

ASTRATTO

Il settore alimentare svolge un ruolo importante nel garantire la buona salute e le esigenze nutrizionali delle persone in generale, mantenendo la sicurezza alimentare. L'ambito delle attività di questo settore è coperto dalla produzione alimentare, dalla gestione post-raccolta, dalla lavorazione, dalla produzione, dall'imballaggio, dal trasporto e dal consumo. Tuttavia, la crescente popolazione mondiale ha aumentato il bisogno di cibo, ma allo stesso tempo c'è stato un aumento significativo della produzione di rifiuti dell'industria alimentare, che ha rappresentato una sfida definitiva. Principalmente si osservano su larga scala due tipi di rifiuti, i rifiuti liquidi (acque reflue) e i rifiuti solidi (rifiuti alimentari), ma trattando questi rifiuti si potrebbero ottenere diversi potenziali benefici rispettivamente in termini di produzione di acqua pulita e recupero delle risorse. Con l'emergere delle tecnologie di trattamento delle acque reflue e di recupero delle risorse, il processo a membrana è stato identificato come un principale strumento negli ultimi anni grazie ai suoi vantaggi unici, tra cui alta efficienza, strutture portatili, economicamente fattibili, ecc. Pertanto, nella tesi attuale, nuove membrane di nanofibre elettrofilate sono state applicate nel trattamento delle acque reflue e la filtrazione a membrana a pressione utilizzata per il recupero delle risorse modulando l'intensificazione del processo.

Ad oggi, i materiali delle membrane a base di nanofibre elettrofilate, solitamente con diametri più piccoli (meno di 100 nm) e una superficie maggiore, sono stati ampiamente utilizzati per sostituire gli adsorbenti tradizionali. Pertanto, gli autori, utilizzando un approccio ecologico per eliminare il blu di metilene da una soluzione acquosa, hanno sviluppato un'esclusiva membrana in nanofibre elettrofilate composta da una combinazione di polietersulfone e idrossipropilcellulosa (PES/HPC). Le strutture della membrana di nuova fabbricazione sono state studiate utilizzando SEM, FTIR, TGA e XRD. I risultati mostrano che nella membrana è stata osservata una nanofibra di dimensioni uniformi con un diametro ultrasottile di 168,5 nm e un'elevata stabilità meccanica. Le misurazioni dell'angolo di contatto hanno dimostrato che la membrana miscelata mostra una buona idrofilia e un'eccellente capacità di adsorbimento. La capacità di adsorbimento più alta è risultata essere 259,74 mg/g a pH neutro a temperatura ambiente e il modello di pseudo-secondo ordine è risultato accurato. Inoltre, è stata sviluppata e applicata una nuova membrana a base di nanofibre elettrofilate miscelate in polietersulfone/poliacrilonitrile (PES/PAN) per rimuovere il blu di metilene dalle soluzioni acquose. I risultati del SEM hanno mostrato una superficie liscia della membrana in nanofibra PES/PAN miscelata con un diametro ultrasottile di 151,5 nm, molto migliore della membrana in nanofibra PES incontaminata (261,5 nm). Inoltre, la membrana in nanofibra PES/PAN miscelata ha mostrato una buona stabilità meccanica e natura di idrofilia, che sono vitali per lo studio dell'adsorbimento. Dati sperimentali sulla cinetica di adsorbimento rispettati dallo pseudo-secondo ordine ($R^2=0,9970$) e coerenti con il modello dell'isoterma di Langmuir ($R^2=0,9983$) mostrando la capacità massima di adsorbimento di 1010 mgMB/g a pH neutro e temperatura ambiente, indicando che quello il processo di adsorbimento è avvenuto in una forma monostrato della superficie della membrana.

Inoltre, il potenziale dei flussi di rifiuti organici (cioè i rifiuti alimentari) per la produzione sostenibile di precursori chimici come gli acidi grassi volatili (VFA) utilizzando la digestione anaerobica (AD) ha ricevuto notevole attenzione nei giorni nostri all'interno di un consorzio di recupero delle risorse. I VFA derivati dall'AD hanno un grande appeal sul mercato se vengono superate le sfide con il loro recupero e purificazione dal complesso effluente dell'AD. In questo studio, è stato utilizzato un nuovo bioreattore a

membrana immersa per microfiltrazione (MBR) per la produzione di VFA dai rifiuti alimentari e contemporaneamente il recupero in situ di VFA. Il permeato recuperato è stato quindi sottoposto ad ulteriore purificazione utilizzando un'unità di ultrafiltrazione a flusso laterale. È stato riscontrato che la concentrazione di VFA (sopra 6 g/L) era maggiore per 10 kDa a pH 5,4 in soluzione ultrafiltrata. Successivamente, la nanofiltrazione è stata eseguita utilizzando due membrane di nanofiltrazione commerciali di 200-300 Da e 300-500 Da a vari pH, applicando rispettivamente una pressione e una temperatura costanti di 15 bar e 20-21°C. Come notato, la membrana con il cut-off del peso molecolare (MWCO) di 200-100 Da sembrava essere più efficace con una maggiore concentrazione di VFA totali (16,94 g/L) e una percentuale di recupero superiore al 90% a pH 9. Inoltre, le percentuali di concentrazione e recupero dei singoli VFA sono state ulteriormente potenziate conducendo un processo di riciclo sequenziale del permeato, dove, curiosamente, sono state raggiunte percentuali di recupero del 100% per acidi specifici.

Nel complesso, la nuova membrana di nanofibre elettrofilate è promettente per le future applicazioni di trattamento delle acque reflue dell'industria alimentare con maggiore efficienza, mentre l'uso della filtrazione a membrana a pressione come post-trattamento degli effluenti derivati dai rifiuti alimentari digeriti anaerobicamente potrebbe essere un potenziale percorso di recupero dei VFA a base di prodotti chimici.

ABSTRACT

The food sector plays an important role in ensuring the general people's good health and nutritional needs by maintaining food security and food safety. This industry's scope of activities is covered by food production, postharvest management, processing, manufacturing, packing, transportation, and consumption. However, the growing worldwide population has increased the need for food, but at the same time there has been a significant increase in the output of waste generation of the food industry, which represented as an ultimate challenge. Mainly, two types of wastes, liquid waste (wastewater) and solid waste (food waste), are observed on a large scale, but by treating these wastes, various potential benefits could be obtained in terms of clean water production and resource recovery, respectively. With the emergence of wastewater treatment and resource recovery technologies, membrane process has been identified as a mainstream tool in the last few years due to its unique advantages, including high efficiency, portable facilities, economically feasible, etc. Therefore, in the current thesis, novel electrospun nanofibers membranes have been applied in treating wastewater and pressure-driven membrane filtration used for resource recovery by modulating their process intensification.

As of today, electrospun-based nanofibers membrane materials, usually with smaller diameters (less than 100 nm) and higher surface area, have been used widely to replace traditional adsorbents. Thus, the authors, using an environmentally friendly approach for eliminating methylene blue from an aqueous solution, have developed a unique electrospun nanofiber membrane made of a combination of polyethersulfone and hydroxypropyl cellulose (PES/HPC). Structures of the newly manufactured membrane were studied using SEM, FTIR, TGA, and XRD. The results show that a uniformly-sized nanofiber with an ultrathin diameter of 168.5 nm and high mechanical stability has been observed in the membrane. Contact angle measurements have shown that the blended membrane exhibits good hydrophilicity, and excellent adsorption capacity. The highest adsorption capacity was found to be 259.74 mg/g at neutral pH under room temperature, and the pseudo-second-order model was found to be accurate. In addition, a novel polyethersulfone/polyacrylonitrile (PES/PAN) blended electrospun nanofiber-based membrane was developed and applied for removing methylene blue from aqueous solutions. SEM results exhibited a smooth surface of the blended PES/PAN nanofiber membrane with an ultrathin diameter of 151.5 nm, much better than the pristine PES nanofiber membrane (261.5 nm). Besides, the blended PES/PAN nanofiber membrane showed a good mechanical stability and hydrophilicity nature, which are vital for adsorption study. Experimental adsorption kinetic data obeyed by the pseudo-second-order ($R^2=0.9970$) and consistent with the Langmuir isotherm model ($R^2=0.9983$) by showing the maximum adsorption capacity of 1010 mgMB/g at neutral pH and room temperature, indicating that the adsorption process occurred in a monolayer form of the membrane surface.

Additionally, the potential of organic waste streams (i.e., food waste) for the sustainable production of precursor chemicals such as volatile fatty acids (VFAs) using anaerobic digestion (AD) has received significant attention in the present days within a consortium of resource recovery. AD-derived VFAs have great market appeal if the challenges with their recovery and purification from the complex AD effluent is overcome. In this study, a novel microfiltration immersed membrane bioreactor (MBR) was used for the production of VFAs from food waste and simultaneously *in-situ* recovery of VFAs. The recovered permeate was then subjected to further purification using a side stream ultrafiltration unit. It was found

that VFAs concentration (above 6 g/L) was higher for 10 kDa at pH 5.4 in ultrafiltered solution. After that, nanofiltration was carried out using two commercial nanofiltration membranes of 200-300 Da and 300-500 Da under various pH, applying constant pressure and temperature of 15 bar and 20-21°C, respectively. As noticed, the membrane with the molecular weight cut-off (MWCO) of 200-100 Da appeared to be more effective with an increased concentration of total VFAs (16.94 g/L) and recovery percentage above 90% at pH 9. Moreover, the concentration and recovery percentages of individual VFAs were further enhanced by conducting a sequential permeate recycling process, where, interestingly, recovery percentages of 100% was reached for specific acids.

Overall, the novel electrospun nanofibers membrane are promising for future food industry wastewater treatment applications with increased efficiency, while the use of pressure-driven membrane filtration as a post-treatment of anaerobically digested food waste-derived effluent could be a potential recovery pathway of VFAs-based chemicals.