

水熱液化預處理對污泥厭氧發酵產氣效能之影響

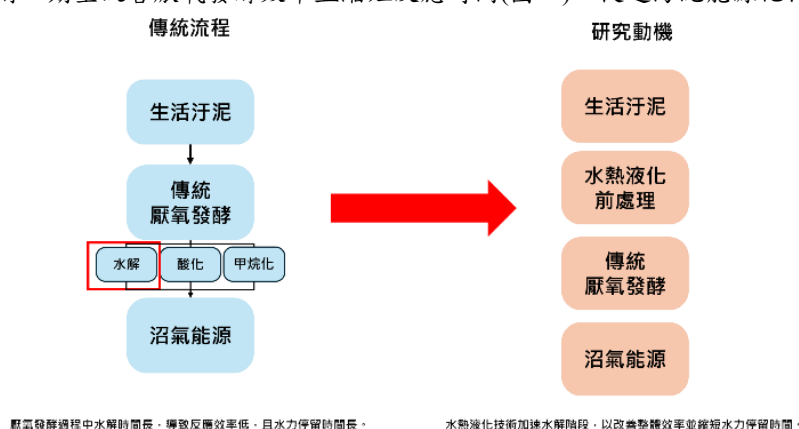
陳姿佑¹、洪政源²、王昭文³、黃彥傑⁴、顏仲崑^{5*}

¹⁵義守大學工學院工程科技碩士班智慧機械工程組

²³⁴金屬工業研究發展中心

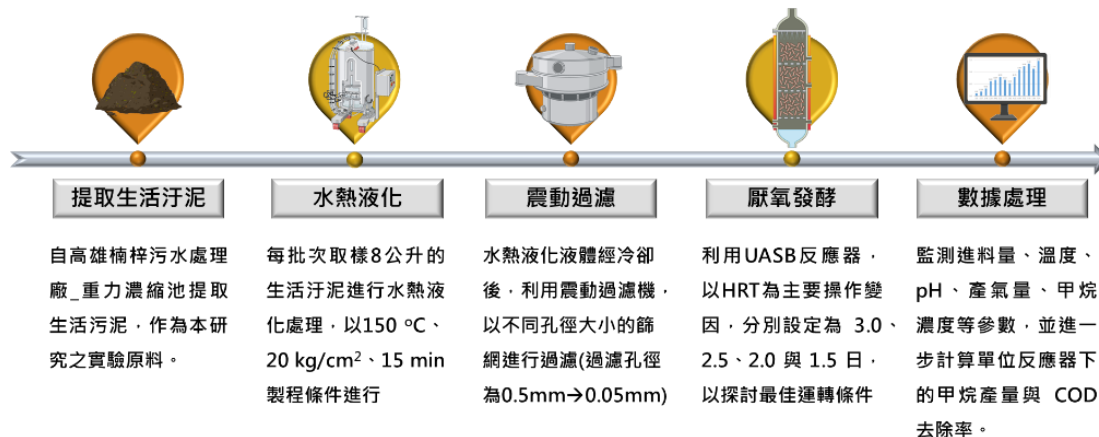
*E-mail: alden0113@gmail.com

隨著城市化與人口密集化發展，污水處理廠在處理生活廢水的過程中會產生大量生活污水泥，若未妥善處理，將造成嚴重環境負擔。**傳統厭氧發酵**(Anaerobic Digestion, AD)可將有機物經水解、酸化與甲烷化三階段反應轉化為沼氣能源，但因**污泥結構複雜**且富含難降解之胞外聚合物，**使水解階段成為反應速率限制步驟**[1, 2]，導致**效率低且水力停留時間**(Hydraulic Retention Time, HRT)**過長**[3]。近年來，水熱液化(Hydrothermal Liquefaction, HTL)技術能於高溫高壓條件下破壞細胞結構並釋放可溶性有機物，提升生物可降解性與甲烷生成潛力。本研究以HTL作為前處理技術，期望改善厭氧發酵效率並縮短反應時間(圖一)，促進污泥能源化再利用。



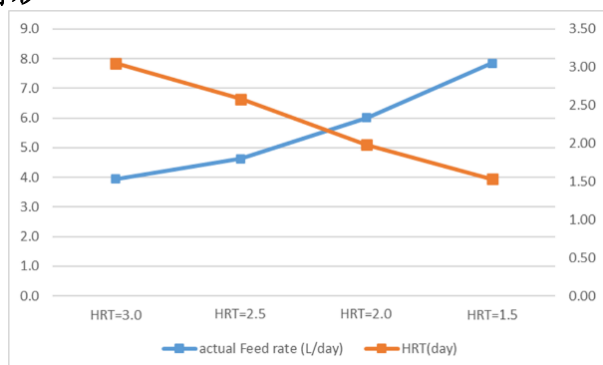
圖一：研究動機

本研究目的旨在評估生活污水泥經水熱液化後作為厭氧發酵進料之可行性與反應器操作特性，研究流程如圖二所示。實驗料源取自高雄楠梓污水處理廠，每批次取用 8 L 生活污水泥，並於槽外添加 1 L 清水作為傳熱介質，於 150 °C、20 kg/cm² 下維持 15 min 進行水熱液化前處理。冷卻後的液體樣品經震動過濾機依序通過 0.5 mm、0.2 mm、0.1 mm 與 0.05 mm 篩網，去除較大顆粒物，如草屑、砂石等雜質後作為厭氧發酵進料。反應系統採上流式厭氧污泥床反應器(Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB)，以 HRT 為主要操作變因，分別設定為 3.0、2.5、2.0 與 1.5 日，以探討最佳運轉條件。實驗期間持續監測進料量、溫度、pH 值、總產氣量與甲烷濃度等，並定期採樣分析可溶性化學需氧量(Soluble chemical oxygen demand, sCOD)。所得數據經整理與分析後，用以評估反應器在不同 HRT 條件下之穩定性、產氣效能與有機物去除表現，並作為後續系統優化與操作參數調整之依據。

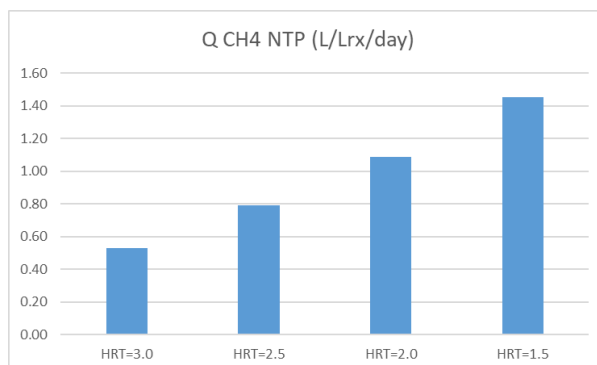


圖二：研究方法

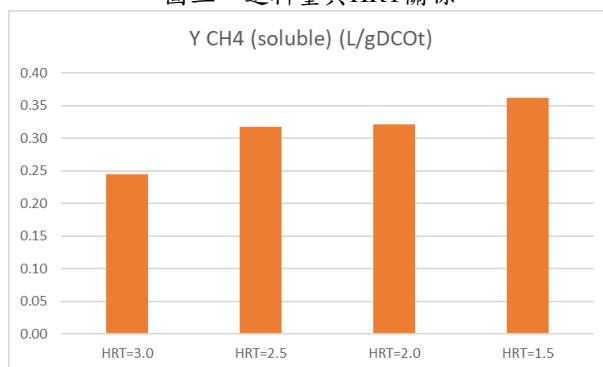
根據圖三的結果顯示，本研究透過調整進料速率以對應不同的HRT，進而建立穩定的操作條件。當 HRT 由 3.0 日縮短至 1.5 日時，進料量對應由約 4 L/day 增加至 8 L/day，顯示系統能在控制進料的情況下精確維持預期的 HRT。圖四顯示，單位反應體積下的甲烷生成速率隨 HRT 縮短而顯著提升，由 0.8 L-CH₄/Lrx·day 提高至 1.5 L-CH₄/Lrx·day，顯示高負荷條件下甲烷生成反應更為活躍。進一步從圖五可見，甲烷產率(以去除之 COD 計，單位為 L-CH₄/g-COD)在 HRT=3.0 日時約為 0.25 L/g-COD，隨 HRT 降至 1.5 日時提升至約 0.36 L/g-COD。此結果反映出，隨進料量與負荷提升，反應器內的有機物濃度亦同步上升，而經水熱液化前處理後的高濃度進料仍具良好生物可降解性與穩定產氣能力。至於可溶性 COD 去除率(圖六)，在各操作條件下皆維持於 70% 以上，最高達 82%，顯示反應器於高負荷下仍能穩定進行有機物降解與能源轉換，未出現酸化累積或效率下降的情形。



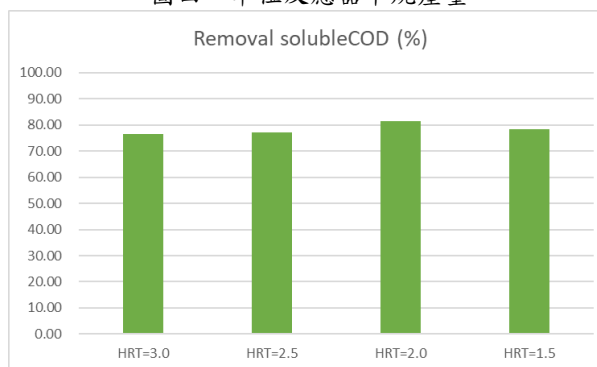
圖三：進料量與HRT關係



圖四：單位反應器甲烷產量



圖五：甲烷產率



圖六：COD移除率

相較於傳統厭氧發酵系統，由於未經水解階段的有機物難以被微生物直接利用，因此通常需在較長的HRT條件下運行。本研究結果顯示，經水熱液化前處理後的樣品，其溶解性有機物濃度顯著提升，提供了更易被微生物分解的基質。當以此高濃度進料進行生物反應時，即使將 HRT 調降至 3.0 日以下，並逐步降低至 1.5 日，反應器仍能維持穩定且高效的運轉表現。此結果證實，水熱液化前處理不僅能有效提升有機物的可利用性，亦能支持反應器在高負荷與短停留時間條件下穩定運作。

關鍵字：生活污水、水熱液化前處理、厭氧發酵、沼氣

誌謝

本論文為國科會計畫編號 114-2221-E-214-013- 之計畫成果，由於國科會的支持，使本計畫得以順利進行，特此致上感謝之意。

參考文獻

1. L. Zhang, R. Gao, A. Naka, T.L.G. Hendrickx, H.H.M. Rijnaarts, G. Zeeman. Hydrolysis rate constants at 10–25 °C can be more than doubled by a short anaerobic pre-hydrolysis at 35 °C, Water Research (2016) 283-291.
2. T. Menzel, P. Neubauer, S. Junne, Role of Microbial Hydrolysis in Anaerobic Digestion, Energies, 2020.
3. V.K. Tyagi, S.-L. Lo. Application of physico-chemical pretreatment methods to enhance the sludge disintegration and subsequent anaerobic digestion: an up to date review, Reviews in Environmental Science and Bio/Technology (2011) 215-242.