moléculaire linéaire et de ses propriétés hydrophiles (Dao et al., 2016 ; Graham et al., 1982).

Avec un poids moléculaire de plusieurs millions, les actions d'extension de chaîne moléculaire et de réticulation du PEO présentent d'excellentes capacités de floculation et d'épaississement (Fenn et al., 2009 ; Klein et al., 2019 ; Pang et Englezos, 2002).

Dans les industries de traitement de l'eau et de fabrication du papier, le PEO a été utilisé comme floculant et adjuvant de filtration, améliorant efficacement l'efficacité de la séparation solide-liquide.

L'interface unique et les propriétés amphiphiles du PEO lui permettent de former des liaisons hydrogène stables et des forces de van der Waals avec les molécules d'eau, favorisant la libération d'eau et la fluidité (Chen et al., 2016 ; Wiśniewska et al., 2013).

De plus, la capacité du PEO à modifier les propriétés rhéologiques des suspensions et sa grande résistance à la dégradation par cisaillement le rendent particulièrement adapté aux applications de déshydratation difficiles (Ebagninin et al., 2009 ; Zhu et al., 2023).

L'efficacité du polymère à former de gros flocs robustes améliore les processus de décantation et de filtration (Mpofu et al., 2004), ce qui est crucial pour traiter les digestats de déchets alimentaires à forte teneur en humidité et aux compositions organiques complexes.

En plus de son utilisation bien établie dans le traitement de l'eau et la fabrication du papier, le PEO a également été étudié pour son potentiel dans la déshydratation de divers résidus de déchets solides (Xu et al., 2025).

Des études récentes ont mis en évidence l'efficacité du PEO pour améliorer les performances de déshydratation en améliorant la séparation solide-liquide grâce à sa nature amphiphile, qui modifie les interactions interfaciales et facilite la libération d'eau (Fenn et al., 2009 ; Mpofu et al., 2004).

Ces propriétés amphiphiles permettent au PEO de réduire l'énergie de liaison solide-liquide, formant ainsi des interfaces plus hydrophobes qui contribuent à améliorer l'efficacité de la

déshydratation (Klein et al., 2019), ce qui est particulièrement pertinent pour le digestat de déchets alimentaires caractérisé par des compositions organiques complexes et une salinité élevée.

Compte tenu de ces défis, la capacité du PEO à modifier les propriétés interfaciales des flocs de boues offre un avantage unique par rapport aux agents de conditionnement traditionnels comme le polyacrylamide (PAM) et le polychlorure d'aluminium (PAC), dont l'efficacité peut être limitée dans des conditions aussi complexes.

Compte tenu de ces attributs, le PEO se distingue comme un candidat prometteur pour améliorer l'efficacité des processus de déshydratation là où les agents traditionnels sont insuffisants.

Ces caractéristiques suggèrent que le PEO peut avoir des avantages uniques dans le processus de déshydratation du digestat de déchets alimentaires.

Bien que l'application du PEO dans la déshydratation du digestat de déchets alimentaires soit encore au stade de l'exploration préliminaire, ses propriétés physico-chimiques et son potentiel respectueux de l'environnement en font un domaine prometteur pour des recherches ultérieures.

Cette étude vise à explorer le potentiel d'application du polyoxyde d'éthylène (PEO) comme agent de conditionnement dans le processus de déshydratation du digestat de déchets alimentaires. Compte tenu de l'utilisation intensive du PEO dans le traitement de l'eau et de ses propriétés uniques, la recherche évaluera son impact sur les performances de déshydratation. Le PEO sera comparé aux agents traditionnels comme le chlorure de polyaluminium (PAC) et le polyacrylamide (PAM) en mesurant la résistance spécifique des boues et la teneur en humidité après filtration. De plus, l'étude examinera comment le conditionnement du PEO affecte les propriétés de la phase solide-liquide du digestat et sa praticabilité dans les applications techniques. Les résultats visent à fournir de nouvelles stratégies pour une déshydratation en profondeur efficace du traitement du digestat de déchets alimentaires et une base scientifique pour choisir des agents de conditionnement appropriés.

Extraits de section

Échantillons et matériaux :

Le digestat de déchets alimentaires utilisé dans cette étude a été échantillonné dans un réservoir de concentration d'une usine de traitement des déchets alimentaires de la ville de Sanming, province du Fujian, en Chine. Pour minimiser les changements potentiels dans les propriétés biochimiques de l'échantillon, les échantillons ont été stockés à 4 °C pendant moins d'une semaine (Wang et al., 2022). Les propriétés de base des échantillons sont présentées dans le tableau 1. Les principaux produits chimiques expérimentaux sont répertoriés dans le tableau S1.

Procédure de conditionnement :

Cette étude fait référence aux méthodes conventionnelles de conditionnement chimique des boues municipales.

Performances de déshydratation :

Dans cette étude, le CST et le SRF ont été utilisés comme indicateurs clés pour mesurer la performance de filtration du digestat de déchets alimentaires, et la teneur en eau du gâteau (W_C) après déshydratation mécanique a été utilisée pour représenter son effet de déshydratation. La figure 2a montre l'effet de différents traitements sur le SRF et le W_C du digestat de déchets alimentaires. Les résultats indiquent que le conditionnement au PEO a considérablement amélioré la performance de déshydratation du digestat, surpassant les groupes témoins et blancs. Plus précisément, le conditionnement au PEO

Mécanisme potentiel de déshydratation du digestat de déchets alimentaires avec conditionnement PEO

Dans cette étude, le PEO, en tant que nouvel agent de conditionnement, démontre une efficacité significative dans le processus de déshydratation du digestat de déchets alimentaires. Le conditionnement au PEO réduit considérablement la résistance spécifique à la filtration (SRF) du digestat de déchets alimentaires et permet une diminution substantielle de la teneur en eau (WC), répondant aux exigences de déshydratation en profondeur (WC < 60 %). Les observations expérimentales révèlent que l'introduction de PEO diminue la capacité de liaison du digestat de déchets alimentaires à l'eau,

Conclusion

Cette étude a examiné la capacité de déshydratation du nouvel agent PEO du digestat de déchets alimentaires en comparaison avec les agents de déshydratation traditionnels PAM et PAC, et a exploré son mécanisme de déshydratation. Les principales conclusions sont les suivantes :

- Performances de déshydratation supérieures : le conditionnement PEO a permis une réduction significative de la teneur en eau, l'abaissant à 56,71 %, un niveau inaccessible par PAM ou PAC dans les mêmes conditions.
- Mobilité de l'eau améliorée : le PEO a réduit efficacement l'énergie de liaison entre les particules et

Déclaration de contribution d'auteur CRediT

Hou-Feng Wang : Rédaction – révision et édition, Rédaction – ébauche originale, Supervision, Administration de projet, Méthodologie, Acquisition de financement, Conservation des données, Conceptualisation. Yun-Yan Gao : Rédaction – ébauche originale, Visualisation, Méthodologie, Investigation, Analyse formelle, Conservation des données. Yuan-Ping Zeng

: Investigation, Conservation des données. Xuan-Xin Chen : Investigation, Conservation des données. Zhi-Yi He : Investigation, Conservation des données. Raymond Jianxiong Zeng : Rédaction – révision et édition, Supervision, Financement

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.

Reconnaissance

Les auteurs tiennent à remercier la Fondation nationale des sciences naturelles de Chine pour son soutien financier (52270120 , 52000033).

Références (62)

- B. Cao *et al.*

Technologie améliorée basée sur la déshydratation en profondeur des boues d'épuration : une revue critique
Eau Res.
(2021)

- V. Dao *et al.*

Synthèse, propriétés et performances des polymères organiques utilisés dans les applications de floculation
Chimie polym.
(2016)

- S. Dutta *et al.*

Gestion durable et recyclage des digestats anaérobies de déchets alimentaires : une revue
Bioresour. Technol.
(2021)

- KW Ebagninin *et al.*

Caractérisation rhéologique de solutions de poly(oxyde d'éthylène) de différents poids moléculaires
J. Colloid. Interface Sci.
(2009)

- M. Gao *et al.*

Connaissances approfondies sur la codigestion anaérobie des boues activées avec du lixiviat concentré sous différentes contraintes de salinité
Sci. Total Environ.
(2022)

- R. Gaudreault *et al.*

Mécanismes de floculation avec le poly(oxyde d'éthylène) et nouveaux cofacteurs
Colloïdes Surf. A
(2005)

- NB Graham *et al.*

Interaction du poly(oxyde d'éthylène) avec les solvants : 1. Préparation et gonflement d'un hydrogel de poly(oxyde d'éthylène) réticulé
Polymère
(1982)

- M. Hyrycz *et al.*

Une revue des floculants comme méthode efficace pour augmenter l'efficacité de la déshydratation des boues municipales : mécanismes, performances, facteurs d'influence et perspectives
Sci. Total Environ.
(2022)

- B. Ji *et al.*

Impacts de l'ajout de polychlorure d'aluminium sur les boues activées et l'efficacité du traitement du SBR
Dessalinisation. Traitement de l'eau
(2015)

- T. Klein *et al.*

L'influence des liaisons hydrogène dirigées sur l'auto-assemblage des polymères amphiphiles dans l'eau
J. Colloid. Interface Sci.
(2019)

Voir plus de références

Cité par (0)

Voir le texte intégral

© 2024 Elsevier Ltd. Tous les droits sont réservés, y compris ceux relatifs à l'exploration de texte et de données, à la formation à l'IA et aux technologies similaires.

Articles recommandés

- Informations écologiques moléculaires sur le mécanisme de réponse synergique de la transformation de l'azote, du flux d'électrons et des gènes de résistance aux antibiotiques dans les systèmes de boues activées aérobies soumis à des stress de sulfaméthoxazole et/ou de triméthoprime

Recherche sur l'eau, volume 270, 2025, article 122853
Fan de Xiao-Yan , …, Xing Li

- Un nouveau cadre pour l'optimisation et l'évaluation du réseau de capteurs dans le système de drainage urbain

Recherche sur l'eau, volume 270, 2025, article 122833
Yue Zheng , …, Yiping Zhang

- Stratégie de double bioaugmentation pour atténuer simultanément l'encrassement biologique et favoriser la méthanogénèse dans AnMBR

Recherche sur l'eau, volume 270, 2025, article 122850
Yimeng Li , …, Fangshu Qu