

回收生物可分解性廢塑膠運用於有機廢水處理之研究



專題學生：傅永宏、陳好萱、戴宏洋、張灝騰、鄧芯淳、林江禹、陳佩君

一、摘要

本研究採用回收之廢PLA成功製成發泡濾材，作為生物濾床之材料，並依養殖廢水之成分與濃度，配製模擬廢水。使該廢水通過不同填充密度與配置方式的生物濾床處理系統，以瞭解廢水處理效率。實驗結果顯示，以串聯兩個濾材填充率50%的濾床，具有較高的有機物去除效果。在水力停留時間6小時的設計條件下，可去除86.54% COD、86.69% BOD、28.86% NO₃⁻-N、78.43% NO₂⁻-N、74.03% NH₄⁺-N。

關鍵字：有機廢水、發泡濾材、生物濾床、聚乳酸(Polylactic acid, PLA)

二、前言

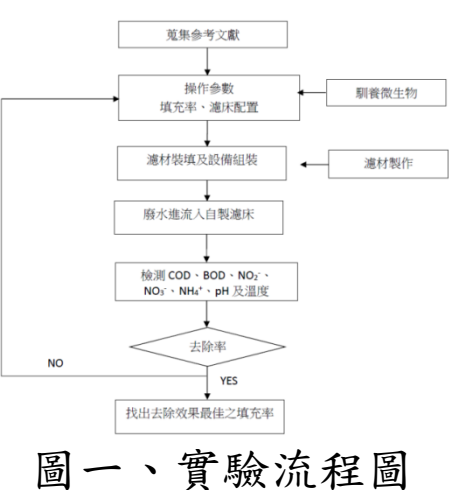
地球表面超過70%的面積被水所覆蓋，不僅人們生活所需的水是經淨水廠處理才能安心使用，人類消費後或工業製程產生的廢(污)水之妥善處理，也一直是全世界所關注的議題及持續努力的目標。廢(污)水處理中的生物處理技術有生物接觸曝氣法、活性污泥法、滴濾池法、旋轉生物圓盤法、生物濾床法等。其中的生物濾床法，是利用一些塑膠顆粒、礫石或珊瑚礁為濾材，讓微生物在其周圍形成一層生物膜，使廢(污)水通過濾材時，水中之有機物接觸濾材上附著之生物膜，而被分解消化，並代謝為二氧化碳、硝酸鹽等，濾材的間隙也可以使懸浮物滯留、沈澱及凝集而使水質淨化。

生物濾床法於養殖業的應用，則是在養殖池換水時，利用水位差流至生物過濾池時，先以濾床過濾污水，濾床保持水溫在28℃~30℃，pH值在7.0~8.0之間及溶氧在3mg/l以上。此時濾床表層的硝化細菌的活性保持最高，能迅速將溶於水中的有機物硝化，經過生物濾床處理過的水再由馬達送至養殖池再利用。相較於其他生物處理技術，而生物濾床法之濾材通常使用塑膠顆粒、礫石或珊瑚礁，其中塑膠顆粒材質較容易取得且成本低、效果較好。本研究回收使用後之PLA容器，經濟潔、乾燥、粉碎後，製成發泡濾材，作為生物濾床之材料，水質安定、微生物存活率高、生物過濾池設備簡單、操作簡易的優點。

本研究工作項目分為四部分，第一部分為比較簡易法與標準方法進行亞硝酸鹽氮、硝酸鹽氮分析時之回收率；第二部分於實驗室配製模擬養殖廢水，以此廢水馴養微生物；第三部分為製備PLA發泡材，填充於管柱中，作為馴養微生物的固定床，讓微生物在固定床中形成生物濾膜；第四部分則是將自製模擬之養殖廢水流經不同填充率之生物濾床，使微生物接觸分解污水中各汙染物質，以得到生物濾床對於污水中NO₂⁻-N、NO₃⁻-N、NH₄⁺-N、BOD、COD之去除率，探討不同填充型式之生物濾床對於各目標汙染物去除率之影響。

三、研究方法

本研究模擬台灣西部養殖漁業的廢水成分及濃度，配製模擬養殖廢水，並自製濾材組裝成生物濾床，過濾模擬養殖廢水，定期檢測廢水及出流水之pH及溫度、NO₂⁻-N、NO₃⁻-N、NH₄⁺-N、BOD、COD的濃度，計算去除效果，若去除率未達20%則須調整參數，再進行試驗。實驗流程如圖一。



圖一、實驗流程圖

1. 配製模擬廢水

養殖水體中的氮主要來源為水中動物的排泄物、代謝物，或殘留飼料被細菌分解，本研究主要是探討濾材填充率及濾床配置方式，對於廢水中有機物去除率之影響。利用自製的PLA發泡濾材填充於生物反應槽中，使用之模擬養殖廢水，是依據台灣西部台西沿岸養殖區域之水質調查研究，經三年調查分析結果顯示，養殖業養殖水一般性質中，BOD為0.5~12.5mg/l、COD介於1.04~5.82mg/l、NH₄⁺-N介於0.03~1.54mg/l、NO₃⁻-N介於0.04~1.25mg/l、NO₂⁻-N介於0.02~0.26mg/l、pH介於7.74~8.6(黃福銘、周昱翰，2006)。本研究先以此廢水進行微生物馴養，檢測循環水中上述汙染物濃度後發現，濃度幾乎降為0。主要是因水中各個汙染物濃度太低，容易為微生物分解，使得僅經曝氣的養殖水，汙染物幾乎已完全被微生物利用。基於養殖業用水需求極高，若能將廢水循環再利用，不但可減低大量換水對養殖生物環境之衝擊，亦可節省大量用水。因此本研究以水污染防治法中的工業類放流水標準化學需氧量100~160 mg/L、NO₃⁻ 50mg/L為參考基準，並依高含氮製程事業，且排放廢(污)水於水源地水質水量保護區外者，的氨氮放流水標準，模擬廢水的成分與濃度如表一。

成分	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	COD
濃度	12.5 mg/l	12.5 mg/l	150 mg/l	125 mg/l
模擬用之藥劑	KNO ₃	NaNO ₂	NH ₄ Cl	KHP

表一、模擬養殖廢水之成分與濃度

因一般生物處理系統之水力停留時間介於4至8小時，因此本實驗取其中間值，固定廢水於生物濾床中之水力停留時間為6小時，採用2種不同濾材填充率，進行污水處理，以找尋處理效果最為顯著之濾床濾材填充率，獲得最佳的濾材填充率。為了瞭解在濾材總填充量及水力停留時間相同的條件下，將廢水流經兩個串聯的生物濾床中，有機物去除率是否受到影響。因此將廢水分批流經(最佳濾材填充率)的兩個濾床，進行出流水中汙染物分析。

2. 製備生物濾床

以9% PLA溶液，於51.5℃、抽真空4小時後，製得之廢PLA發泡濾材有最大的孔隙率。本研究採用的2種濾材填充率分別為填充率100%的A濾床(簡稱A槽)及填充率50%的B濾床(簡稱B槽)，另串聯2個填充率50%之濾床(簡稱C槽)。

由蠕動幫浦流量率定曲線之試驗結果得到，流量Y與蠕動幫浦轉速X間的關係式為Y=10.354+1.371X。因濾床體積為1000mL，因此以廢水通量為1000mL，而停留時間為6小時，則流量為161.9276 ml/hr，將Y以161.9276代入率定曲線方程式後，得到蠕動幫浦轉速X應設定為62 rpm，後續實驗依循此條件進行。

3. 水質檢測方法

定期檢測廢水及出流水之pH及溫度、NO₂⁻-N、NO₃⁻-N、NH₄⁺-N、BOD、COD的濃度，pH、溫度(NIEA W424.52A)、COD(NIEA W517.52B)、BOD(NIEA W510.55B)依環保署公告之標準方法檢測。比對環保署環境檢驗所公告的水中NO₂⁻-N、NO₃⁻-N、NH₄⁺-N之檢測方法與簡易水質分析法的回收率，數據相對差異百分比皆小於15%，因此本實驗為了節省藥劑及時間，將採用簡易水質分析法。



圖二、PLA與二氧甲烷比例攪拌溶解



圖三、調整適當轉速使PLA均勻溶解



圖四、PLA溶液放入真空乾燥箱發泡



圖五、PLA發泡體成品



圖六、破碎後之PLA發泡體



圖七、將PLA濾材填充至1L濾床中



圖八、上方壓入小石子以固定濾床

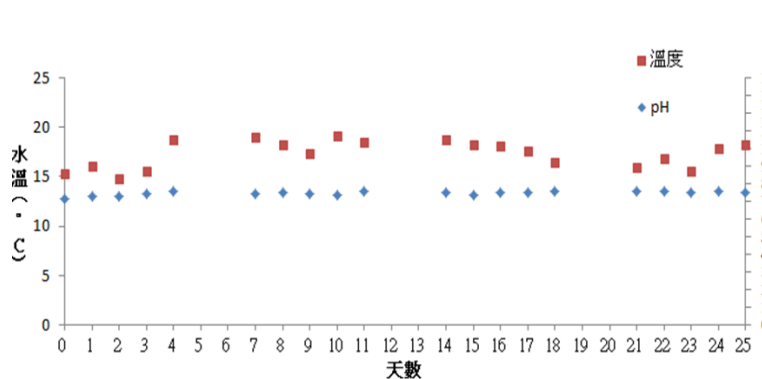


圖九、填充完成後之生物濾床

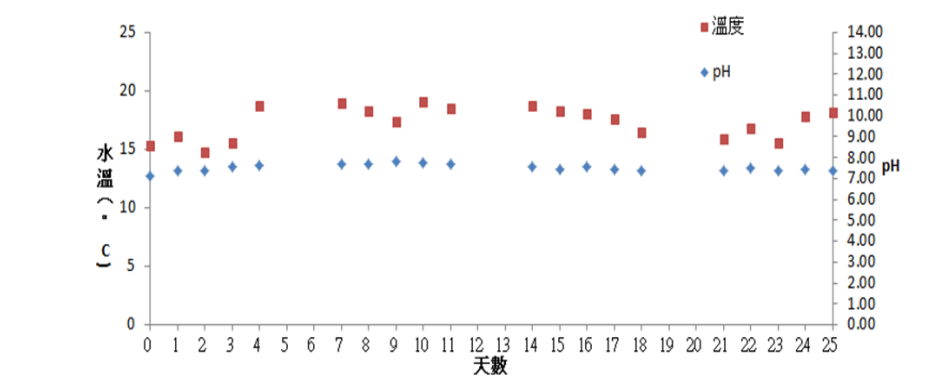
四、結果與討論

1. 不同填充率的濾床對廢水pH及溫度變化之影響

圖二及圖三為模擬廢水流經填充率100%、50%之生物濾床後之出流水的pH及溫度變化圖。由圖中可觀察到，實驗期間(105.03.28~105.04.22)A槽出流水之pH值介於7.15~7.61之間、B兩槽的pH值介於7.15~7.81之間，大致維持穩定的狀態，落在大多數細菌生長所需要的最適pH值7.0~8.0之間。A及B兩槽出流水水溫介於14.8~19.1℃，多隨當時之氣溫而變，不致影響微生物分解廢水中汙染物之速率。



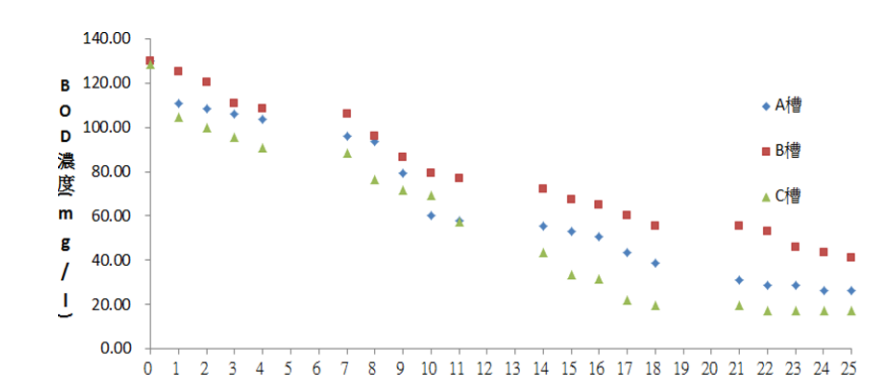
圖二、模擬廢水流經A槽後之pH及水溫變化



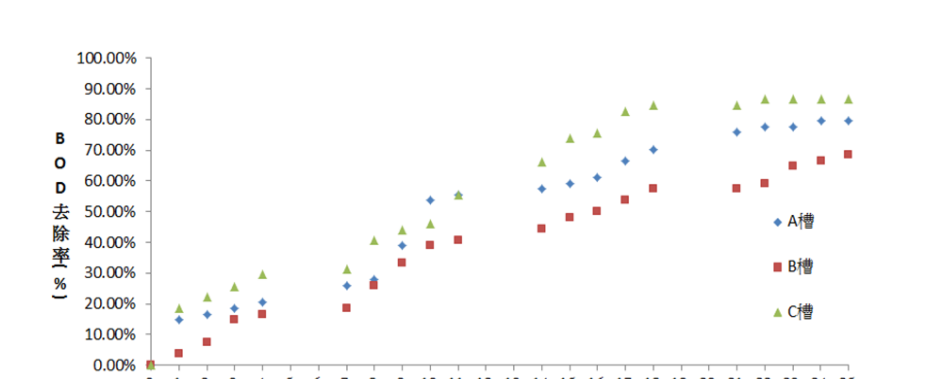
圖三、模擬廢水流經B槽後之pH及水溫變化

2. 不同填充率的濾床對廢水BOD去除效果之影響

圖四及圖五為模擬廢水流經填充率100%、50%之生物濾床後，出流水的BOD變化圖。試驗為期25天，在試驗期間，通過填充率100%之生物濾床之進流水，原廢水的BOD實測值為129.9 mg/l，A槽出流水BOD值在第18天下降至38.5 mg/L，試驗終止時，BOD降至26.5 mg/L，去除率達79.63%。B槽出流水BOD值在第21天降至55.3 mg/L，試驗終止時，出流水之BOD降至40.9 mg/L，去除率達68.52%。得到A及B槽在水力負荷相同的情況下，兩槽的BOD去除率可達近70%以上但A槽的去除效果較B槽佳，可達到79.63%，而B槽去除效果為68.52%，顯示有機負荷較低的濾床，BOD去除率較高。因此就本研究廢水中COD之去除，以填充率100%最佳，但未來若應用於實廠時，以填充率50%為較適化比例。因此就本研究廢水中BOD之去除，以填充率100%最佳，較填充率50%的濾床提高10%左右的去除率。



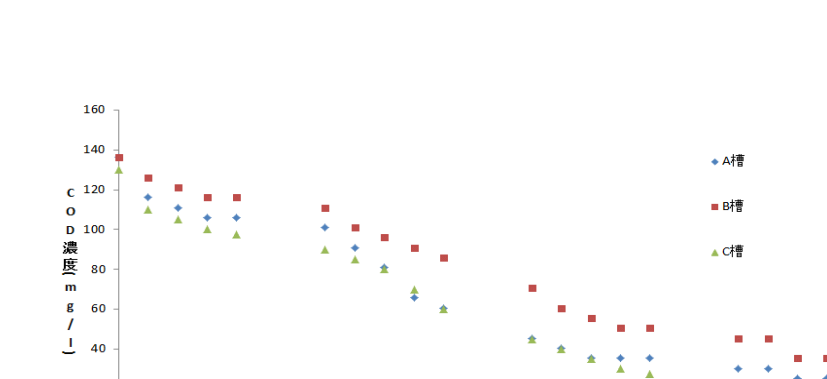
圖四、模擬廢水流經不同填充率之生物濾床後的BOD變化



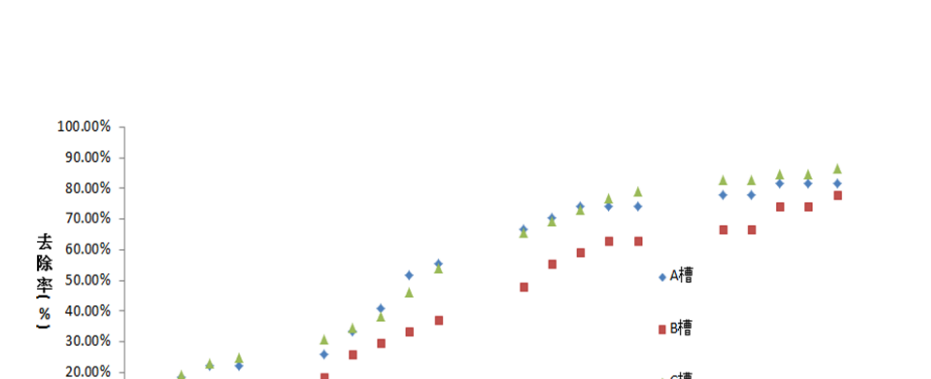
圖五、模擬廢水流經不同填充率之生物濾床後的BOD去除率

3. 不同填充率的濾床對廢水COD去除效果之影響

圖六及圖七為模擬廢水流經填充率100%、50%之生物濾床後，出流水的COD變化圖。由圖中可看出，原廢水COD實測值136.31 mg/l，試驗期間檢測流過本研究所製備之生物濾床A、B槽之出流水，A槽第16天的出流水COD值已降至35.34 mg/l，第16天後，COD值持續以非常小的幅度下降，試驗終止時COD值下降至25.24 mg/l，去除率達81.5%。B槽第18天的出流水COD值已降至50.5 mg/l，試驗終止時COD值再下降至30.29 mg/l，去除率達77.8%。因此就本研究廢水中COD之去除，以填充率100%最佳，但未來若應用於實廠時，以填充率50%為較適化比例。



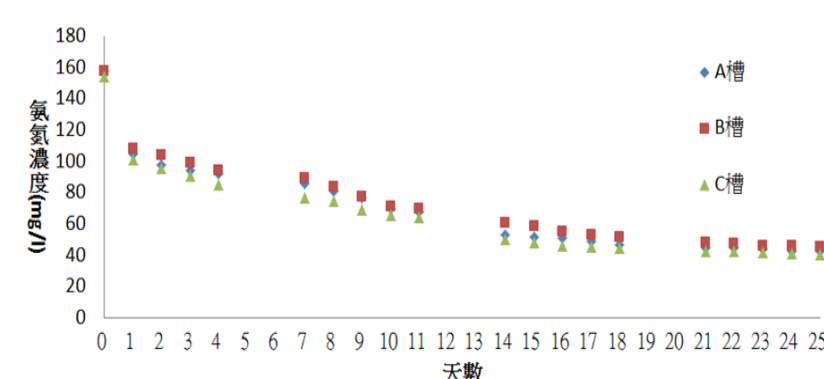
圖六、模擬廢水流經不同填充率之生物濾床後的COD濃度變化



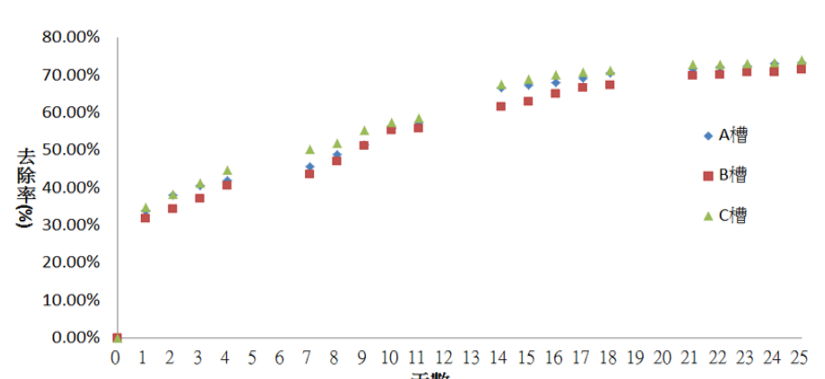
圖七、模擬廢水流經不同填充率之生物濾床後的COD去除率

4. 不同填充率的濾床對廢水氨氮去除效果之影響

經分析模擬廢水流經填充率100%、50%之生物濾床之進流水及出流水之氨氮濃度，整理如圖八和圖九。原廢水氨氮實測值為157.5 mg/l，試驗期間檢測流過本研究所製備之生物濾床A、B槽之出流水，A槽第15天的出流水值氨氮已降至51.5 mg/l，第16天後，氨氮值持續以非常小的幅度下降，試驗終止時氨氮值下降至42.0 mg/l，去除率達73.33%，B槽第15天的出流水氨氮值已降至58.5 mg/l，試驗終止時氨氮值再下降至45.0 mg/l，去除率達71.43%。雖然A槽之出流水中氨氮濃度及去除率較B槽高一些，但差距小，因此兩生物濾床填充管柱，對於氨氮之去除效果相近，且水中氨氮濃度之變化趨勢亦相同。換言之，微生物之分解速率一定，濾材填充率加倍時，並無法提升對汙染物之分解率，所以對於本研究廢水中氨氮之去除，以填充率50%為較適化比例。



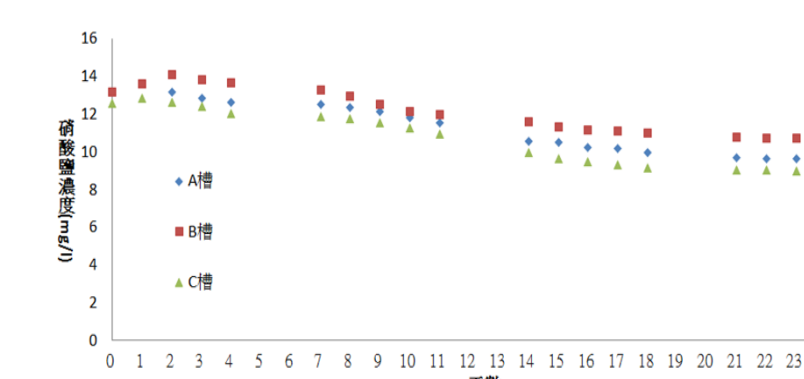
圖八、模擬廢水流經不同填充率之生物濾床後的氨氮濃度變化



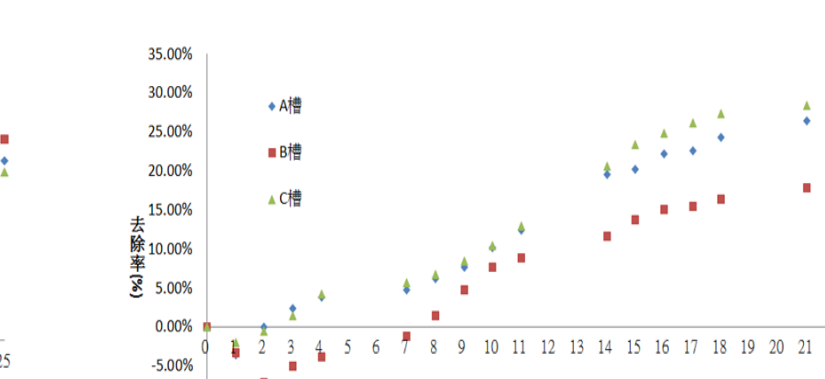
圖九、模擬廢水流經不同填充率之生物濾床後的氨氮去除率

5. 不同填充率的濾床對廢水硝酸鹽去除效果之影響

圖十及圖十一為模擬廢水流經填充率100%、50%之生物濾床後，出流水的硝酸鹽變化圖。原廢水之硝酸鹽實測值13.13 mg/l，試驗期間檢測流過本研究所製備之生物濾床A、B槽之出流水，A槽第10天的出流水硝酸鹽值已降至11.78 mg/l，第11天後，硝酸鹽值下降幅度較為緩慢，試驗終止時硝酸鹽值下降至9.50 mg/l，去除率達27.62%。B槽第11天的出流水硝酸鹽值已降至11.97 mg/l，試驗終止時硝酸鹽值再下降至10.63 mg/l，去除率達19.05%。本研究廢水中硝酸鹽之去除，以填充率100%較佳。由圖中可得知硝酸鹽氮在1~3天時濃度有微微上升，可能因為微生物進行有機物分解時，亞硝酸菌先將水中氮氣轉換為亞硝酸鹽，因此亞硝酸鹽在前幾天有略微上升。硝化作用分為兩階段，亞硝酸菌先將氨氮轉換為亞硝酸鹽，硝酸菌再將亞硝酸鹽轉換為硝酸鹽所造成。



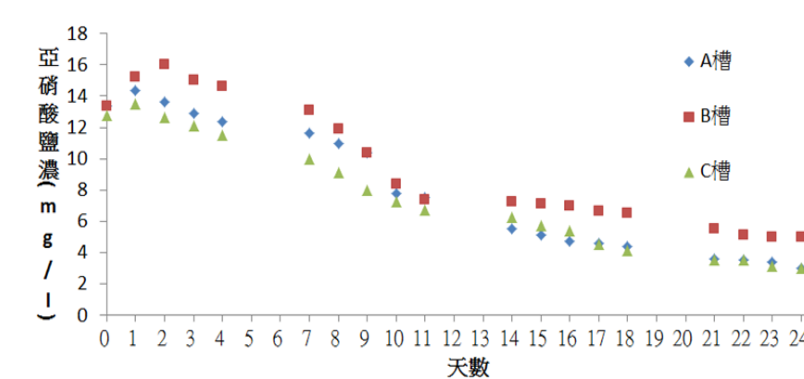
圖十、模擬廢水流經不同填充率之生物濾床後的硝酸鹽濃度變化



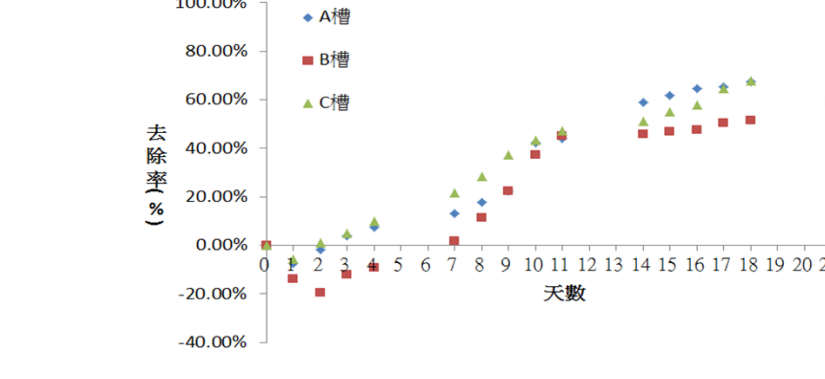
圖十一、模擬廢水流經不同填充率之生物濾床後的硝酸鹽去除率變化

6. 不同填充率的濾床對廢水亞硝酸鹽去除效果之影響

圖十二及圖十三為模擬廢水流經填充率100%、50%之生物濾床後，出流水的亞硝酸鹽變化圖。原廢水之亞硝酸鹽實測值13.38 mg/l，試驗期間檢測流過本研究所製備之生物濾床A、B槽之出流水，A槽第14天的出流水亞硝酸鹽值降至5.50mg/l，第15天後，亞硝酸鹽值下降幅度較為緩慢，試驗終止時亞硝酸鹽值下降至3.00 mg/l，去除率達77.57%。B槽第14天的出流水亞硝酸鹽值降至7.25mg/l，試驗終止時亞硝酸鹽值降至6.35%。本研究廢水中亞硝酸鹽之去除，以填充率100%較佳。在同一時間內，亞硝酸鹽的去除率較硝酸鹽好。



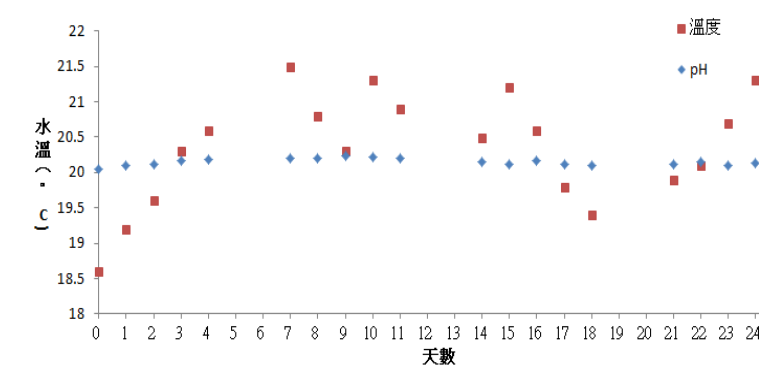
圖十二、模擬廢水流經不同填充率之生物濾床後的亞硝酸鹽濃度變化



圖十三、模擬廢水流經不同填充率之生物濾床後的亞硝酸鹽去除率變化

7. 濾床的配置方式對廢水中汙染物去除效果之影響

圖十四為模擬廢水流經兩串連50%填充率之生物濾床後，出流水的pH及溫度變化圖。實驗期間C槽出流水之pH值介於7.12~7.75之間、A槽(100%填充率)出流水之pH值介於7.15~7.61之間，兩槽的pH值變動範圍相近，落在大多數細菌生長所需要的最適pH值7.0~8.0之間。A及C兩槽出流水水溫介於14.8~21.6℃，多隨當時之氣溫而變，不致影響微生物分解廢水中有機物質濃度之速率。



圖十四、模擬廢水流經C槽後之pH及水溫變化

由圖四及圖五可得知A槽、C槽不同填充率之生物濾床BOD變化量，C槽原始濃度128.45mg/l，當出流水BOD值在第18天下降至19.6 mg/L，試驗終止時，BOD降至17.1 mg/L，去除率達86.69%，而A槽的BOD去除率達79.63%。由此可見，在濾材總填充率皆為100%時，串連兩個填充率皆為50%的濾床，較單一槽填充率100%的濾床的BOD去除率比A槽來的高。

從圖六及圖七得知模擬廢水流經填充率A、C槽之生物濾床後，C槽之COD去除率達86.54%效果，較A槽之去除率81.5%好，原因是污水流經生物濾床之接觸面積一樣，但C槽填充率的方式是第一段將水中有機負荷降低再進行第二段生物處理，因此提高了有機物之分解效率。

經分析進流水及出流水得到氨氮之數據，原廢水濃度154.0mg/l，C槽與A槽在第14天時，分別為50.0mg/l及52.5mg/l，在第15天後其濃度變化較為遲緩，而最終去除率僅達74.03%與73.33%(如圖八和圖九)，雖然BOD與COD在不同配置下去除效果顯著，但氨氮去除效果卻沒有太大的差異。

圖十二及圖十三是亞硝酸鹽濃度及去除率之變化圖，亞硝酸鹽原廢水濃度12.75mg/l，從圖可分析出C槽在第11天時，濃度降為6.75mg/l，A槽濃度降為7.5mg/l，而最終去除率分別為78.43%、77.57%，雖然兩者配置方法不同，但去除率效果較無太大差異。

硝酸鹽模擬廢水流經A槽與C槽之生物濾床後，C槽的去除率在第14至第18天較A槽佳，此時濃度為9.13mg/l、去除率達27.36%(如圖十及圖十一)，隨著時間變化A槽之最終去除率可與C槽相匹配。

A槽與C槽在相同的水力及有機負荷情況下，C槽生物去除有機物分為兩階段，有機物先經第一階段分解，使有機負荷降低再流入第二個生物濾床讓微生物接觸分解，所以去除率最好。

五、結論

1. 本研究以串連兩個填充率皆為50%的濾床方式，對BOD的去除率最高，達86.69%，其次為單一槽填充率100%的濾床，BOD去除率為79.63%，填充率50%的濾床去除效果為68.52%，顯示有機負荷較低的濾床，BOD去除率較高。
2. 串聯兩個填充率皆為50%的濾床之COD去除率達86.5%，較單一槽填充率100%或50%的濾床之去除率81.5%及77.8%高。當污水流經填充率相同的生物濾床(接觸面積一樣)，但串聯方式於第一階段將水中有機負荷降低再進行第二段生物處理，因此提高了有機物之分解效率。
3. 本研究以不同的填充率與串聯方式的生物濾床處理水中氨氮，去除效果並沒有太大的差異，去除率落在71%至74%之間。
4. 廢水中亞硝酸鹽與硝酸鹽之去除效果，填充率100%的濾床亞硝酸鹽去除率明顯皆較填充率50%者為佳，但串聯兩個填充率皆為50%的濾床方式，與單一槽填充率100%的濾床相比，則無太大差異。
5. 廢水中亞硝酸鹽之去除效果，填充率50%的濾床去除率為63.55%，串聯兩個填充率為50%的濾床方式，與單一槽填充率100%的濾床，去除率約在78%左右。
6. 廢水中硝酸鹽之去除率以串聯兩個填充率皆為50%的濾床方式，與單一槽填充率100%的濾床較佳，去除率約在28%左右。填充率50%者去除率則為10.63%。
7. 以填充率50%串聯方式的濾床可達到最高效益，但填充率100%者較填充率50%串聯佔地率小，故建議選擇填充率100%作為處理廢污水之設置方式為佳。