



# 應用雨花園削減道路地表逕流 非點源污染之建議與推動

何嘉浚／國立臺灣科技大學 營建工程系 副教授

王韻瑾／交通部公路總局養路組 副組長

暴雨沖刷道路、停車場及廣場等地面而形成道路地表逕流，且逕流雨水中往往夾雜著因車輛的運行而累積於地面之懸浮固體、有機物質、重金屬、營養鹽及油脂等污染物質並進入承受水體中造成污染，稱之為道路非點源污染。於國外常利用低衝擊開發設施（LID）來控制並削減道路非點源污染，其中植生滯留槽為最被廣泛應用的設施之一，且因其同時具有雨水淨化及景觀營造的功能，故又稱之為雨花園。為了解雨花園的污染去除成效，本研究選定交通部公路總局第一區養護工程處於新竹段台3線 86.2k 之雨花園為案例，進行四場次的雨水水質採樣，經調查結果顯示，雨花園對於重金屬中的鉛（Pb）去除成效最高，平均削減率約為 51.9%、總鉻（Cr）約為 31.3%、鎘（Cd）則約為 22.4%。入流水中之營養鹽類則以總磷（TP）及磷酸鹽（ $PO_4$ ）較高，氨氮（ $NH_3-N$ ）的濃度較低，經雨花園淨化過後之平均削減率，分別為總磷 56.1%、磷酸鹽 60.0% 及氨氮 40.8%；另外，雨花園對於水中懸浮固體（SS）去除亦有良好的成效，其平均削減率可達 73.4%。經由本研究之水質採樣調查結果顯示，雨花園可以有效去除道路非點源污染，尤其是懸浮固體及營養鹽。

## 前言

道路由不透水鋪面建造而成，道路的所在位置、土地利用、養護作業、交通量等，都會產生許多污染物，於晴天未降雨時，污染物會在道路累積，直到暴雨來臨時，降雨會沖刷不透水表面造成逕流，逕流會帶出大量之污染物，並排入雨水下水道，進而進入河川，增加水體污染負荷。Kayhanian *et al.*,<sup>[1]</sup> 表示非點源污染是透過地表逕流，並且挾帶污染物流入水體中，道路在晴天時，落塵、垃圾、廢棄物及其它污染物會累積在道路、排水溝等不透水面，當降雨來臨時，因為雨水沖刷路面而產生逕流，降雨初期所產生之逕流，通常會產生濃度較高或污染量較高之逕流，即所謂「初期沖刷」（First Flush）現象。Kim *et al.*,<sup>[2]</sup> 表示道路為非點源污染的重要貢獻之一，因為道路表面之不透水性，會因大自然的沉降、車輛活動等污染

來源累積於地表面，並隨著降雨將污染物質直接沖刷進入承受水體中。Drapper *et al.*,<sup>[3]</sup> 表示都市非點源污染物與雨水常見的污染物質及主要來源包括沉澱物、營養鹽、需氧物質、重金屬、有毒物質及細菌。然而，道路逕流污染會因周圍土地利用、日常養護作業、車輛類型及交通量的不同而產生不同程度的污染影響。

為有效控制非點源污染，最佳的方法是採取源頭控制之策略，控制非點源污染的方法以及措施，即為「最佳管理作業」（Best Management Practices, BMPs）；再者，為降低極端降雨所引致的災害，並符合生態永續建構技術的發展，美國馬里蘭州喬治王子縣於 90 年代提出「低衝擊開發（Low Impact Development, LID）」的觀念（Prince George's County<sup>[4]</sup>），並將其運用於暴雨逕流管理，LID 主要策略就是在地區開發的同時，採用近自然工法的技術，透過入滲、停留與蒸發的方法避免因開

發而產生的暴雨逕流及污染衝擊，進而達到低碳與生態營造的目的，意即以生態系統為根基的暴雨水管理技術（內政部營建署<sup>[5]</sup>）。若能具備暴雨逕流管理並同時達到污染削減目的之設施，一般稱之為 LID/BMPs，而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，將入滲雨水過濾淨化，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 LID/BMPs 的其中一項設施，且因其同時具有景觀美化的功能，故又可以稱之為雨花園（Rain Garden）。

有鑑於此，交通部公路總局第一區養護工程處新竹工務段於民國 104 年 7 月在台 3 線 86.2k 隙地內試辦二座「雨花園」，藉以減輕降雨沖刷地表所產生的逕流非點源污染對環境水體的衝擊，以利於控制降雨逕流並削減污染貢獻量。該二座雨花園完工操作至今已逾三年，其對於污染的削減成效及目前的表現行為，實有賴進行現地水質採樣檢測方可得知，因此本研究特進行現地之暴雨逕流採樣水質檢測，據此評估雨花園對於道路非點源污染削減之可行性及其效益。

## 雨花園對於道路地表逕流之污染削減成效回顧

由於雨花園具有暴雨逕流控制與景觀營造的雙重優點，因此已被廣泛的使用，最主要用於道路附屬設施（如中央分隔島、停車場、人行道及道路旁空地）及建築社區的庭院、公園、綠地及建築物間的畸零地等。雨花園所需的空間及形狀很具有彈性，而且槽體內部的填料可依需求來調整，因此使用上相當方便，由於設施兼具維修方便及可提供民眾休憩等優點，在國外非常受到歡迎並已完全結合且落實於社區整體開發。

植生滯留槽雖然已被廣泛的使用，但仍有一些使用上的限制與要求，於規劃設計時應審慎考量，包括（City of Edmonton<sup>[6]</sup>）：

1. 植生滯留槽不同於滯洪池，無法處理大面積的排水。
2. 設施可能被逕流水中的懸浮顆粒阻塞而降低其入滲效能，故必要時應設置預處理系統。
3. 一般而言，設施所需面積約為總集水面積的 5% ~ 20%。
4. 設施不宜設置於太陡削的邊坡，以免因邊坡沖蝕而

產生災害，一般而言，坡度不宜大於 20%。

5. 若設置於停車場內，則可能會減少停車場之有效停車數量。
6. 視設施所在地區而異，植生滯留槽的設置成本有可能會高於傳統之暴雨逕流處理設施。

雨花園為結合滲透和生物滯留之過濾設施，通常被利用作為暴雨管理，可降低洪峰流量高達 96%（Trowsdale and Simcock<sup>[7]</sup>），且其佔地面積較小，僅占流域之 5 ~ 20%，適用於空間有限之地區。雨花園同時兼顧了綠化景觀美學，其大多設置於公路、道路、橋梁、停車場，並且可以有效地降低水質污染，例如：懸浮顆粒、有機物和重金屬，甚至可以降低 60% 之營養物質（USEPA<sup>[8]</sup>）。

Luell *et al.*<sup>[9]</sup> 為處理橋墩暴雨逕流，於北卡羅萊納州 540 號公路橋墩下，設置兩處分別處理不同的降雨強度之雨花園（詳圖 1），第一處為 31 m（長）× 6 m（寬）之大槽，可處理之降雨量為 25 mm，第二處為 22 m（長）× 4 m（寬）之小槽，可處理之降雨量為 8 mm，設施配置詳圖 2；雨花園之土壤介質層厚度 0.51 m，材料為 2.9% 的砂礫，86.8% 砂，7.8% 的粉土和 2.5% 的粘土混合而成。研究時間為期一年，大槽共蒐集二十四筆資料，小槽則有二十九筆，其入出流之平均濃度及削減率如表 1 所示，經分析二槽的數據得知大槽淨化水體的效益優於小槽。

Templeton *et al.*<sup>[10]</sup> 於南卡羅萊納州高速公路，設置雨花園之評估與現地試驗，由於南卡羅萊納州交通局規定高速公路之逕流水需先通過處理後才可排放至雨水下水道系統，故該局希望藉由設置雨花園淨化高速公路之暴雨逕流水。槽體規模為長 7.6 m、寬 6 m、深 1.2 m，內部設計由上至下為 5 cm 草皮、30 cm 土壤、

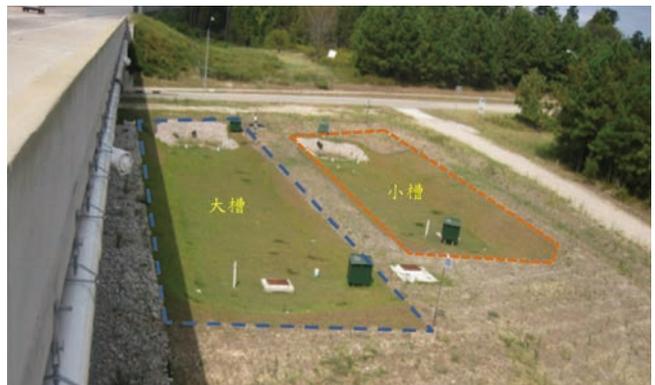


圖 1 北卡羅萊納州 540 號公路橋墩下之雨花園完工圖（Luell *et al.*<sup>[9]</sup>）

表 1 二處雨花園之污染削減成效 (Luell *et al.* [9])

污染物	入流水濃度 (mg/L)	大槽		小槽	
		出流水濃度 (mg/L)	污染削減率 (%)	出流水濃度 (mg/L)	污染削減率 (%)
總凱氏氮 (TKN)	0.54	0.32	41	0.42	22
硝酸鹽氮 (NO <sub>3</sub> )	0.34	0.08	76	0.14	58
總氮 (TN)	0.86	0.40	53	0.54	37
氨氮 (NH <sub>4</sub> -N)	0.08	0.04	56	0.04	47
總磷 (TP)	0.11	0.11	7	0.13	-10
總懸浮固體 (TSS)	49.0	20.0	58	26.0	47

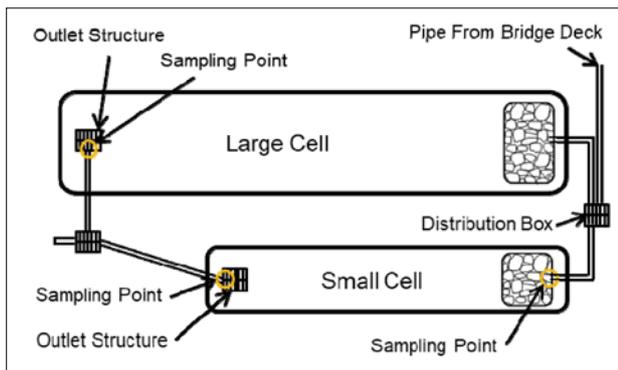


圖 2 北卡羅萊納州 540 號公路橋墩下之雨花園配置圖 (Luell *et al.* [9])

30 cm 碎木屑及 60 cm 礫石。經設置一年後進行水質採樣分析，得知該設施對於正磷酸鹽 (PO<sub>4</sub>) 的平均削減率為 4.8%、硝酸鹽氮 (NO<sub>3</sub>) 為 72.7%、鋅 (Zn) 為 95.0%、銅 (Cu) 為 44.7%。

Brown *et al.* [11] 於北卡羅萊納州納什維爾，建置兩個不同深度的雨花園，分別為 0.6 m 深及 0.9 m 深，兩組雨花園的土壤介質層以砂質壤土為主，為期一年的實驗結果顯示對總懸浮固體 (TSS) 而言，0.9 m 深的槽體污染去除成效為 82%，較 0.6 m 深的槽體 (71%) 表現為佳；至於對總氮 (TN) 的削減效果兩個槽體皆不理想，約僅為 19~21%，而對氨氮 (NH<sub>3</sub>-N) 的削減率均可達 77~78%，但雨花園深度與 NH<sub>3</sub>-N 的削減效果無關；再者，雨花園對於總磷 (TP) 的削減普遍成效不佳，但若將雨花園槽體深度由 0.6 m 提高至 0.9 m 則對 TP 的削減能力可以由 10% 增加至 44%。

由前述的國外研究可以得知雨花園對於暴雨逕流之道路非點源污染，具有良好的污染去除成效，何嘉浚等人 [12] 亦曾利用雨花園來削減坪林茶園農業非點源污染，實驗結果得知對於懸浮固體 (SS) 有 70~76% 的削減率，NH<sub>3</sub>-N 約有 50~70% 的削減率，TP 則約為 59~63% 的削減率，然對於國內採用雨花園來削減道路非點源污染的效能研究仍付之闕如。

### 研究場址說明

交通部公路總局第一工程處為落實削減都會區公路之非點源污染負荷量，因此選擇省道台 3 線 86.2k 路權範圍內隙地設置 LID/BMPs 設施 — 雨花園二座。首先依據環保署於 2013 年 9 月 25 日頒布「降雨逕流非點源污染最佳管理技術 (BMPs) 手冊」[13]，規劃設計雨花園尺寸、規格、植栽種類等，依據該手冊之建議，本道路場址採用入滲溝與雨花園兩種結構型式均為可行，且其對懸浮固體及總磷之削減率均高達 85%，而硝酸鹽之削減率均為 30%，均有良好的效益；惟因考量施作之可能性、施作空間、污染物削減率及成本效益等，故本案採用雨花園，其設計剖面詳圖 3。

本道路工程開發長度為 200 公尺，路寬為 20 公尺，依據「降雨逕流非點源污染最佳管理技術 (BMPs) 指引 (2013)」[14] 規定至少需處理暴雨初期 15 mm 之降雨量，故計算本工程之暴雨逕流控制量為 60 m<sup>3</sup>；今設計 60 m (長) × 2.5 m (寬) × 1.3 m (深) 之雨花園，系統平均孔隙率為 0.4，平均入滲率為 10<sup>-5</sup> m/s，頂層設計儲水深為 0.15 cm，經計算本工程設計之雨花園可控制暴雨逕流量約為 91.2 m<sup>3</sup>，符合技術指引規範之逕流控制量 (王韻瑾 [15])。

俟選定設施場址並完成雨花園配置設計之後，便開始依下列步驟施工：(1) 基地位置之土方挖除並清除土方中大型石塊、(2) 將基地底部壓實並設置 10 cm 之 PVC 透水管、(3) 底部回填 35 cm 厚之礫石層、(4) 依序回填 10 cm 厚之清石層及 15 cm 厚之粗砂層、(5) 鋪設不織布提供微生物生長及隔絕沃土層掉落至粗砂層而阻塞、(6) 回填 50 cm 厚之沃土層、(7) 種植植栽、(8) 完工並整理路面逕流雨水入流之流路，施工過程如圖 4。

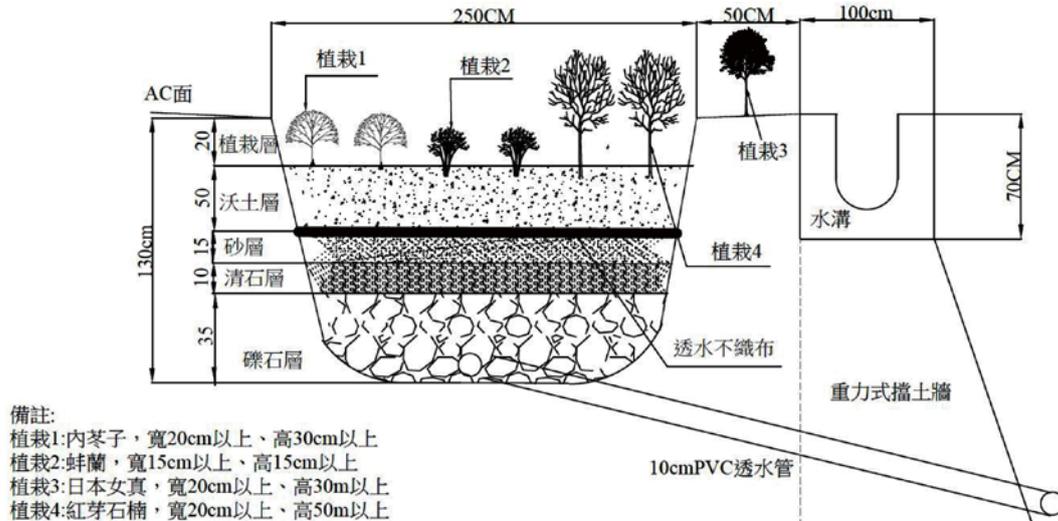


圖 3 雨花園設計剖面圖 (王韻瑾 [15])



(a) 施工前現況



(b) 基地場址開挖



(c) 設置 PVC 透水管



(d) 底部回填礫石層



(e) 回填清石層及砂層



(f) 鋪設不織布



(g) 回填沃土層



(h) 植栽



(i) 完工初期

圖 4 雨花園施工流程照片 (王韻瑾 [15])

## 污染去除效能評估

為了解上述雨花園對道路逕流雨水之污染削減效能，本研究採取雨花園於雨天產生暴雨逕流時之入流水及出流水水樣進行水質的檢測，並從二者的水質污染濃度變化來得知雨花園對道路逕流雨水的污染削減成效。

於研究期間共採集四場次的雨天採樣，在降雨期間，分別於道路逕流入流處及雨花園下方排水管之出流處連續採集三筆水樣，每筆採樣間隔時間為 15 分鐘，因此本計畫共計採集 24 點次的水樣，所採集的水樣進行之水質調查項目包括水溫 (T)、氫離子濃度指數 (pH)、導電度 (EC)、溶氧量 (DO)、總磷 (TP)、氨氮 (NH<sub>3</sub>-N)、磷酸鹽 (PO<sub>4</sub>)、懸浮固體 (SS)、鉛 (Pb)、總鉻 (Cr) 及鎘 (Cd)，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，根據林鎮洋等人<sup>[16]</sup>指出，採樣之目的在於做污染削減效能的評估，若以少數幾次暴雨污染調查推估雨花園的污染削減，其採樣事件應需能代表調查區域之平均降雨型態，由於所能監測的暴雨事件有限，故在確定是否對某一暴雨事件取樣時須滿足下列條件：

1. 確保採樣時之降雨能夠產生足夠之逕流，當次降雨事件之累積降雨量至少應在 10 mm 以上，平均值正負 25% 以內為主，且於 24 小時內採集水樣。
2. 為有效採集暴雨逕流污染，故於該次暴雨採樣前 48 小時需不得有超過 10 mm 以上之降雨。
3. 選擇暴雨事件時，亦應注意事件之雨量強度及延時之代表性。

雨天採樣方法以人工採樣進行之，於採樣後填具採樣記錄表，並將水樣送至檢驗單位進行水檢驗，若遇風

雨過大無法於採樣後立即送至檢驗公司，則應將樣品保存於冰箱內，並於水樣保存期限內送至檢驗公司進行檢驗，若水樣保存超過期限，則視為無效水樣。

經整理本研究所採集的 24 筆水樣 (包含 12 筆入流及 12 筆出流)，其檢測結果與討論說明如下：

### 重金屬

表 2 為本研究 24 筆調查水樣之重金屬平均濃度及污染削減率，若以入、出流的污染濃度變化來探討雨花園對於重金屬的污染去除效益，得知本雨花園對於鉛 (Pb) 的去除成效最高，介於 40.6% ~ 57.6%，平均去除率約為 51.9%；總鉻 (Cr) 的去除成效次之，介於 25.9% ~ 54.2%，平均去除率約為 31.3%；鎘的去除成效最低，介於 15.1% ~ 31.9%，平均去除率約為 22.4%。

另比較美國三處公路 (Wu *et al.*<sup>[17]</sup>)、德國三處公路 (Stotz<sup>[18]</sup>)、法國一處公路 (Legret and Pagotto<sup>[19]</sup>) 及本計畫之道路暴雨逕流雨水重金屬濃度 (詳圖 5)，發現台灣道路所產生的地表逕流雨水中，重金屬鉛的濃度與美國道路相近且略高於法國，但卻低德國甚多，研判應為台灣主要採用無鉛汽油，故道路逕流雨水中含鉛濃度低；道路總鉻之來源主要為車體之鍍金與烤漆及煞車皮，台灣道路逕流雨水之總鉻低於法國甚多，美國與德國則均未檢測；而對於道路鎘的來源主要為車輛之蓄電池及輪胎表面，其濃度表現中，美國未檢出，而台灣與 1987 年之德國檢測數據相近但卻高於法國甚多，研判可能為本路段屬鄉村公路，老舊之農業機具行駛頻繁且蓄電池滲漏所致。由於本研究僅採集四場降雨，且未進行本路段用路人之載具調查及採樣，若欲更進一步確認道路逕流重金屬污染濃度與用路人載具的關聯性，建議後續應進行更多次的雨天採樣，並進行更深入的統計分析，方可以確立其關聯性。

表 2 雨花園對於重金屬之污染去除成效

採樣場次	鉛 (Pb)			總鉻 (Cr)			鎘 (Cd)		
	入流 (mg/L)	出流 (mg/L)	削減率 (%)	入流 (mg/L)	出流 (mg/L)	削減率 (%)	入流 (mg/L)	出流 (mg/L)	削減率 (%)
I	13.57	6.53	51.9	31.77	23.53	25.9	3.50	2.97	15.1
II	15.83	7.50	52.6	2.4	1.10	54.2	5.33	4.23	20.6
III	18.51	7.84	57.6	9.62	5.40	43.9	6.17	4.91	20.4
IV	10.36	6.15	40.6	6.16	4.29	30.4	4.92	3.35	31.9
平均	14.57	7.01	51.9	12.49	8.58	31.3	4.98	3.87	22.4

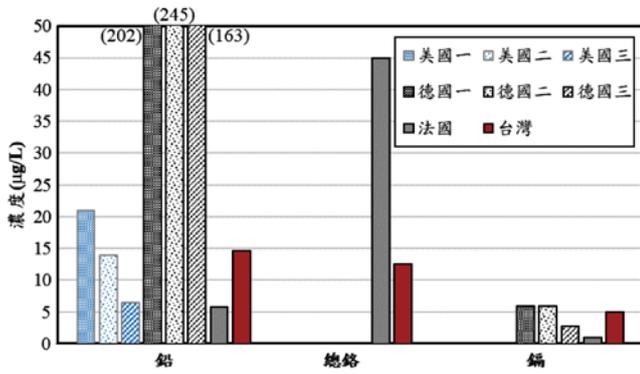


圖 5 入流水與出流水之 SS 濃度金屬圖 (場址 A)

營養鹽

表 3 為本研究暴雨逕流水質檢測結果，若以入、出流的污染濃度變化來探討雨花園對於營養鹽的污染去除效益，得知本雨花園對於各種營養的去除成效差不多，四場降雨事件中，PO<sub>4</sub> 的去除成效表現最佳，去除成效介於 48.1% ~ 86.2%，平均削減率約為 60.0%；TP 的去除成效次之，介於 47.3% ~ 69.5%，平均削減率約為 56.1%；NH<sub>3</sub>-N 的去除成效最低，其原因在於道路逕流雨水中之氨氮濃度偏低，致使其污染削減率亦偏低，其值介於 19.4% ~ 49.5%，平均削減率約為 40.8%。

懸浮固體

表 4 為雨花園對於懸浮固體之污染去除成效，由檢測數據可以得知四場入流水中 SS 的濃度介於 25.83 mg/L ~ 48.43 mg/L，平均濃度為 35.28 mg/L；出流水的濃度則降為 8.14 mg/L ~ 10.70 mg/L，平均濃度為 9.39L，其平均去除率約為 73.4%，由此可知雨花園對於 SS 的去除成效頗佳。

由王韻瑾 [21] 的研究結果可以得知，道路逕流非點源污染之營養鹽濃度與交通流量、車輛類型、城市或鄉村道路、道路清掃頻率及空氣品質有關，本研究路段因屬於交通流量低之郊區道路，故計畫採樣檢測所得之營養鹽濃度較其它研究所採之都市型道路濃度為

低 (表 5)，今比較表 5 中三位台灣研究者與本研究所採集的水樣營養鹽濃度相比，本案例路段因位處於新竹峨眉的郊區，砂石車流量低且空氣污染少，因此水中懸浮固體 (SS) 濃度較都會型道路或高速公路低；再者，本計畫氨氮 (NH<sub>3</sub>-N) 濃度亦相較於其它台灣研究者為低，然而總磷 (TP) 濃度則不亞於甚至高於都會型道路或高速公路，推測其原因應為本路段周遭大都為農田，農民施灑之肥料或農業機械運送肥料之過程，均可能有部份肥料散落於道路路面或路邊，並隨著降雨而流入雨花園中，因此本計畫採集入流水時，其水中總磷濃度偏高。

表 4 雨花園對於懸浮固體 (SS) 之污染去除成效

採樣場次	懸浮固體 (SS)		
	入流 (mg/L)	出流 (mg/L)	削減率 (%)
I	48.43	10.70	77.9
II	25.83	9.63	62.7
III	39.21	8.14	79.2
IV	27.66	9.09	67.1
平均	35.28	9.39	73.4

表 5 雨花園對於懸浮固體 (SS) 之污染去除成效

研究者 (年份)	採樣地點	SS (mg/L)	NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	TP (mg/L)
鄧宇傑 (2010) [20]	台灣 建國高架橋	120.5	2.84	0.218
	坪林交流道	55.8	0.57	0.097
王韻瑾 (2014) [21]	台灣 忠孝橋	437.4	1.40	0.210
	華江橋	148.4	3.24	0.650
	台 64 線	416.9	1.06	0.350
黃家勤 (2002) [22]	台灣 國道 1 號	59.0	1.6 (TN)	2.470
Wu et al. (1998) [17]	美國 高架橋	283.0	0.83	0.430
	高速公路	93.0	0.67	0.520
	聯絡道	30.0	0.52	0.470
Stotz (1987) [18]	德國 公路一	137.0	-	0.250
	公路二	181.0	-	0.350
	公路三	252.0	-	0.310
本研究	台灣 台 3 線 86.2k	35.28	0.125	0.328

表 3 雨花園對於營養鹽之污染去除成效

採樣場次	氨氮 (NH <sub>3</sub> -N)			總磷 (TP)			磷酸鹽 (PO <sub>4</sub> )		
	入流 (mg/L)	出流 (mg/L)	削減率 (%)	入流 (mg/L)	出流 (mg/L)	削減率 (%)	入流 (mg/L)	出流 (mg/L)	削減率 (%)
I	0.103	0.083	19.4	0.370	0.195	47.3	0.865	0.449	48.1
II	0.093	0.047	49.5	0.272	0.110	59.6	0.774	0.107	86.2
III	0.141	0.075	46.8	0.321	0.098	69.5	0.817	0.394	51.8
IV	0.164	0.091	44.5	0.349	0.171	51.0	0.704	0.315	55.3
平均	0.125	0.074	40.8	0.328	0.144	56.1	0.790	0.316	60.0

至於本研究採水樣時於現場立即進行檢測之水溫 (T)、氫離子濃度指數 (pH)、導電度 (EC) 及溶氧量 (DO)，因入流水與出流水並未見明顯的差異性，故不在本文之討論中。

## 結論與建議

1. 本研究路段屬於低車流量之郊區道路，從水質採樣結果與前人之研究結果相比，本路段之重金屬、懸浮固體及氨氮濃度均低於都會區之道路及高速公路，而總磷濃度則略高，由此可知道路暴雨逕流非點源污染濃度與交通流量、車輛類型、城市或鄉村道路、道路清掃頻率及空氣品質有關。
2. 利用雨花園來削減道路暴雨逕流非點源污染可以獲致不錯的效果，其中對於營養鹽及懸浮固體的削減效果較佳，重金屬中則以鉛的削減效果最佳，總銻次之。
3. 由於油脂亦是道路暴雨逕流的重要污染源之一，而本研究著重於重金屬及營養鹽與懸浮固體的削減表現，對於利用雨花園來削減油脂的去除成效，將是未來本課題可以斷續研究的重點方向。
4. 經本研究之現場調查亦可以發現，有部份路段因緊鄰農路，農具之出入往往夾帶土壤並散落於道路上，如此一來可能造成暴雨逕流中含有較高濃度之 SS，若欲於此等路段設置雨花園，則建議應於設施入流口設置簡易之沉砂或攔阻設施，以降低高濃度 SS 阻塞雨花園之風險。

## 參考文獻

1. Kayhanian M., Stenstrom M. K., Lau S. L., Lee H. H., Ma J. S., Ha H., Kim L. H. and Khan S. (2001), "First Flush Stormwater Runoff from Highway," American Society of Civil Engineers World Water and Environmental Resources Congress, Orlando, Florida, May 20-24.
2. Kim L. H., Kayhanian M., Zoh K. D. and Stenstrom M. K. (2005), "Modeling of highway stormwater runoff," Science of the Total Environment, Vol. 348, No. 1-3, pp. 1-18.
3. Drapper D., Tomlinson R. and Williams P. (2000), "Pollutant Concentrations in Road Runoff: Southeast Queensland Case Study," Journal of Environment Engineering, ASCE, Vol. 126, No. 4, pp. 313-320.
4. Prince George's County, Low-Impact Development Design Strategies, Strategies: An Integrated Design Approach, 1999.
5. 內政部營建署 (2015)，水環境低衝擊開發設施操作手冊編製與

案例評估計畫，國立台灣大學執行。

6. City of Edmonton (COE), Low Impact Development Best Management Practices Design Guide Edition 1.1, City of Edmonton, Alberta, December 2011.
7. Trowsdale S. A. and Simcock R. (2011), "Urban Stormwater Treatment using Bioretention," Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 397, pp. 167-174.
8. USEPA. Controlling nonpoint source runoff pollution from roads, highways and bridges. Report EPA-841-F-008a, USA. 1995.
9. Luell, S. K., Hunt, W. F., Winston, R. J. (2011), "Evaluation of undersized bioretention stormwater control measures for treatment of highway bridge deck runoff." Water Science & Technology, Vol. 64, No. 4, pp. 974-979.
10. Templeton, S., Privette C. V., Weeber B. L., Sharma R., Post C., Hayes J. "Evaluation and Demonstration of the Use of Processed Forest Biomass in Bioretention Cells along the South Carolina's Highway." Research Report RR06-02, Final Report to South Carolina Forestry Commission, Clemson University, Clemson, SC, May. 2006.
11. Brown, R.A., Hunt, W.F., and Skaggs, R.W. (2011), Long-term Modeling of Bioretention Hydrology with DRAINMOD. Project #70255. Water Resources Research Institute of the University of North Carolina, N.C. State University, Raleigh, N.C., 1-113.
12. 何嘉浚、張峰毓 (2016)，以植生滯留槽控制農業非點源污染，土木水利，第 43 卷，第 5 期，第 12-18 頁。
13. 行政院環保署 (2013)，降雨逕流非點源污染最佳管理技術 (BMPs) 手冊。
14. 行政院環保署 (2013)，降雨逕流非點源污染最佳管理技術 (BMPs) 指引。
15. 王韻瑾 (2015)，國內首創公路非點源污染 BMPs 設施 — 雨花園，臺灣公路工程，第 41 卷，第 8 期，第 2-35 頁。
16. 林鎮洋、何嘉浚、陳秋楊、溫清光、范致豪、張智華、徐宗宏、楊文龍 (2010)，非點源污染最佳管理措施手冊彙編，行政院環保署。
17. Wu, J. S., Allan, C. J., Saunders, W. L. and Evett, J. B. (1998), "Characterization and Pollutant Loading Estimation for Urban and rural Highway Runoff." Journal of Environmental Engineering. Vol. 124, No. 7, pp. 584-592.
18. Stotz G. (1987), "Investigations of the Properties of the Surface Water Run-Off from Federal Highways." Science of the Total Environment. Vol. 59, pp. 329-337.
19. Legret, M. and Pagotto, C. (1999), "Evaluation of Pollutant Loadings in the Runoff Waters from A Major Rural Highway." Science of the Total Environment. Vol. 235, No.1-3, pp. 143-150.
20. 鄧宇傑 (2010)，公路逕流之非點源單位污染負荷研究，碩士論文，國立台北科技大學土木與防災研究所，台北。
21. 王韻瑾 (2014)，都會區公路非點源污染調查及 BMPs 削減效益評估，博士論文，國立台北科技大學土木與防災研究所，台北。
22. 黃家勤 (2002)，公路逕流污染調查與控制方法研究，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，NSC91-2211-E-214-003。