



以植生滯留槽控制農業非點源污染

何嘉浚／國立臺北科技大學土木工程系副教授

張峰毓／國立臺北科技大學土木工程系碩士

植生滯留槽屬於分散型LID/BMPs處理設施，其具有設置簡易、維護方便及造價低等優點，且對於營養鹽的削減有相當的功效，本文以茶園非點源污染為削減對象，於翡翠水庫集水區設置二處植生滯留槽進行現地實驗，試驗結果顯示植生滯留槽於設置約一至二個月待內部系統穩定後，便開始對施肥所產生的營養鹽有穩定的削減效果，經過一系列的雨天現地採樣，並檢測水質後得知，二處植生滯留槽出流水的懸浮固體（SS）濃度可以分別控制在 2.4 ± 1.2 mg/L及 4.3 ± 2.2 mg/L，平均削減率約為69.8%及75.6%；氨氮（NH₃-N）濃度可以控制在 0.41 ± 0.33 mg/L及 0.36 ± 0.27 mg/L，平均削減率約為68.9%及49.8%；總磷（TP）濃度可以控制在 0.041 ± 0.025 mg/L及 0.017 ± 0.003 mg/L，平均削減率約為62.7%及58.6%。

Bioretention is one of the distributed LID/BMPs facility not only have the advantages of sample establish, easy operation and maintenance, and low cost but also have the good performance in non-point source pollution removal. Two bioretention cells, A and B, were established in Feitsui reservoir watershed in order to understand the removal ability of tea garden non-point sources pollution in this study. After the installation of those two bioretention cells for 1 to 2 months, the performance of nutrients removed were obvious. For the results of storm water sampling and testing, the outflow concentration of suspended solid (SS) is 2.4 ± 1.2 mg/L and 4.3 ± 2.2 mg/L for bioretention A and B respectively as well as their average remove rate is 69.8% and 75.6%. The outflow concentration and average remove rate of ammonia nitrogen (NH₃-N) for bioretention A is 0.41 ± 0.33 mg/L and 68.9% respectively; for bioretention B is 0.36 ± 0.27 mg/L and 49.8% respectively. In addition, the total phosphorous (TP) concentration of outflow is 0.041 ± 0.025 mg/L with 62.7% of the average pollution removal for bioretention A and 0.017 ± 0.003 mg/L with 58.6% for bioretention B.

前言

生態工程於國內發展迄今已有十餘年歷史，初階段大都應用於河川及山坡地治理，並以防災與永續經營為主要目標，現階段則因技術的日臻成熟，再加上近年來受全球氣候變遷而日益嚴峻的水資源缺乏問題，因此生態工法技術已逐漸擴展至水質污染的削減與控制，藉此達到水資源的保育與永續利用。再者，目前國內對於暴雨逕流管理的觀念已日趨重視，如何結合防災與永續利用更是未來的新趨勢，而低衝擊開發（low impact development, LID）便是一種以生態系統為基礎，從逕流源頭開始的暴雨管理方法，利用現地的設施，增加暴雨逕流的入滲量，一方面可降低並延緩排水系統之洪峰流量，減輕排水系統的負荷避

免洪患的發生，達到安全的需求，另一方面亦可以補注地下水資源，若可以結合最佳化管理措施（best management practices, BMPs），藉由設施之土壤及植物等自然淨化系統來削減水污染，將可達到保水、水資源再利用及環境復育的生態永續目標，故此類設施一般通稱為LID/BMPs。

台灣地區現今由水利署公告之水庫計有96座，水庫集水區為重要之水源涵養及水土保持地區，96處蓄水設施之集水區涵蓋面積遼闊，廣達13,073平方公里，約佔台灣地區總面積之36%。再者，由於現行法規並未嚴格限制水庫集水區的農業行為，因此台灣幾乎所有的水庫集水區內均可見規模不等的農作，並可能伴隨產生水土保持及農業非點源污染等問題，嚴重影響水庫之壽命及水資源的永續利用。目前國內較常使用人工濕地或礫間接觸氧化

處理等集中型設施來處理農業非點源污染，然而此等傳統 BMPs 設施需較大的用地及較繁雜的操作與維護管理，因此於規劃設計時經常面臨用地取得不易等問題，致使無法有效全面落實非點源污染的管制，因此近年來水庫管理單位已逐漸朝向於使用設施佔地小且操作維護簡便之分散型 LID/BMPs 來取代，其中植生滯留槽 (bioretention) 因具有彈性設計且結合景觀營造的特點，再加上對於提高逕流入滲及水質過濾淨化亦具有一定之功效，因此在國外已被普遍使用，植生滯留槽大都採小面積、小區塊但不只一處的分散形式設計，並且可配合整體造景的需求，設計成景觀花園，故又可以稱之為雨花園 (rain garden)。植生滯留槽主要為引導地表逕流雨水並入滲至槽體設施內部，藉此達到降低暴雨逕流及減緩洪峰到達時間，並且藉由槽體內部人工鋪設之天然材料，將暴雨逕流雨水過濾淨化，可去除之污染源如重金屬、磷、總凱氏氮、氨氮和硝酸鹽等，故植生滯留槽屬於入滲型 LID/BMPs 的其中一項設施。於國外已有部份成功的案例將植生滯留槽使用於削減農業非點源污染，然農業非點源污染的削減與其農作物生長特性、施肥方式與種類、地形與地質及降雨型態有關聯，為了解植生滯留槽應用於國內水庫集水區農業非點源污染的削減成效與限制，因此本文進行一系列的現地實驗，以做為爾後相關單位全面推廣時之參考依據。

植生滯留槽的污染去除性能

植生滯留槽是一種結合物理性、化學性與生物性過濾的暴雨逕流收集與污染削減之 LID/BMPs 設施，屬於小面積、小區塊形式設計之小型貯留入滲設施，常見於停車場、道路分隔島等都市非點源污染及農業非點源污染的削減，主要功效為衰減或處理暴雨逕流量，兼具美化環境之功效。植生滯留槽設施的基本組成包括植物、土壤介質層、礫石過濾層及出流暗管 (詳圖 1)。土壤介質層可以保水及保肥使植栽生長健康，介質層與礫石層亦有淨水功效，植生滯留槽設置之機動性極高，其因地制宜性佳可依照集水區面積大小或污染濃度進行設計設施的大小，設施內部材料均為天然材料，且設施不需要頻繁或昂貴的維護，因此國外已被普遍使用於暴雨逕流非點源污染的削減。

Geronimo *et al.* [1] 利用植生滯留槽降低都市的非點源污染及洪峰流量，系統內部結構最上層鋪上木片屑、中層為砂石，其次再鋪上一層木片屑，最下層則為礫石。結果顯示該植生滯留槽可減少總懸浮污染物 (TSS) 90%、水溶性重金屬 (Zn、Cu) 70%、有機物 (organics) 與營

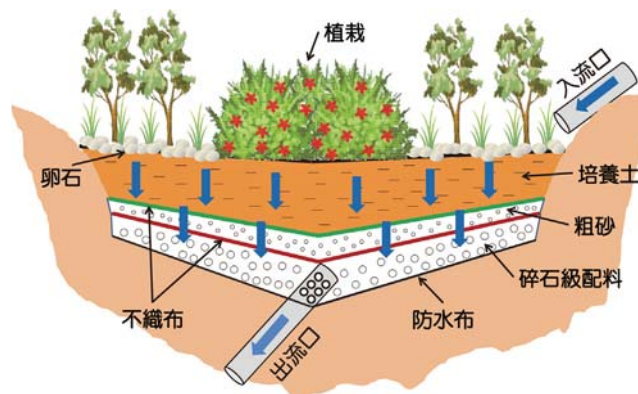


圖 1 植生滯留槽內部配置示意圖

養物 (nutrients) 則降低 35% ~ 60%，並發現當逕流量減少 20%，則 TSS 最少可減少 80%；而當降雨深度小於 5 mm，可有效降低流量 73%；降雨深度 5 mm ~ 10 mm 之間，可有效降低流量 52%；降雨深度大於 10 mm，可有效降低流量 22%。Lucas *et al.* [2] 於 Wachusett 水庫集水區進行雨水管理計畫研究，於試驗場中設置 150 m² 之植生滯留槽，並分析對於水質改善之效能，其結果顯示能降低總懸浮污染物 (TSS) 526.2 kg/yr、總磷 (TP) 1.95 kg/yr、總氮 (TN) 9.7 kg/yr、糞生大腸桿菌群 (Fecal Coliform) 4.3 Billion colonies/yr，占子流域污染物之削減率各別為 1.07%、1.01%、1.07%、0.89%。Lucke *et al.* [3] 對道路旁之植生滯留槽進行研究 (詳圖 2)，該植生滯留槽主要負責處理約 0.6 公頃之道路雨水逕流，設施底層用防水布阻隔地下水，內部材料由下而上依序為 20 cm 的碎石層、10 cm 的砂濾層、90 cm 的土壤介質層，並以無污染、原道路污水、雙倍道路污水、五倍道路污水，四種不同濃度進行實驗，分析設施對水質之效能，其結果顯示植生滯留槽過於設施對於原污水 TSS 能削減 66.7%、TP 能削減 96.6%，而 TN 削減率為 65.4%。Yang *et al.* [4] 將傳統雨花園改良成複合式雨花園 (圖 3)，傳統雨花園追求快速排水，導致淨化效果不佳，而複合式雨花園分為內飽和層與外非飽和層，能有效減少洪峰值 (84 ~ 88%) 及流量 (54 ~ 59%)，且將水滯留於飽和層中的時間拉長能有效提高氮的去除率，磷酸鹽在都市模擬逕流中，能達到 95% 的削減率，而氮、磷在都市與農業模擬逕流中，分別可達到 92%、99% 的削減率，複合式雨花園對農藥的削減也相當良好。

實驗場址說明

翡翠水庫內水量水質一直是備受關注的議題，根據研究指出 [5-8]，翡翠水庫集水區內之污染貢獻可分為點源污



圖 2 實驗場址示意圖^[3]



圖 3 複合式雨花園示意圖^[4]

染與非點源污染，點源污染主要來自生活污水及遊憩污水，而非點源污染若扣除森林背景污染，其最主要來自於農業行為，雖然翡翠水庫水質近年來均維持普養至貧養狀態，然而對於三條主要入庫溪流（北勢溪、金瓜寮溪及鱸魚堀溪），在總磷項目中仍未完全符合甲類水體標準，顯示其水質仍有改善空間，而經調查發現，入庫溪流之磷主要來源為農業施肥，而大部分農業行為又以茶園為最大宗，茶園施肥因茶農而有所異，施肥量往往超出茶樹所需，未被茶樹吸收之氮、磷等營養鹽將儲存於土壤中，常在暴雨過後對於集水區產生非點源污染，並造成入庫溪流之負荷，進而影響翡翠水庫水質。駱尚廉等人^[5]於翡翠水庫集水區不同作物，進行暴雨採樣，相較於其他作物，茶園 TP 貢獻量最多，其 TP 濃度為 1.90 mg/L、TN 濃度為 2.85 mg/L、SS 濃度為 116.2 mg/L。陳彥甫^[6]於翡翠水庫集水區之不同土地利用進行暴雨採樣，其中茶園 SS 濃度為 27.8 mg/L、TP 濃度為 0.26 mg/L、NH₃-N 濃度為 0.19 mg/L，濃度相較於其他採樣點高出許多，由此可知，茶園施肥為造成入庫溪流總磷濃度偏高的主要之一，實有必要進行非點源污染的削減，以確保翡翠水庫的水質。

本研究利用航照圖資料，圈選出靠近鱸魚堀溪與北勢河流域之茶園，取得數值高程模型，分析茶園地形特徵，包含坡度、坡向及地表逕流等，於地形等高線圖上繪製逕流向及坡降，爾後配合現勘來選擇合適之研究場址，最終選出二處合宜場址做為本文之研究示範場址。鱸魚堀溪流流域的研究場址（場址 A）為集水區面積達 0.78 公頃的茶園（詳圖 4），平均坡度為 11.9%，該茶園經現勘後，得知茶園內逕流水均匯流於茶園間的排水溝渠最終匯流至下游匯流點並直接流入鱸魚堀溪內；北勢河流域的研究場址（場址 B）之茶園面積為 1.06 公頃，平均坡度為 19.6%，茶園經現勘後，得知茶園間亦有天然溝渠，收集茶園內之逕流水，匯流至茶園下方之排水溝渠（詳圖 5）並直接排入北勢溪支流中。

俟選定研究場址並獲地主簽署合作同意書之後，便依下列步驟設置植生滯留槽：(1) 基地位置之土方挖除（1 m × 1 m × 1 m）、(2) 清除土方中大型石塊、(3) 將基地底部壓實、(4) 置入塑膠槽體（1 m × 1 m × 1 m）、(5) 設置出流管及溢流管、(6) 鋪設 15 cm 厚之碎石層、(7) 鋪設紗網防止粗砂掉落至碎石層而阻塞、(8) 鋪設 10 cm 厚的粗砂層、(9) 鋪設不織布提供微生物生長及隔絕土壤介質層掉落至粗砂層而阻塞、(10) 鋪設 60 ~ 70 cm 厚之土壤介質層提供植栽與微生物生長養分、(11) 種植植栽、(12) 鋪設卵礫石防止土壤介質層遭受沖蝕、(13) 架設入流管，設置情形如圖 6。



圖 4 鱸魚堀溪流流域的研究場址（場址 A）



圖 5 北勢河流域的研究場址（場址 B）



圖 6 植生滯留槽施工步驟

水質採樣檢測結果

為了解茶園非點源污染實際之污染貢獻，以及植生滯留槽處理前後之水質變化狀況，因此本研究進行一系列之暴雨採樣，主要採集地表逕流水進入植生滯留槽前之水樣（以下簡稱入流水）與植生滯留槽過濾後之水樣（以下簡稱出流水），並依據行政院環境保護署環境檢驗所公告之水質檢測方法^[10-12]檢測水質濃度，以分析植生滯留槽污染削減效益。

二處研究場址完工之後，隨即開始進行暴雨逕流採樣，由於污染物濃度會隨著降雨強度及延時的不同而有所差異，基本上以採得暴雨初期沖刷時之水樣為有效水樣，然暴雨初期沖刷的「初期」於許多文獻中並未明確定義其時間，根據 Geiger^[13]及 Kim *et al.*^[14]的研究提出，常見的說法為暴雨前半吋（13 mm）的累積逕流量，或一場降雨的前 15 至 30 分鐘的降雨，可以描述為暴雨初期沖刷挾帶的污染量於初期沖刷之尖峰濃度，因此本研究之採樣以累積降雨量達 15 ± 5 mm，且降雨前 72 小時內降雨量不得超過 3 mm，降雨延時需大於集流時間，並考量降雨強度及降雨延時，以判別該場降雨是否具代表性；再者，所採集之水樣以事件平均濃度法（event mean concentration, EMC）來定義該採樣事件之污染濃度，其計算如式（1）所示，為總入流污染量除以逕流量，得到單場降雨之非點源污染濃度。

$$EMC = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i C_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad (1)$$

其中， Q_i = 採樣時之逕流量

C_i = 污染濃度

由於二處場址的完工時間不同，故採樣進行之時機與場次亦不盡相同，場址 A 較早完工，因此共採集 12 場有效降雨，而場址 B 則為 9 場，採樣所得之水樣分別於實驗室進行 SS、NH₃-N 及 TP 等水質項目的檢測，檢測結果與討論說明如下：

懸浮固體（SS）檢測結果

表 1 為二處場址之水中懸浮固體檢測結果，由數據可以得知二處場址於第一場次採樣時之出流水濃度都偏高，其原因在於植生滯留槽設置完成初期，系統內有部份不穩定的細顆粒及出流管中有殘留土被帶出所致，待系統操作一段時間之後，便開始發揮對於 SS 的去除功效。檢測數據顯示二處場址之污染削減率分佈較為零散，扣除第一場次不穩定的採樣數據之後，場址 A 的污染削減率為 40.9% ~ 90.0% 而場址 B 則為 51.5% ~ 93.3%，但若以出流水濃度而言，其檢測數據則較為穩定，圖 7 為場址 A 的 SS 濃度盒鬚圖，由圖中可知入流水的濃度盒鬚圖較出流水為長，顯示入流水濃度差異性大，但出流水濃度則差異不大，今若以削減率來判斷其污染去除效能，一旦入流水濃度高則污染削減率高，當入流水濃度低，則計算所得之污染削減率便會偏低，進而誤判設施之去除成效不彰，因此採用出流水濃度值來衡量植生滯留槽之污染削減效率應較採用削減率合理。

表 1 二處植生滯留槽場址之 SS 檢測結果

採樣場次	場址 A				場址 B			
	採樣時降雨量 (mm)	入流水濃度 (mg/L)	出流水濃度 (mg/L)	污染削減率 (%)	採樣時降雨量 (mm)	入流水濃度 (mg/L)	出流水濃度 (mg/L)	污染削減率 (%)
1	16	28.7	13.6	52.6	20	23.7	17.6	25.7
2	21	6.2	2.0	67.7	16	6.9	3.1	55.1
3	19	4.7	1.1	76.6	12	10.8	4.2	61.1
4	15	11.0	2.8	74.6	20	17.8	2.4	86.5
5	20	4.4	2.4	45.5	22	6.6	3.2	51.5
6	23	33.3	3.6	89.2	19	6.4	2.1	67.2
7	26	4.2	1.3	69.1	22	97.2	6.5	93.3
8	25	2.2	1.3	40.9	24	224.5	6.2	97.2
9	24	2.5	1.4	44.0	18	30.2	2.1	93.1
10	16	13.5	2.6	80.7				
11	20	12.0	1.2	90.0				
12	22	21.0	2.3	89.1				

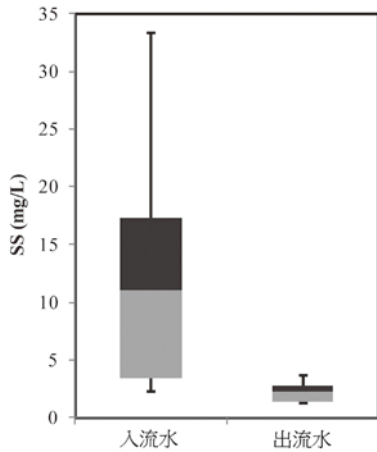


圖 7 入流水與出流水之 SS 濃度盒鬚圖 (場址 A)

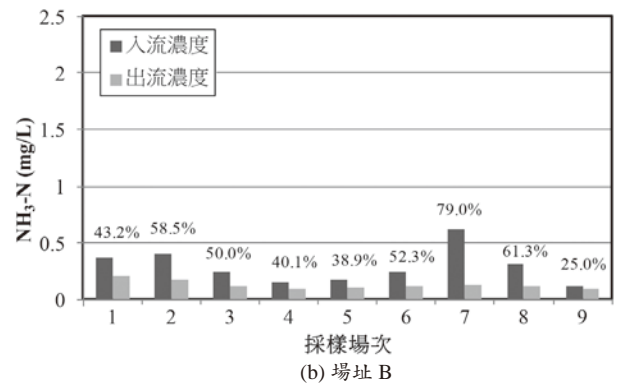
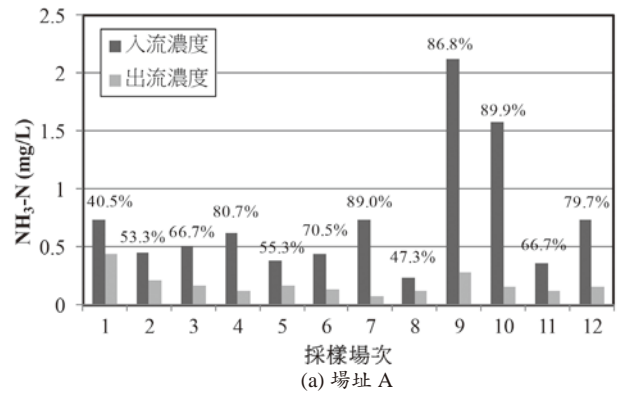
再者，不論入流或出流水濃度，場址 A 均普遍低於場址 B，其原因在於一來場址 B 的坡度較陡，因此水流流速較快，二來該場址種植的茶樹較為年輕（種植尚未滿一年），對於表層土壤的保護能力較差，因此降雨時將產生較明顯的表土沖蝕；另外，雖然採樣時之降雨量差異不大，但部份場次之出流水 SS 濃度卻有飆高的現象，例如 B 場址的第 7 場次與第 8 場次，其降雨型態係屬於午後雷陣雨，自開始降雨至符合採樣條件僅約 1 小時，而其它場次則均需數小時降雨方達到採樣標準，由此可知降雨強度亦是影響 SS 濃度的關鍵因子之一。

氨氮 (NH₃-N) 檢測結果

由水質檢測結果可以得知，場址 A 之入流水 NH₃-N 濃度介於 0.23 ~ 2.12 mg/L，平均濃度為 0.74 mg/L；出流水濃度介於 0.08 ~ 0.44 mg/L，平均濃度為 0.18 mg/L，其污染削減率介於 40.5 ~ 89.9%，平均值為 68.9%，每一場次之入、出流濃度及削減率詳圖 8(a)。場址 B 之入流

水 NH₃-N 濃度介於 0.12 ~ 0.62 mg/L，平均濃度為 0.29 mg/L；出流水濃度介於 0.09 ~ 0.21 mg/L，平均濃度為 0.13 mg/L，其污染削減率介於 25.0 ~ 79.0%，平均值為 49.8%，每一場次之入、出流濃度及削減率詳圖 8(b)。

由圖中數據可以得知二處場址對於 NH₃-N 之出流濃度控制頗佳，顯示植生滯留槽對於 NH₃-N 的削減有其穩定的成效。圖 8(a) 顯示場址 A 於第 9 場次及第 10 場次的水樣中，NH₃-N 濃度有明顯攀升的現象，經現地勘查並詢問地主後得知於該二場次降雨期間，適逢場址 A 之茶樹施肥期，施灑的肥料尚未被茶樹吸收，便隨著暴雨逕流而流至本設施，因此所採集之水樣中含有較高量的 NH₃-N。再者，場址 B 之入流水 NH₃-N 濃度較場址 A 低甚多，其原因在於二處場址之施肥量及施肥方式不同之故，場址 A 之茶樹樹齡因正值盛產採收期需較大量的葉肥，為有效提高產量，故農民以撒施的方式施加大量之高氮量肥料，而場址 B 則大都屬於剛栽植之低齡茶樹，為使茶樹可以穩定成長，因此施加的肥料屬於營養成份較平均之成長肥，並為使茶樹可以較快速有效吸收，因此茶農採用部份以固態肥灑施，部份以液肥噴施的方式施肥。二處場址所使用之肥料成分詳表 2，由表中可以得知場址 A 所使用的肥料成



註：柱狀圖上方數字表示污染削減率

圖 8 二處場址之 NH₃-N 入、出流濃度及污染削減率關係圖

份中含較高量的氮肥，並且採用固態肥直接灑施在土壤表面，因此一遇到降雨時，肥料便容易遭逕流雨水冲刷而溶於水中，致使採樣水體中之 $\text{NH}_3\text{-N}$ 高出甚多，且入流濃度高者，其污染削減率亦愈高，但污染削減率愈高並不同於出流濃度控制愈佳，以場址 A 為例，第 8 場次的污染削減率 (47.3%) 表現較第 9 場次 (86.8%) 差，但第 8 場次的出流濃度 (0.12 mg/L) 卻較第 9 場次 (0.28 mg/L) 低甚多，顯示其出流水對環境的影響較低。

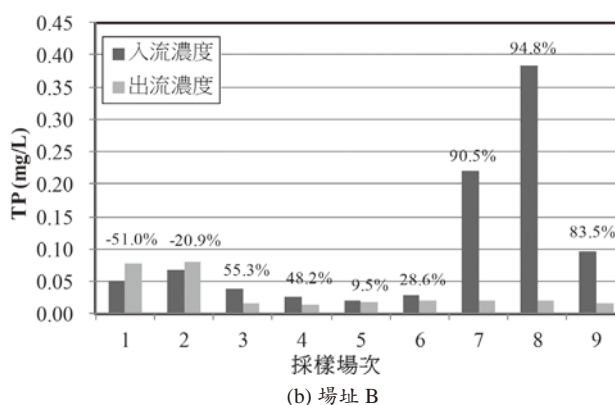
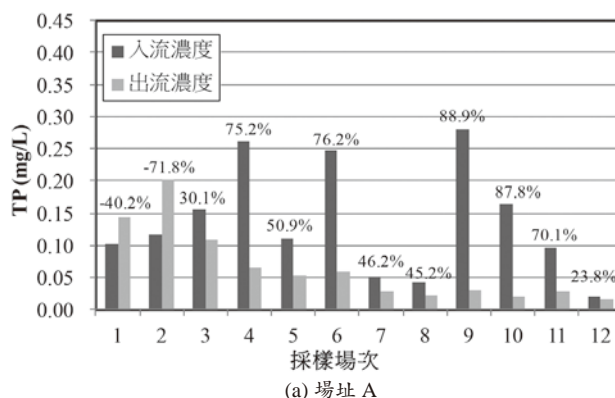
表 2 二處場址所施加肥料的成份表

場址	肥料成份
A	全氮 16%、全氧化鉀 1%、有機質 80%、其它 3%
B	全氮 5.0%、全氧化鉀 2.5%、全磷酐 2.5%、有機質 88%、其它 2%

總磷 (TP) 檢測結果

圖 9 為二處場址之 TP 入、出流濃度及污染削減率關係圖，由圖中可以得知在植生滯留槽設置完成初期所採得之水樣，其出流水 TP 濃度均高於入流水，因此污染削減率呈現負值，其原因為系統內部土壤介質層的貢獻，呂書豪 [15] 指出，植生滯留槽內部因鋪設土壤介質層，於實驗初期介質層中的泥炭土可能溶出磷酸鹽 (PO_4^{3-})，致使出流水之污染濃度高於入流水，然經過一段時間入流水的淋洗之後，土壤介質層便不再有 PO_4^{3-} 的溶出，因此系統污染削減率便可以呈現正值。經水質檢測結果得知，TP 污染削減率由負值轉換成正值所需的時間與當地的降雨條件有關，比較二場址於設置完成之後所遭遇的降雨條件，場址 B 於設置完成後一個月內接連遭遇二次颱風並受降雨的大量淋洗，因此一個月後便已開始發揮正值的 TP 污染削減，反觀場址 A 於設置完成後的降雨情形較少，因此等待約二個月後，系統出流水濃度才開始低於入流水。

若扣除場址 A 前三場 TP 削減成效較不穩定的採樣數據，可以得知其入流水 TP 濃度介於 0.021 ~ 0.280 mg/L，平均濃度為 0.142 mg/L；出流水濃度介於 0.016 ~ 0.065 mg/L，平均濃度為 0.036 mg/L，其污染削減率介於 23.8 ~ 88.9%，平均值為 62.7%；場址 B 扣除前二場次數數據之後，其入流水濃度介於 0.021 ~ 0.383 mg/L，平均濃度為 0.116 mg/L；出流水濃度介於 0.014 ~ 0.021 mg/L，平均濃度為 0.018 mg/L，其污染削減率介於 9.5 ~ 94.8%，平均值為 58.6%。另由圖 9(b) 之結果可以發現，採樣場次 7 與 8 的入流水濃度明顯較其它場次高，其原因除了可能受施肥影響之外，最主要原因為該二場次降雨強度大，茶園表土



註：柱狀圖上方數字表示污染削減率

圖 9 二處場址之 TP 入、出流濃度及污染削減率關係圖

如前所述遭沖蝕造成 SS 濃度偏高，而土壤顆粒表面之吸附磷亦同時被帶出，致使 TP 濃度上升，因此農業暴雨逕流水中之 TP 濃度與 SS 有其關聯性。

結論與建議

1. 植生滯留槽對於農業非點源污染的削減具有一定的功效，然於設施設置完成後，須待一段時間俟系統內部穩定之後，方可發揮其功效，至於等待時間的長短端視現地之降雨條件，本研究之場址 A 約需 2 個月，而場址 B 則約需 1 個月。
2. 農業非點源污染中之 SS 貢獻量與集水區之坡度、水土保持條件及降雨型態有明顯的影響，愈陡削的農地，若裸露地面積愈多，一旦遇到強降雨時，便可能有較高的 SS 貢獻，且較高的 SS 亦可能伴隨產生較高的 TP 貢獻量。
3. $\text{NH}_3\text{-N}$ 的貢獻量與施肥種類、時機、施肥量及施肥方式有關，對於諸如茶樹等以葉片為主要收成的農作物，農民往往使用高含氮量的肥料，若於施肥期間遇到降雨，便可能產生較高 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度的逕流雨水。再者，採用固態肥灑施的方式較液肥噴施的方式可能產生較多的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 貢獻。

- 植生滯留槽於設置完成後的初期，由於土壤介質層之泥炭土所含的 PO_4^{3-} 會被入流水淋洗而溶出，致使出流水的 TP 濃度高於入流水，俟一段時間的淋洗，泥炭土不再有 PO_4^{3-} 的溶出之後，TP 的污染削減率始呈現正值，系統便可以發揮穩定的污染削減。
- 由於非點源污染所產生的污染物濃度變化大，若採用污染削減率來做為 LID/BMP 設施削減效能評估的唯一指標，恐有誤判之虞，故建議應以出流水的濃度做為設施的表現良窳判別及管制條件。
- 植生滯留槽可以有效並穩定的去除因施肥而產生的營養鹽，且具有佔地小及維護容易等優點，同時可以配合現地環境進行植栽美化，因此普遍為農民所接受，若可以全面推廣於水庫集水區之農地，將有利於減少農業非點源污染對水庫及河川水質的威脅。

誌謝

本研究承蒙台北水源特定區管理局提供計畫經費，以及場址 A 之地主鄭先生與場址 B 之地主張先生無償提供本文研究場地進行實驗，並且於實驗進行期間提供之一切協助，方便本研究得以順利完成，在此一併致上謝忱。

符號說明

EMC：事件平均濃度

Q_i ：採樣時之逕流量

C_i ：污染濃度

參考文獻

- Geronimo, F.K.F., Maniquiz-Redillas, M.C. and Kim, L.H., "Treatment of parking lot runoff by a tree box filter," *Desalination and Water Treatment*, Vol. 51, No. 19-21, pp. 4044-4049 (2013).
- Lucas, S.H., Chris, S. and David, W., "Stormwater management plan

- for the West Boylston Brook subbasin," WPI Report, MA., U.S.A., pp. 1-184 (2011).
- Lucke, T. and Nichols, P.W.B., "The pollution removal and stormwater reduction performance of street-side bioretention basins after ten years in operation," *Science of the Total Environment*, Vol. 536, pp. 784-792 (2015).
- Yang, H., Dick, W.A., McCoy, E.L., Phelan, P.L. and Grewal, P.S., "Field evaluation of a new biphasic rain garden for stormwater flow management and pollutant removal," *Ecological Engineering*, Vol. 54, pp. 22-31 (2013).
- 駱尚廉、余嘯雷，「環境敏感地帶調查－水源水質保護區不同土地使用型態對水體水質之影響」，行政院環境保護署委託，國立臺灣大學環工所研究報告，臺北（1994）。
- 林鎮洋，「翡翠水庫集水區非點源污染削減措施整體規劃之研究」，經濟部水利署臺北水源特定區管理局委託，國立臺北科技大學水環境研究中心研究報告，臺北（2005）。
- 何嘉浚、林鎮洋，「魚堀溪茶園非點源污染削減現地處理調查規劃」，經濟部水利署臺北水源特定區管理局委託，國立臺北科技大學水環境研究中心研究報告，臺北（2014）。
- 何嘉浚、林鎮洋，「北勢溪茶園非點源污染削減（LID）現地處理調查規劃」，經濟部水利署臺北水源特定區管理局委託，國立臺北科技大學水環境研究中心研究報告，臺北（2015）。
- 陳彥甫，「茶園及林地非點源單位污染負荷之研究」，國立臺北科技大學土木與防災研究所碩士論文，臺北（2003）。
- 環保署環境檢驗所，「水中總溶解固體及懸浮固體檢測方法－103°C ~ 105°C 乾燥」，(102) 環署檢字第 1020004998 號公告，NIEA W210.56A (2013)。
- 環保署環境檢驗所，「水中磷檢測方法－分光光度計／維生素丙法」，(99) 環署檢字第 0990084224 號公告，NIEA W427.52B (2010)。
- 環保署環境檢驗所，「水中氨氮檢測方法－靛酚比色法」，(94) 環署檢字第 0940035925A 號公告，NIEA W448.51B (2005)。
- Geiger, W.F., "Flushing effects in combined sewer systems," *Proceedings of the 4th International Conference Urban Drainage*, Lausanne, Switzerland. pp. 40-46 (1987).
- Kim, L.H., Ko, S.O., Jeong, S. and Yoon, J., "Characteristics of washed-off pollutants and dynamic EMCs in parking lots and bridges during a storm," *Science of the Total Environment*, Vol. 376, No. 1-3, pp. 178-184 (2007).
- 呂書豪，「提升樹箱過濾設施水質淨化效能之研究」，國立臺北科技大學土木與防災研究所碩士論文，臺北（2015）。



中國土木水利工程學會
CIVIL AND HYDRAULIC ENGINEERING

電話：(02) 2392-6325

傳真：(02) 2396-4260

e-mail: service@ciche.org.tw

一個凝聚產官學土木專業知識的團體
一個土木人務必加入的專業學術團體
一個國際土木組織最認同的代表團體
一個最具歷史且正轉型蛻變中的團體



歡迎加入學會

<http://www.ciche.org.tw>
請上網下載入會申請表