

Stratégie de traitement collaboratif des sous-produits de la digestion anaérobie des déchets alimentaires : cogazéification à la vapeur du digestat et des déchets plastiques

Points forts

La cogazéification à la vapeur du digestat de déchets alimentaires et des déchets plastiques a été proposée.

Un indice de synergie positif significatif a été constaté grâce à la co-gazéification à la vapeur.

Les conditions optimales étaient une température de 800°C, un rapport S/B de 3 g/g et un rapport de mélange de 0,25 %.

La température exerce l'influence la plus significative sur la production d'hydrogène.

Résumé

Le traitement des digestats de déchets alimentaires et des déchets plastiques par co-gazéification représente un défi majeur pour lutter contre la pollution environnementale et valoriser l'énergie.

Cette étude propose une stratégie innovante de co-gazéification à la vapeur d'eau pour convertir conjointement ces sous-produits en un gaz de synthèse riche en hydrogène.

Les profils de libération des produits ont été analysés par analyse thermogravimétrique couplée à la spectrométrie de masse.

Les caractéristiques des produits de gazéification ont été étudiées par des expériences en lit fixe, et les paramètres du procédé ont été optimisés par la méthodologie des surfaces de réponse.

Les résultats montrent qu'à mesure que la proportion de déchets plastiques à haute stabilité thermique augmente, la perte de masse du substrat diminue progressivement sur la courbe thermogravimétrique, et l'indice de pyrolyse global passe de $0,26 \times 10^{-8}$ à $1,88 \times 10^{-8}$.

Par ailleurs, un indice de synergie positif significatif, compris entre -0,83 et -1,29, a été observé lors de la co-gazéification à la vapeur d'eau des digestats de déchets alimentaires et des déchets plastiques.

Pour la production d'hydrogène, l'ajout de déchets plastiques a permis d'accroître les sources d'hydrogène, mais des températures plus élevées ont été nécessaires pour favoriser la décomposition des hydrocarbures à longue chaîne.

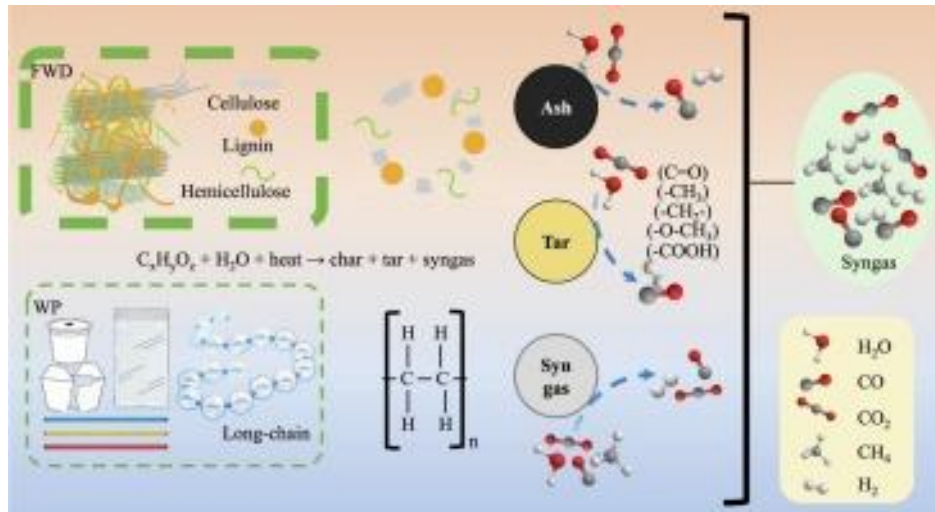
L'augmentation du rapport vapeur/matière première (V/MP) a permis d'améliorer significativement la production d'hydrogène, et cet effet était plus marqué pour les faibles valeurs de V/MP.

De plus, l'analyse de surface de réponse a montré que la température avait l'influence la plus importante sur la production d'hydrogène, comparativement au rapport vapeur/matière première et au taux de mélange.

Les conditions optimales de production d'hydrogène étaient une température de 800 °C, un rapport vapeur/matière première de 3 g/g et un taux de mélange de 0,25

(digestat de déchets alimentaires : déchets plastiques = 3:1). Cette étude propose une approche potentielle et un cadre théorique pour le traitement combiné du digestat de déchets alimentaires et des déchets plastiques.

Résumé graphique



Introduction

L'augmentation mondiale des déchets alimentaires (DA) représente un défi environnemental majeur.

En Chine, 74 % des DA sont traités par digestion anaérobie (DA) pour produire du biogaz destiné à la valorisation énergétique [1].

Cependant, en raison de la dégradation sélective inhérente à la DA, seuls 15 à 40 % des composés organiques des DA sont convertis en biogaz [2].

Par conséquent, la production d'une grande quantité de digestat de déchets alimentaires (DDA) est inévitable (jusqu'à 1 500 tonnes par jour en Chine [3]).

Ce digestat conserve une grande richesse en nutriments et un fort potentiel énergétique.

Les méthodes d'élimination conventionnelles du DDA, à savoir le compostage et l'épandage, sont non durables.

Ces pratiques peuvent engendrer des problèmes environnementaux tels que la pollution des sols et de l'eau, et présentent également un risque de capacité d'élimination insuffisante. Par ailleurs, la collecte des déchets alimentaires génère des substances difficilement biodégradables comme les métaux, le carton et les déchets plastiques.

Si les métaux et le carton sont généralement recyclés, les déchets plastiques s'accumulent souvent dans l'environnement.

Ces déchets non biodégradables causent des dommages environnementaux irréversibles [4]. Actuellement, différentes méthodes de traitement sont généralement utilisées pour les sous-produits du DDA et les déchets plastiques triés. Il en résulte un processus complexe, des coûts élevés en équipements et en main-d'œuvre, ainsi

qu'une grande complexité technique. Il est donc urgent de développer une technologie de traitement centralisée, propre et efficace, permettant le traitement conjoint du DDA et des déchets plastiques.

La gazéification permet de convertir des matières premières carbonées en gaz de synthèse riche en hydrogène à haute température, en présence d'agents oxydants tels que l'O₂, l'air, la vapeur d'eau et le CO₂, et peut être utilisée comme technologie de co-valorisation énergétique des déchets solides municipaux (DSM) et des déchets de bois (DB) [5].

Cependant, la gazéification de matières premières individuelles présente d'importantes limitations techniques dues aux contraintes liées aux caractéristiques des matériaux.

Des études antérieures ont montré que, lors de la gazéification de biomasse, la teneur élevée en oxygène entraîne une diminution du rendement en H₂ et une augmentation des résidus carbonés [6]. Inversement, le bas point de fusion des DB provoque une agglomération, ce qui engendre le colmatage du gazéificateur et des obstructions à l'écoulement [7].

La technologie de co-gazéification permet de surmonter ces limitations grâce aux interactions synergiques entre les deux matières premières. La teneur élevée en hydrogène des DB fournit un apport supplémentaire d'H₂ lors de la gazéification [8]. Les métaux alcalins et alcalino-terreux présents dans les DSM peuvent favoriser la dépolymérisation des molécules à longue chaîne des DB en gaz à petites molécules [9].

De nombreuses études ont confirmé la faisabilité de la co-gazéification de la biomasse et des plastiques [10].

Cependant, l'effet synergique de la co-gazéification des déchets de bois et des déchets plastiques reste inconnu.

De plus, la gazéification à l'air conventionnelle souffre de problèmes tels qu'une faible qualité du gaz de synthèse et la persistance de goudrons.

La technologie de gazéification à la vapeur (GV) utilise la vapeur d'eau comme agent de gazéification afin d'optimiser la composition.

Contrairement à la gazéification à l'air ou au CO₂, la vapeur d'eau fournit non seulement un agent oxydant, mais aussi des radicaux actifs ($\cdot\text{H}$ et $\cdot\text{OH}$) capables d'attaquer les chaînes carbonées C-C du bois et les groupes fonctionnels oxygénés du bois.

Des réactions telles que la décomposition du méthane ($\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$) et la réaction du gaz à l'eau ($\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2$) sont amplifiées, ce qui favorise le craquage secondaire des goudrons et du charbon résiduel.

Ceci augmente significativement la teneur en H₂ et CO, améliorant ainsi efficacement le rendement en H₂ et la qualité du gaz de synthèse [11]. Mishra et Shu [12] ont rapporté que la GV produisait un rendement en H₂ trois fois supérieur à celui de la gazéification à l'air. Balu et Lee [13] ont étudié la production de gaz de synthèse à partir de biomasse ligneuse par GV.

Les résultats ont montré que le gaz de synthèse produit par la synthèse par vapeur d'eau (SG) présentait une teneur en H_2 relativement élevée. Liu et Chen [14] ont étudié la SG de la paille de riz et ont obtenu un rendement maximal en H_2 de 205,84 mL/g sous atmosphère de vapeur d'eau. Ils ont constaté que la vapeur d'eau favorise les réactions de réarrangement, de condensation et de polymérisation des cycles aromatiques, ce qui facilite la formation de H_2 .

Cette étude visait à élucider le mécanisme de co-gazéification à la vapeur (co-GV) des déchets de combustion de four (DCF) et des déchets de production (DP) et à optimiser le procédé afin d'obtenir un rendement maximal en H_2 .

Les objectifs spécifiques étaient les suivants :

- (1) identifier la libération des produits et l'effet synergique lors de la co-GV des DCF et des DP par analyse thermogravimétrique couplée à la spectrométrie de masse (ATG-SM) ;
- (2) élucider les caractéristiques et la distribution des produits issus de la co-GV des DCF et des DP ;
- (3) établir le cadre opérationnel optimisé pour un rendement maximal en H_2 par un plan d'expériences composite centré (PCC).

Cette étude apporte de nouvelles perspectives et des orientations théoriques pour le traitement des DCF et des DP.

Matériaux expérimentaux

Les déchets alimentaires (FWD) ont été collectés auprès d'une usine de digestion anaérobie (AD) de déchets alimentaires située à Xining, dans la province du Qinghai, en Chine.

L'échantillon de polyéthylène (PE) utilisé, présentant une teneur relativement élevée en déchets alimentaires, a été acheté auprès de Guangdong Zhonglian Plasticization Technology Co., LTD.

Afin de mieux comprendre le mécanisme, l'utilisation d'un seul type de PE a permis une étude contrôlée de la synergie intrinsèque de la co-gazéification, sans interférence d'additifs inconnus ni d'hétérogénéité du mélange polymère. Tous les échantillons ont été séchés à 105 °C pendant 24 heures.

L'analyse thermogravimétrique couplée à l'analyse par spectrométrie de masse

Afin d'élucider le comportement de décomposition thermique et l'interaction synergique entre le FWD et le WP lors de la co-gazéification à la vapeur, une analyse TG-MS a été réalisée. Cette section présente les profils TG/DTG, les schémas d'évolution des principales espèces gazeuses et les paramètres cinétiques obtenus par la méthode de Coats-Redfern.

Conclusion

Cette étude a démontré que la co-gazéification (co-SG) de déchets solides (FWD) et de déchets de production (WP) constitue une voie thermochimique viable pour la production de gaz de synthèse riche en hydrogène, tout en traitant simultanément deux flux de déchets.

L'indice de performance de la co-gazéification (CPI) a augmenté de $0,26 \times 10^{-8}$ à $1,88 \times 10^{-8}$ lorsque la proportion de déchets de production (WP) à stabilité thermique élevée a augmenté.

Un effet synergique significatif a été observé pour la co-gazéification, comme le démontre l'indice de synergie (SI) compris entre -0,83 et -1,29.

Ceci confirme que la co-gazéification convertit une plus grande quantité de matière première solide en gaz que ne le prédit un modèle linéaire.

Déclarations : Suivre ce lien

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890426006461?>