

水庫中磷質量平衡暨非點源磷輸出量之探討

吳先琪* 陳世裕** 王美雪*** 朱惟君****

關鍵詞：磷之質量平衡、磷之釋出、沈降物捕集、土壤流失率

摘要

在臺灣地區大部份的水庫中，過量的磷為水庫優養化的主要原因，因此瞭解並控制磷的來源及磷在水庫中之循環利用情形，乃解決水庫優養化問題的根本之道。

本研究乃利用水庫集水區內各支流進流量與水質之乘積來估算集水區磷的輸出量；此外應用土壤沖蝕通用公式和水質分析資料，建立一以集水區土壤沖蝕為基礎的集水區非點源磷輸出模式，來預測集水區磷的輸出量。對水庫磷輸出量則以出流量與水質之乘積估計；並考慮磷在水庫內之循環，包括沈降及釋出兩作用；本論文建立一包括輸入、輸出、沈降、釋出等機制的磷質量平衡模式，並藉以探討水體中磷含量之變化，提供控制優養化策略之參考。

一、前言

水體中磷的來源可分為外在來源(external source)和內在來源(internal source)，外在來源是指由於人類或自然界之活動所產生的磷以各種途徑進入水體系統內；內在來源則指由於水體系統內的底泥處於某些狀態下釋出其所以滯留之磷；視水體系統所處之環境條件和內部之環境狀態而異，此二來源可分別或同時成為水體中磷之重要來源。

磷在水體中主要以兩種型式存在，溶解性磷與附着性磷，前者指溶解於水中，後者指吸附於粒狀物上或存在於生物體中之磷；由本研究顯示，水體中磷濃度與懸浮固體量間有一相關性存在，而懸浮固體之主要來源為集水區內地表土壤流失，經由逕流而進入水體中，是故本研究乃結合土壤沖蝕通用公式及總磷－懸浮固體量間之相關性，建立一預測模式以估計集水區內非點源磷輸出量。

在水體中，附着性磷可能隨著粒狀物沈降至底泥上，而不論溶解性磷或附着性磷均可能被藻類或其它生物利用，當這些生物體死亡後亦將沈降至底泥上，前二者造成磷的沈降作用，可將水層中之磷移除；而底泥中所滯留之磷由於生物、化學、物理等作用，在適當條件下可被釋放至水層中(1)，此為磷之內在來源。由磷之沈降與釋出構成了磷在水體內部之循環。

* 國立臺灣大學環境工程學研究所副教授

** 國立臺灣大學環境工程學研究所博士班研究生

*** 國立臺灣大學環境工程學研究所碩士班研究生

**** 國立臺灣大學環境工程學研究所研究助理

本研究之目的乃在建立磷的質量平衡模式，並藉以探討水體中磷含量之變化，改變外在環境對集水區磷輸出之影響，以為控制優養化策略之參考。

二、研究方法

1. 集水區非點源磷之輸出預測模式

水體中存在著溶解性磷與附着性磷，附着性磷常伴隨著粒狀物懸浮在水體中；由文獻(2)可知磷之輸出量有一大部分是以懸浮狀態存在逕流中，且此輸出量應與集水區內土壤流失量有密切之關係。此外，溶解性磷之輸出亦不能忽視。

今以下式模擬由集水區進入水庫中之總磷量：

$$I = Q \times C_d + Q_r \times C_s \quad (1)$$

其中， I 表單位時間總磷輸入量(mg-P/yr)， Q 表單位時間集水量(含地下水)(L/yr)， Q_r 表單位時間逕流量(L/yr)， C_d 及 C_s 分別為溶解性磷與懸浮性磷之濃度(mg-P/L)。懸浮性磷即附着性磷吸附在懸浮固體上。因此在某特定集水區內，懸浮性磷之濃度(C_s) 應與水中懸浮固體量(SS)有正比關係，更進一步，將與土壤流失量有正比關係。

$$C_s \propto SS \quad (2)$$

$$SS = A \times a / Q_r \quad (3)$$

其中， A 表單位面積之土壤年流失量(Kg/ha-yr)， a 表集水區之面積(ha)。由(2)、(3)可推知 $C_s = f \times SS$ ，則由集水區進入水庫之總磷質量可表為

$$I = Q \times C_d + f \times A \times a \times 10^6 \quad (4)$$

f 表逕流水中單位懸浮固體量所含之磷量(mg/Kg)。 Q 及 a 可由量測而得， C_d 、 f 需由水質資料分析推估，而 A 則以土壤沖蝕通用公式計算。

1.1 f 值之推估

f 值之推估係以德基水庫歷年來之水質資料(3、4)為主，以各支流中懸浮固體量與總磷濃度作圖，找出總磷與懸浮固體量間之相關性。

1.2 土壤流失率之推估

對於土壤流失率之推估，則引用美國農業部(USDA)(5)所發展之土壤沖蝕通用公式

其中，A 表土壤流失率(Kg/ha-yr)，R 表降雨沖蝕指數，K 表土壤沖蝕指數(kg/ha-yr)，L 表坡長因子，S 表坡度因子，C 為表面覆蓋因子，P 表水土保持工作之影響因子。由此經驗公式來推估集水區內之土壤流失率。

對於 R 值的估計係參考臺灣地區降雨沖蝕指數分佈圖(6)，就德基與翡翠水庫流域集水區之位置估計其 R 值。K 值之推估則參考文獻(7)中，有關山坡地土壤沖蝕性指數分析結果，選取位於水庫集水區範圍內或相近之各點，求其平均值而得。坡度圖則是估算 S 值的基準。本研究以「德基水庫集水區坡度級圖」及「台北水源(北勢溪部份)特定區計劃書」中之坡度圖(比例尺均為 1:50000)為基準，就其坡度相近者，概略分區，德基水庫集水區分為五區，翡翠水庫分為四區，各區之面積比以求積儀(Sokkisha)求取，將前述之各區再分為二至三個坡度範圍，分別以求積儀得出各範圍之面積比(X_1, X_2, X_3)，再代入各範圍之坡度因子推估值(S_1, S_2, S_3)，以 $X_1 \times S_1 + X_2 \times S_2 + X_3 \times S_3$ 得出該區之加權坡度因子估計值；於德基水庫坡度圖中，坡度大於 75 的地區皆以坡度 80 來計算，而 S_1, S_2 及 S_3 之估計值在此以各範圍中佔強勢之坡度值或平均坡度值為估計原則。為簡化計算，德基與翡翠兩水庫流域的坡長皆根據實際觀察之經驗定為 10 公尺。此外，根據參考文獻(8)利用各區之 S 值求出相對應的 LS 值，對於不在文獻中所述及範圍內之 LS 值，則由目視外插之方法估計之。

對 C 值之推估則利用「德基水庫集水區土地利用及崩坍地航測調查圖」及「台北水源特定區翡翠水庫集水區土地利用現況圖」(比例尺均為 1:50000)，採用與前述推估 S 值相同之分區方式；以求積儀大致估算各區中各作物或林相所佔之面積百分比(X_1, X_2, X_3)，再估計各作物或林相之 C 值(C_1, C_2, C_3)，而以 $C_1 \times X_1 + C_2 \times X_2 + C_3 \times X_3$ 為此區之平均 C 值。C 值之估計主要參考文獻(8, 9)，其中選擇覆蓋率 70%~45% 之間的 C 值 0.002~0.004 作為永久性植被之 C 值；另蔬菜與茶園均屬列式種植之農作物，因其 C 值範圍較窄，故以平均值表示。

P 指水土保持工作之影響。據文獻所述(9)，對於非梯形且不具條作之農耕地，當坡度介於 18.1~24 之間時，P 值為 0.95。對德基、翡翠兩水庫集水區之土地利用情形而言，絕大部分屬非梯形，非條作狀態，且坡度遠大於 24，因此 P 值皆令為 1。

2. 集水區內各逕流磷攜入量之估算

磷之攜入量與土壤流失量有直接之關係已如前述。估計磷攜入量時必須將土壤流失量乘以水中單位懸浮固體量所含之磷，即 i 。尋求此總磷與懸浮固體量間之關係，係以民國 77 年德基水庫各支流之水質資料求得，故在估計逕流磷攜入量時，德基水庫以民國 77 年九條支流採樣站之水質及流量紀錄來估算，翡翠水庫則以民國 79 年五條支流之水質及流量資料計算，以利於比較。

3. 沈降物捕集試驗及分析方法

為求得磷之沈降速率，於本研究中係以沈降物捕集器法實地測量。沈降物捕集器之構造乃外徑8.3 cm，長22 cm之不鏽鋼圓筒，上端開口嵌入2 cm厚之塑膠麥管束，作為防阻水流擾動之系統(麥管束之上部距圓筒頂端0.5 cm，以防止氣泡聚集麥管上端阻礙粒狀物之沈降作用)。捕集器中置入高濃度之NaCl溶液(40 g/L)，以降低水流擾動及物質擴散，防止粒狀物之再懸浮，及維持添加於溶液中之殺菌劑的穩定性。在此以疊氮化鈉(NaN_3 ，0.5 g/L)為殺菌劑，以抑制捕集器所收集到粒狀物之生物分解。

六組捕集器分別置放於澄清湖兩處，德基水庫之28及39断面處，翡翠水庫大壩及媽祖林處。其中德基28断面及翡翠大壩處均垂直放置三組捕集器於不同深度，餘均一組。每組捕集器包含收集筒四個。

沈降物之分析流程如圖1所示，其中沈降物消化過程乃參考Olsen & Sommers (10)提出之方法；先以 HClO_4 消化後，再以維生素丙法比色量測其磷含量。萃取流程係參考Hieltjes & Lijklema (11)之方法。

三、結果與討論

1. 集水區非點源磷之輸出量

圖2A，2B為根據德基水庫各支流之水質分析資料(3,4)，所繪之總磷與懸浮固體量間之關係圖，由於集水區內之土地利用情況逐年改變，且年代愈晚之實驗技術較為精確，故選用圖2B之迴歸資料來估計 f 及 C_d 值；由圖2B可看出，在懸浮固體量低於10 mg/L時，總磷濃度趨於定值，即 C_d 值約為0.0166 mg/L，當懸浮固體量濃度愈高時(大於10 mg/L)，總磷與懸浮固體量成正比關係，其比值即為 f ，在此 f 等於0.00065，較Brown(12)以輸出量估計而得($f = 0.004$)及郭瑞華等(13)土壤中含磷量推估之值($f = 0.001$)均小；而與Dong(14)等人所得之砂粒及粘粒含磷量之中間值($f = 0.0003 \sim 0.002$)較接近，此結果顯示德基水庫集水區土壤中天然磷含量不高，因此支流逕流水中懸浮固體內之含磷量亦較小。

在估計土壤流失率(A)方面，德基、翡翠兩水庫集水區的R值分別為900及800；關於K值，德基水庫集水區以文獻(7)中TC9(東勢新伯公)與TC10(東勢中坑坪)兩點之平均值0.47 T/ha-yr估計；翡翠水庫集水區以K值則以TP1(石碇小格頭)，TP2(坪林石槽)，TP5(雙溪牡丹)，TP8(平溪十分寮)，TP9(石碇永定)，TP25(烏來孝義)，TP26(新店雙城)等數點之平均值0.31 T/ha-yr為代表。表1及表2為德基、翡翠兩水庫集水區之分區數目、各分區之面積百分比及有關土壤沖蝕萬用公式中各項參數之估計或計算值，最後並列出總土壤流失率及集水區支流逕流每年的總輸砂量。根據德基水庫民國62~76年度淤積測量資料顯示，其年平均淤積量為115萬立方米，且其底泥平均含水量為40% (w/w)，估計其總體密度等於0.96 g/cm³，故每年平均淤積物重約110.4萬噸，與總輸砂量

162.9萬噸略有差異。而翡翠水庫之年平均淤積量為92萬方米，若平均含水率為40%(w/w)，則每年平均淤積物重約88萬噸，與總輸砂量38.1萬噸有一段差距。

由式(4)及上述所列之參數可用來估算兩水庫集水區非點源磷之輸出量，其結果列於表3。

2. 由集水區支流逕流水質及流量估算磷輸入量

表4、表5為德基、翡翠兩水庫集水區支流逕流水質及流量估算磷輸入量之結果，此結果與集水區非點源磷之輸出模式預測結果均列於表6，由表6可看出，以非點源磷輸出模式估計之量均為實測水質及流量資料估計之量之10倍左右，後者之結果反而與預測模式之溶解部份相近。造成此種差異可能是由於水質監測採樣工作均在較佳天候下進行，避開了暴雨、颱風等惡劣天候，多半水質清澈，懸浮固體濃度不高，這將嚴重地低估磷的輸入量。

由於澄清湖之水係引自高屏溪經曹公圳入湖，在此僅以入流量及水質資料估計其磷輸入量，其結果如表7所列。

3. 沈降物捕集試驗結果

由粒徑分析顯示，沈降物捕集器收集到之沈降物，其粒徑分佈與水體相似，顯示沈降物捕集器確實能收集到水體中沈降之懸浮固體物；沈降物捕集試驗結果如表8、表9所示，由表中可明顯看出總懸浮固體沈降通量與總磷沈降通量間大略有正比關係存在，這與集水區非點源磷輸出預測模式中之推論相同，但*f*值(總磷與懸浮固體量之比)應與水體中藻類相及集水區土壤性質有關。德基、翡翠兩水庫之磷沈降通量與文獻值相近(15)，但澄清湖之磷沈降通量高出文獻值甚多，顯示澄清湖遭受較嚴重之污染；除此之外，澄清湖中之固體沈降通量亦較兩水庫高出甚多。且在德基水庫與澄清湖中，磷沈降通量中有機磷佔大部份，相反地，翡翠水庫中無機磷之沈降通量較大，前者收集到之沈降物可能以藻類殘骸佔大部份，而後者則可能是無機礦物類佔大部份；由此可推論，至目前為止，翡翠水庫之優養化程度較另兩水庫為低。

4. 水庫中磷濃度之模擬

水庫中磷濃度之模擬乃根據質量平衡式：

$$\Delta M / \Delta T = I - O - [S - R] \quad (6)$$

其中為*I*單位時間磷輸入量，*O*為單位時間磷輸出量，*S*為單位時間磷沈降量，*R*為單位時間磷釋放量，*n*為水層中之磷量。假設水庫經長期之運作後，水層中磷含量達到穩定態，即 $\Delta M / \Delta T = 0$ ，且磷一進入水層中即完全混合。此時若知*I*、*S*、*R*及出流水流量，即可求出水層中之磷濃度。表10列出各水庫各項的計算結果，其中輸入量有二種估計方式，沈降量係以磷沈降通量乘以水域面積來估算，釋放量則為釋出速率乘以水域面積而得，釋出速率係參考吳先琪等之研究報告(2)，在此假設澄清湖底泥磷之釋出速率為1.5

ug/cm²-day，且德基、翡翠兩水庫之污染不若澄清湖嚴重，故其釋出速率均假設為0.2 ug/cm²-day；此外，澄清湖的遊客非點源污染乃依遊客人數估計。若以非點源磷輸入量為德基或翡翠兩水庫之磷輸入量，則穩定態磷濃度估計值將遠較實際為高，若僅以溶解態部份為輸入量，又較實測值為低，這顯示由逕流所攜入之非點源磷有一部份循支流流入時沈降到底泥，而未被沈降物捕集器收集到，但也有一部份在沈降過程中釋出；由於沈降物捕集器放置之位置，距支流入口尚有一段距離，故由支流逕流所攜入之沈降物無法完全被捕集，因而低估了磷之沈降量，致使估計值偏高。而顯然地，固態磷對水體中磷之貢獻仍佔總負荷量之主要部份，對此兩水庫而言，控制土壤流失所造成之磷輸入量乃為控制水庫中磷濃度的主要手段。

由於經由土壤流失進入水庫之磷量相當高，而影響土壤流失各項因素中，以土地利用部份(C值)，最易以人為方式加以改善控制，表11列出數種變更土地利用狀態及其對降低土壤流失量之貢獻，當將所有農地均變更為造林地時，其土壤流失率降為未變更前之0.6倍，若再考慮因變更土地利用所伴隨之磷肥使用量，將對降低磷輸入量有極大效益。

澄清湖之估計值仍較實測值為低，由於未考慮常自水層中補充新鮮底泥，可能低估了磷釋出速率。比較其輸入量，釋出量，沈降量，發現三者相差並非極大，可見磷在水體中之內部循環利用影響其水質優劣甚大，雖沈降量很大，但輸入量與釋出量之總合卻仍足夠使整個水體保持在一高磷濃度狀態，欲改善澄清湖之水質則需由輸入及釋出兩方面著手。

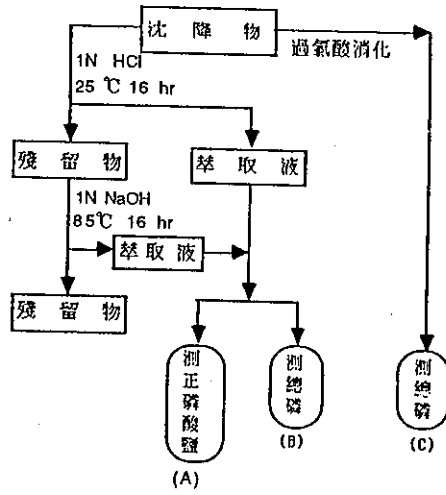
另外，若以流量與水質之乘積來估計磷輸入量，可能會嚴重地低估輸入量，因大部份的水質監測採樣皆避開惡劣天候，但此影響在表11中並不明顯，可能有部份輸入之磷已在被捕集前沈降到底泥上。

四．結論

水體中總磷含量與懸浮固體間有一關係存在，當懸浮固體濃度在10 mg/L以上時，總磷含量與懸浮固體量成正比，而土壤流失為水體中懸浮固體之主要來源，利用土壤沖蝕通用公式所建立的預測模式來估計集水區非點源磷輸出量時，穩定態庫水中之磷濃度偏高，顯示由逕流所攜入之磷，有一大部份沈降於底部未被沈降物捕集器收集到。若僅由水質與水量乘積來估算磷輸入量又會產生偏低之現象，因為無法包括暴雨逕流所攜入之磷量。欲正確估計沈降量，則應設法求得支流逕流處之沈降量，以及非點源輸入磷量中，能停留或溶解於水中之百分比。本研究之結果確實顯示非點源輸入之磷，雖然並非全部均可進入水層中，仍佔磷輸入量之一大部份。

參考文獻

1. 陳世裕, 「水庫中底泥磷釋出模式之研究」, 碩士論文, 國立台灣大學環境工程學研究所, 台北, 1990.
2. 吳先琪, 「水庫中磷的質量平衡及控制策略研究(一)」, 國立台灣大學環境工程學研究所, 環境工程研究報告, No.241, 台北, 1990.
3. 經濟部水資源統一規劃委員會, 「大甲溪河川水質長期監視計劃工作報告」, 25-資-05, 1987.
4. 台灣電力公司, 「大甲河流域河川水質長期追蹤計劃-第六年工作報告」, 1989.
5. Wischmeier, W.H., and Smith, D. D. "Predicting rainfall erosion losses -A guide to conservation planning", U. S. Dept. of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537, 1978.
6. 黃俊德, 「台灣降雨沖蝕指數之研究」, 台灣水土保持及集水區經營研究成果摘要彙編, 農委會林業特刊第四號, PP. 1-16, 1985.
7. 萬鑫森, 黃俊義, 「台灣坡地土壤沖蝕」, 林業特刊第二十六號, 行政院農委會編印, 1990.
8. Science and Education Administration United States Department of Agriculture in Cooperation with Purdue Agriculture Experiment Station, "predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains", Supersedes Agriculture Handbook No. 282, 1978.
9. U. S. EPA, Office of Research and Development, "Loading function for assessment of water pollution from nonpoint sources", National Technical Information Services, Springfield, VA., 1976.
10. Olsen, R. S., and Sammers, L. E. Methods of soil analysis, part 2, chemical and microbiological properties-Agronomy monograph, No. 9, 2 nd. edition.
11. Hieltjes, AHM., and Lijklema, L. "Fractionation of inorganic phosphate in calcareous sediment", J. Environ. Qual., Vol. 9, pp. 405-407, 1980.
12. Brown, R. G. "Effects of precipitation and land use on storm runoff", Water Research Bulletin, Vol. 24, pp. 421-426, 1988.
13. 郭瑞華, 陳曼莉, 楊炳坤, 廖于恆, 「翡翠水庫集水區磷污染源之調查研究」, 中華民國自來水協會, 第二屆給水技術研討會論文集, pp. 87-109, 1985.
14. Dong, A., Simsiman, G. V., and Chesters, G. "Particle-size distribution and phosphorus levels in soil, sediment, and urban dust and dirt samples from the Menomonee River watershed, Wisconsin, U. S. A.", Water research, Vol. 17, pp. 569-577, 1983.
15. Serruya, C. " Rates of sedimentation and resuspension in lake Kinneret", In Interaction between sediment and freshwater (edited by Golterman, H. L.), Proceedings of an International Symposium, Amsterdam, Netherlands, Junk, The Netherlands, pp. 48-56, 1977.



C:表總磷 B-A :表有機磷 C-(B-A): 表無機磷

圖 1. 沈降物磷含量分析流程

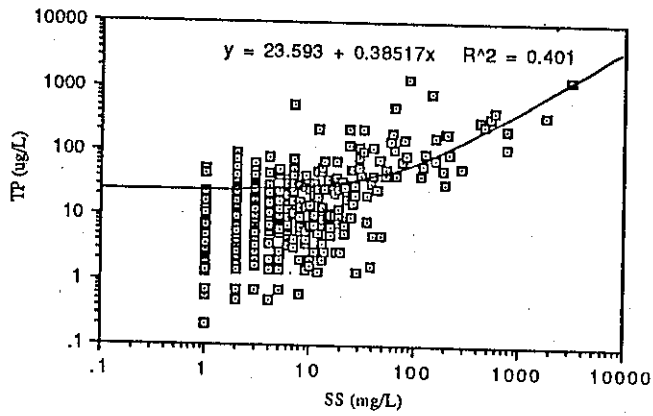


圖 2A 德基水庫集水區支流1983-1986,1988 年 SS-TP 關係圖

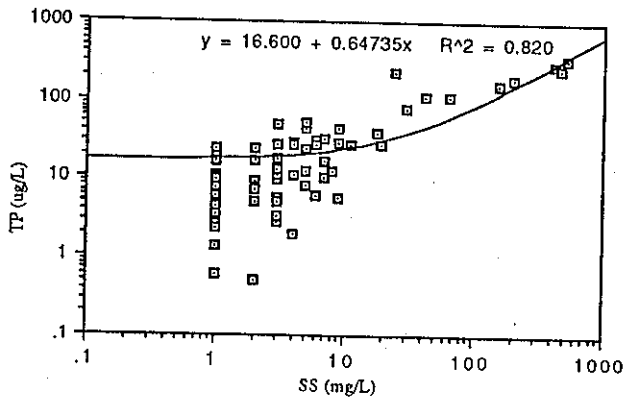


圖 2B 德基水庫集水區支流1988 年 SS-TP 關係圖

表 1. 德基水庫集水區土壤流失率之估計

分區代號	面積百分比	R	K	S		LS	C		P	A
I	14 %	900	0.47	0.80*80	76	17	1.0*C	0.002	1	14.38
				0.20*60						
II	16.6 %	900	0.47	0.08*35	72	16.7	0.2*P	0.0032	1	22.61
				0.22*60			0.8*C			
				0.70*80						
III	10.4 %	900	0.47	0.14*35	64	14	0.1*P	0.005	1	29.61
				0.04*O						
				0.43*C						
				0.43*M						
IV	21 %	900	0.47	0.60*23	40	7.2	0.25*O	0.019	1	57.87
				0.005*V						
				0.4*P						
				0.345*M						
V	38 %	900	0.47	0.43*30	53	11	0.1*P	0.0032	1	14.89
				0.013*O						
				0.887*C						

A, K : T/ha/yr

A=14.38*14%+22.61*16.6%+29.61*10.4%+57.87*21%+14.89*38%
=26.7 (T/ha/yr)=26700 (Kg/ha/yr)

C: 闊葉林(C=0.002), M: 混生林(C=0.003), P: 造林地(C=0.008)

O: 果園(C=0.005), V: 蔬菜, 茶園(C=0.4)

總輸砂量=A*a=26.7(T/ha/yr)*61000(ha)=162.9 萬噸/年

表 2. 翡翠水庫集水區土壤流失率之估計

分區代號	面積百分比	R	K	S	LS	C	P	A
I	7.50%	800	0.31	50	10	0.018	1	44.64
II	24.50%	800	0.31	38	6.4	0.01	1	15.87
III	42%	800	0.31	44	8.3	0.004	1	8.23
IV	26%	800	0.31	30.5	5.7	0.004	1	5.65

註 K, A : (T/ha/yr)

A=44.64*7.5%+15.87*24.5%+8.23*42%+5.65*26%
= 12.2 (T/ha/yr)=12200 (Kg/ha/yr)

總輸砂量=A*a=12.2(T/ha/yr)*31300(ha)=38.1萬噸/年

表 3. 集水區非點源磷輸出模式估計結果

	A 土壤流失率 Kg/ha/yr	a 集水區面積 ha	Q 單位時間集水量 L/yr	溶解部分 mg-P/yr	懸浮部分 mg-P/yr	I 單位時間總磷輸入量 mg-P/yr
德基水庫	26500	61000	7.93E+11	1.32E+10	1.06E+12	1.073E+12
翡翠水庫	12200	31300	1.28E+12	2.12E+10	2.48E+11	2.69E+11

註 I=0.0166*Q+0.00065*A*a*E6

表4. 德基水庫水質, 流量估算磷輸入量(77年)

	成武溪	晉元溪	梨山排水溝	水庫源頭	佳陽溪	劍陽溪	劍山溪	比坦溪	達盤溪
一月水量	9.64E+08	8.04E+08	6.70E+08	2.79E+10	1.71E+09	8.04E+08	9.11E+08	8.30E+08	9.11E+08
一月水質	349	6.2	289	11	17	3.5	2.4	3	7.1
二月水量	8.47E+08	7.26E+08	6.05E+08	2.46E+10	1.52E+09	7.02E+08	8.23E+08	7.26E+08	8.23E+08
二月水質	349	6.2	289	11	17	3.5	2.4	3	7.1
三月水量	1.42E+09	1.21E+09	9.91E+08	4.38E+10	2.54E+09	1.18E+09	1.37E+09	1.21E+09	1.37E+09
三月水質	26	7.5	258	10	7	5.7	0.22	0.3	4.9
四月水量	3.27E+09	2.75E+09	2.28E+09	1.07E+11	5.78E+09	2.67E+09	3.11E+09	2.77E+09	3.11E+09
四月水質	80	42	31	220	43	48	11	8.3	12
五月水量	3.08E+09	2.60E+09	2.14E+09	1.00E+11	5.44E+09	2.52E+09	2.95E+09	2.60E+09	2.92E+09
五月水質	80	42	31	220	43	48	11	8.3	12
六月水量	2.49E+09	2.10E+09	1.74E+09	8.02E+10	4.41E+09	2.05E+09	2.38E+09	2.13E+09	2.36E+09
六月水質	80	42	31	220	43	48	11	8.3	12
七月水量	1.04E+09	8.84E+08	7.23E+08	3.11E+10	1.87E+09	8.57E+08	1.02E+09	9.11E+08	1.02E+09
七月水質	39	3.1	0	112	9.8	2	5.7	2.8	12
八月水量	9.11E+08	7.77E+08	6.43E+08	2.59E+10	1.61E+09	7.50E+08	8.57E+08	7.77E+08	8.57E+08
八月水質	39	3.1	0	112	9.8	2	5.7	2.8	12
九月水量	1.74E+09	1.48E+09	1.22E+09	5.47E+10	3.08E+09	1.43E+09	1.66E+09	1.48E+09	1.66E+09
九月水質	50	19	0	26	17	23	2.4	3.6	7.7
十月水量	2.22E+09	1.87E+09	1.55E+09	7.14E+10	3.96E+09	1.82E+09	2.14E+09	1.90E+09	2.12E+09
十月水質	50	19	0	26	17	23	2.4	3.6	7.7
十一月水量	1.40E+09	1.19E+09	9.59E+08	4.29E+10	2.46E+09	1.14E+09	1.32E+09	1.19E+09	1.32E+09
十一月水質	17	9.8	26	4.7	10	4.4	6.1	17	10
十二月水量	8.57E+08	7.23E+08	5.89E+08	2.38E+10	1.50E+09	6.96E+08	8.04E+08	7.23E+08	8.04E+08
十二月水質	17	3.1	0	112	9.8	2	5.7	2.8	12
各支流年總磷 輸入量(ug/yr)	1.69E+12	4.14E+11	8.40E+11	7.67E+13	9.38E+11	4.44E+11	1.30E+11	1.06E+11	1.94E+11

德基水庫總磷輸入量=8.15E10ng/year

備註: 水量單位:升 水質單位:ug/L

表5 翡翠水庫集水區支流水質, 流量估算磷輸入量(79年)

	北勢溪	火燒樟溪	後坑子溪	金瓜溪	速魚堀溪
一月水量	8.67E+10	5.81E+09	1.03E+10	1.21E+10	3.87E+10
一月水質	20.6	20.20	20.20	10.70	15.00
二月水量	3.83E+10	2.57E+09	4.56E+09	5.33E+09	1.71E+10
二月水質	13.3	15.20	10.70	18.30	12.60
三月水量	3.19E+10	2.14E+09	3.80E+09	4.44E+09	1.42E+10
三月水質	12	10.40	13.30	11.70	14.20
四月水量	6.72E+10	4.50E+09	7.99E+09	9.34E+09	3.00E+10
四月水質	23.4	18.60	15.50	22.40	22.10
五月水量	4.37E+10	2.93E+09	5.20E+09	6.08E+09	1.95E+10
五月水質	13.3	13.30	15.20	11.70	12.50
六月水量	9.24E+10	6.19E+09	1.10E+10	1.28E+10	4.12E+10
六月水質	13.6	16.70	12.90	9.20	18.60
七月水量	2.22E+10	1.49E+09	2.65E+09	3.09E+09	9.91E+09
七月水質	12.3	13.30	14.50	10.70	12.30
八月水量	1.29E+11	8.63E+09	1.53E+10	1.79E+10	5.74E+10
八月水質	20.5	17.10	23.10	11.10	15.30
九月水量	1.31E+11	8.79E+09	1.56E+10	1.82E+10	5.85E+10
九月水質	9.8	11.40	6.60	7.90	7.70
十月水量	2.55E+10	1.71E+09	3.03E+09	3.54E+09	1.14E+10
十月水質	12.9	13.60	23.10	14.20	12.00
十一月水量	3.49E+10	2.34E+09	4.16E+09	4.85E+09	1.56E+10
十一月水質	8.2	7.00	16.10	5.40	6.30
十二月水量	1.99E+10	1.34E+09	2.37E+09	2.77E+09	8.90E+09
十二月水質	17.1	12.3	11.7	10.7	10.1
各支流總磷年 總量(ug/yr)	1.12E+13	7.28E+11	1.31E+12	1.16E+12	4.45E+12

翡翠水庫總磷輸入量=1.09E10ng/year

備註: 水量單位:升 水質單位:ug/L

表6非點源磷輸出模式與水質及流量估算磷輸入量結果之比較

	非點源磷輸出模式	水質及流量
德基水庫	1.07 E+12	8.15 E+10
翡翠水庫	2.69 E+11	1.89 E+10

單位:mg-P/yr

表7澄清湖水質,流量估算磷輸入量(79年)

月分	入流(第二取水口)	
	水量	水質
一月	2.46E+09	0.45
二月	1.63E+09	0.46
三月	2.09E+09	0.43
四月	1.46E+09	0.41
五月	1.17E+09	0.15
六月	1.49E+09	0.33
七月	1.34E+09	0.43
八月	1.14E+09	0.38
九月	1.13E+09	0.48
十月	2.60E+09	0.52
十一月	4.96E+08	0.49
十二月	2.22E+09	0.43
總磷年總輸入量(mg)	8.12E+09	

備註: 水量單位:L 水質單位:mg/L

表8. 德基水庫及澄清湖沈降物捕集試驗結果

	28斷面中	28斷面下	39斷面下	澄清湖C	澄清湖D
收集期間	1990.11.5- 1991.2.5	1990.11.5- 1991.2.5	1990.11.5- 1991.2.5	1990.10.10- 1991.2.4	1990.10.10- 1991.2.4
總磷	1.31	3.32	3.11	8.65	11.43
有機磷	1.02	2.30	2.11	5.56	3.92
無機磷	0.29	1.02	1.00	3.09	7.50
TSS	1.53	5.16	9.28	8.48	12.36
VSS	0.12	0.21	0.28	0.85	1.36
f	0.00086	0.00064	0.00034	0.00102	0.00092

單位:除TSS及VSS為kg/m²/yr,餘為g/m²/yr
f=總磷/TSS

表9. 翡翠水庫沈降物捕集試驗結果

	大壩表	大壩中	大壩下	媽祖林
收集期間	1990.10.23- 1991.5.14	1990.10.23- 1991.5.14	1990.10.23- 1991.5.14	1990.10.23- 1991.5.14
總磷	0.72	2.00	2.09	0.70
有機磷	0.13	0.23	0.36	0.03
無機磷	0.59	1.77	1.73	0.67
TSS	1.29	3.82	3.55	0.98
USS	0.29	0.55	0.48	0.15
f	0.00056	0.00052	0.00059	0.00071

單位：除TSS及USS為Kg/m²/yr, 餘為g/m²/yr
f=總磷/TSS

表10. 質量平衡計算結果

項目		德基水庫	翡翠水庫	澄清湖
輸入量 (I)	進流量=水質 (Ia)	8.15E+10	1.89E+10	8.12E+09
	非點源磷輸入量 (Ib)	2.07E+12	2.69E+11	
	溶解態部分 (Ib-d)	13200000000	21200000000	遊客之點源輸入
	懸浮態部分 (Ib-s)	1.06E+12	2.48E+11	4.03E+08
釋放量 (R)		2.77E+09	6.28E+09	5.64E+09
沈降量 (S)		1.22E+10	1.20E+10	1.03E+10
出水量 (Q)		7.28E+08	1.33E+09	1.96E+07
穩定態總磷 濃度估計值 (μg/L)	I=Ia I=Ib I=Ib-d	99.0 2830.5 5.2	9.9 198.0 11.6	197.1
實測值 (μg/L)		63.6	15.4	244.4

註：I, R, S單位為mg/yr, Q: 為m³/yr
水域面積：德基水庫3790000m², 翡翠水庫8600000m², 澄清湖1030000m²
實測值：二次所採各層水樣之總磷平均值

表11. 德基、翡翠水庫集水區改變土地利用對土壤流失之影響

	維持作物 原始狀態	果園, 蔬菜, 茶園 一半變更為造林	果園, 蔬菜, 茶園 全變更為造林
	土壤流失率	26.5 (12.2)	21.51 (9.9)
作物變更後與 變更前之比值	1 (1)	0.81 (0.81)	0.62 (0.63)

註：括弧中為翡翠水庫之值, 且僅變更果園作物。

土壤流失率單位：T/ha-yr