

## 以基因演算法優選流量單位歷線

洪益發<sup>(1)</sup> 梁昇<sup>(2)</sup>

### 摘要

集水區降雨量及逕流量之關係，一直是水文分析重要的一環。因為降雨量的觀測較逕流量容易且準確，吾人可由降雨量的數據間接模擬(simulation)逕流量的大小。降雨量及逕流量關係的率定分析方法有很多種，例如單位歷線法(unit hydrograph)、水筒模式法(tank model)、貯蓄函數法(storage function)及 HEC-1 模式法等。其中單位歷線法是最古老的方法，以往單位歷線法大多以矩陣(matrix) 求解，本研究採用基因演算法(genetic algorithms)。基因演算法是優選(optimization)求解方法的一種，其緣於遺傳基因之進化(evolution)理論。遺傳基因可經由複製(replacement)、交換(crossover)及突變(mutation)等進化過程而達到汰弱留強之優選結果。本研究以台灣中部地區大安溪流域為研究案例，由該流域雪嶺雨量站及象鼻水位站的兩場颱風期間觀測數據，以基因演算法優選流量單位歷線。依本研究結果顯示，基因演算法應用於集水區流量單位歷線之優選，確為可行且值得繼續研究。

(**關鍵詞**：流量單位歷線、基因演算法、優選、大安溪。)

## Optimizing Unit Hydrograph with Genetic Algorithms

*Yi-Fa Hung and Sheng Liang*

Department of Soil and Water Conservation,  
National Chung-Hsing University, Taichung, 402 Taiwan, R.O.C.

### ABSTRACT

The relationships between rainfall and runoff within a catchment is an important part of hydrology . Because the observation of rainfall is more easy and accurate than runoff, it could simulate the amount of runoff by rainfall data. There are several methods used for deriving the relationships between runoff and rainfall, including unit hydrograph, tank model, storage function, and HEC-1 model, etc. Unit hydrograph is the oldest one of methods, usually solved by matrix before. Genetic algorithms, one of optimizing methods, applied in this paper, is finished by evolution process including replacement, crossover, and mutation steps.

This study takes an example of Ta-An river in central Taiwan area. Data from a rainfall station Syue-Ling and a river stage station Siang-Bi, were used to optimize unit hydrograph with genetic algorithms for the Siang-Bi station. The outputs of this study reveal that it is referable to optimize unit hydrograph with genetic algorithms.

(**Keywords** : unit hydrograph, genetic algorithms, optimization, Ta-An river )

---

(1)中興大學水土保持學系博士班研究生

(2)中興大學水土保持學系教授

## 前言

降雨產生逕流，人類攔引逕流並蓄存利用，供應給民生用水、工業用水、灌溉用水等各標的使用。當逕流量過多而超過吾人需要量時則不加攔蓄，並任其奔流入海。當逕流量過少而不足吾人所需時則洩溢必計。所以逕流的發生時間以及逕流量的多寡，一直是水文學者及水利工程師最感興趣的焦點。因為當逕流量過多時，吾人要盡速且安全地將它排除，此為防洪問題。而當逕流量不足時，吾人則要節約用水以渡過難關，是為救旱課題。

既然逕流量的多寡影響人類生活至巨，我們必須在逕流來臨之前，預先估算其量，才能趨吉避凶。把適度的逕流留下，將過剩的逕流排除。為了達到這個目標，逕流量的量測是最基本的工作。但是逕流量的量測難度較高，且不易準確。這是因為逕流量不是直接量測，而是間接量測溪河水位、通水面積及水流速度，以建立溪河水位及流量的關係曲線。但由於溪河的通水面積會受到底床沖淤影響而變化較大，而且水流速度之量測也是配合通水面積之大小，採抽樣量測所致。

但是逕流量的源頭，降雨量的量測精度就較高，因為降雨量的量測方法簡易而準確。最重要的是降雨發生時間早於逕流，可以讓我們有較充裕時間因應逕流之變化。所以由降雨量之觀測數據，再經由降雨量及逕流量之關係率定曲線(rating curve)，間接去模擬(simulation)逕流量。在這整個過程，降雨量及逕流量的關係率定就是最核心的研究重點。

在水文學領域，率定降雨量及逕流量關係的數理方法，包括單位歷線法(unit hydrograph)、水筒模式法(tank model)、貯蓄函數法(storage function)及 HEC-1 模式法等。

其中單位歷線法屬於線性，水筒模式法及貯蓄函數法屬於非線性，HEC-1 模式法則又與河川洪水演算(flood routing)相結合。水文分析者在實務應用上，可視所能蒐集到的降雨量及逕流量資料多寡，以及分析演算之目的，再決定採用何種方法。

早期的優選數理模型，如線性最佳化(linear optimization)、非線性最佳化(nonlinear optimization)，皆已廣泛應用在各領域。基因演算法(genetic algorithms)是新一代優選理論，係仿倣生物進化之優勝劣敗，以求得最佳結果。目前已有很多研究成果，其發展潛力無窮。在水利領域之應用，大多在優選水庫操作規線(operation rule curves)。如陳莉(2000)優選淡水河流域翡翠水庫操作規線，以缺水指數達到最小值為目標函數，優選全年 36 旬，每一旬水庫蓄水位之上限、下限、嚴重下限之標高值。洪益發及梁昇(2002)以基因演算法優選水資源調配策略，包括優選攔河堰之蓄水容量(volume)及水庫與攔河堰對外供水幹管容量(capacity)。Oliveira and Loucks(1997)以基因演算法優選多水庫操作策略(multireservoir operating policies)，以滿足系統放水量與系統內各個水庫蓄水量為目標函數。Wardlaw and Sharif(1999)以基因演算法優選四座水庫聯合運轉之即時操作策略(real time operations)，並納入序率繁衍流量(stochastically generated inflows)，最後將優選成果再擴大應用到十座水庫的大系統。

本研究以單位歷線法率定集水區降雨量及逕流量關係，採用基因演算法優選流量單位歷線。研究案例之水文資料，引用台灣中部地區大安溪流域雪嶺雨量站及象鼻水位站在兩場颱風期間之小時降雨量及小時逕流量觀測數據。

## 單位歷線

由美國學者 L. K. Sherman (1932) 提出，假設集水區降雨均勻，由單位降雨延時降下的雨量，在集水區造成單位直接逕流水深，在這種水文情況下，於集水區出口之流量歷線，謂之單位歷線。上述之直接逕流，係將總逕流量扣減基流量之後，純為在地表面流動之水量，亦稱為有效逕流量。

由於單位歷線是由單位降雨量及單位逕流水深，所產生在集水區出口之流量歷線。該歷線是一個最小單元之流量歷線，所以可使用疊加原理，將其擴大應用於其他降雨量或其他逕流水深之情況，然後再疊加各小時之流量而成流量歷線。

單位歷線代表該集水區降雨量及逕流量之因果關係，所以兩者之數理關係一旦率定完成，即可以應用到集水區內其他的水文事件，甚為方便。雖然單位歷線的線性假設與真實集水區的水文現象未盡完全相同，但由於單位歷線的理論簡明易懂，且使用方便，所以應用很廣。

假設  $Q_n$  代表河川水位站之流量時間序列、 $P_m$  代表河川上游集水區降雨量，則由式(1)可求解流量單位歷線( $U_{n-m+1}$ )。式(1)稱為褶合方程式(convolution equation)。其中  $n$  是流量歷線之小時數， $m$  是降雨之小時數 ( $m$  從 1, 2, ...,  $M$ )。

$$Q_n = \sum_{m=1}^{n \leq M} P_m U_{n-m+1} \dots\dots\dots(1)$$

展開式(1)，結果如式(2)

$$Q_n = P_1 U_n + P_2 U_{n-1} + \dots + P_n U_1 \dots\dots(2)$$

### 基因演算法

如何設計系統之操作行為，以追求系統運轉結果得到最大獲利或最小損失，此為系統之優選或最佳化。系統之優選是經由系統行為已定義之目標函數(objective function)來引導完

成，所以系統目標函數之定義，決定系統優選方向與優選結果。

在基因演算法之前的優選理論，係將目標函數對於某變數取一次偏微分，此時若曲線之斜率為零，可得最大值或最小值。接著再對於此變數取二次偏微分，若二次偏微分值小於零，表示曲線開口朝下，則可得最大值。若二次偏微分值大於零，表示曲線開口朝上，則可得最小值。

基因演算法之優選理論，並不是將目標函數直接對於某變數取偏微分，而是間接對擬優選之變數同時以數個字串(string)表示，每一字串代表一個染色體(chromosome)，每一字串由相同個數的位元(bit)組成，字串的每一位元相當於染色體的基因(gene)。位元之數值為 0 或 1，並採二進位計算成實數。這些字串同時經由基因演算理論之進化(evolution)過程，依序進行複製(replacement)、交換(crossover)及突變(mutation)等基因演化步驟，即可得到下一代同樣數量之字串。此時再分別將各字串代入目標函數，可求得到各字串之目標函數值，由各目標函數值之比較，即可對於各字串汰弱留強。如此一再重複其進化演算，最後在歷經多次子代之演化，當其系統表現不再有進步時，可得到目標函數有最大值或最小值之字串，此字串即為系統之優選解。

求優選解的計算過程，可依圖 1 之流程逐步進行。

## 研究案例

### 1. 水文資料

水文資料採用台灣中部地區大安溪流域，雪嶺雨量站之時雨量及象鼻水位站之時流量觀測數據。颱風事件有兩場，寶莉颱風(民國 81 年)及提姆颱風(民國 83 年)，寶莉颱風用來優選流量單位歷線，提姆颱風則是作

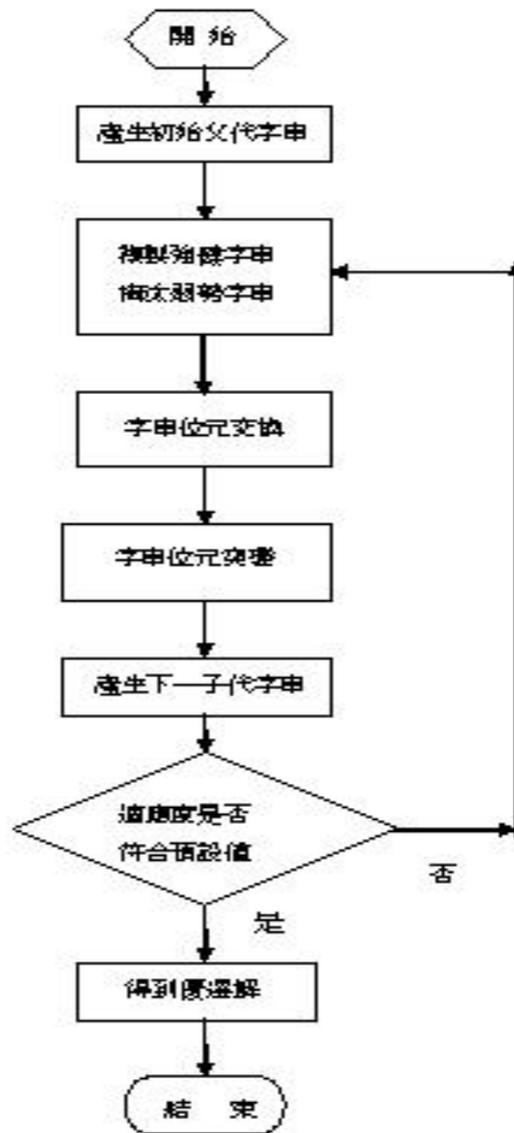


圖 1. 基因演算法優選求解流程

Figure 1. Flowchart of optimizing solution process with genetic algorithms.

為模式驗證之用。寶莉颱風之降雨量組體圖及逕流量歷線圖分示如圖 2 及圖 3，提姆颱風之降雨量組體圖及逕流量歷線圖則分示如圖 4 及圖 5。

## 2. 目標函數

目標函數可以引導系統在優選過程之方向，同時影響優選結果，是極為重要的控制數學式。惟目標函數並無特定之型態，如何定義，端視使用者之需要。

本研究優選之對象是流量單位歷線，再

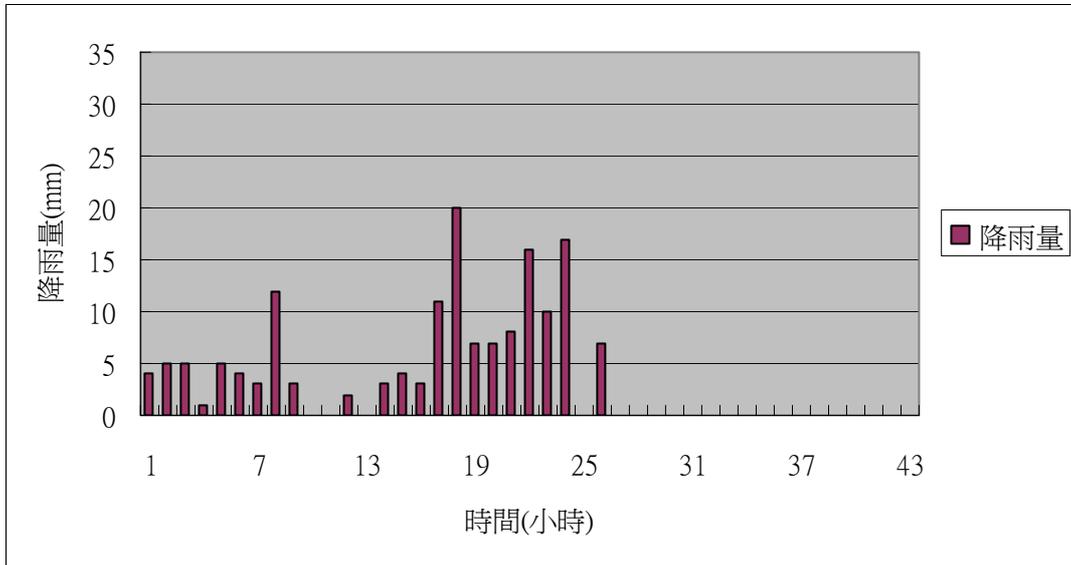


圖 2. 寶莉颱風降雨量組體圖  
Figure 2. Precipitation of Baoli typhoon.

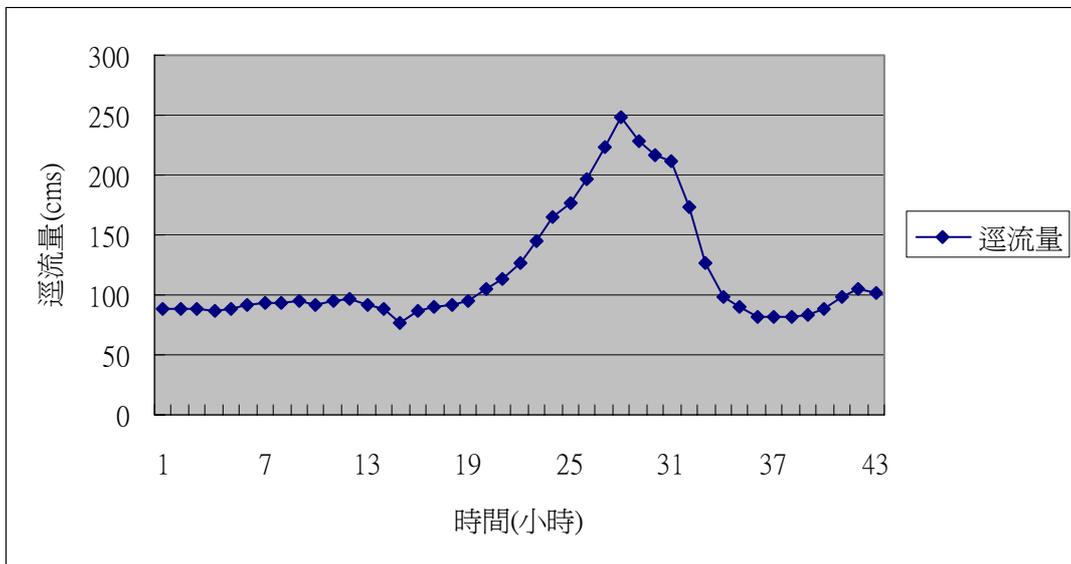


圖 3. 寶莉颱風逕流量歷線圖  
Figure 3. Hydrograph of Baoli typhoon.

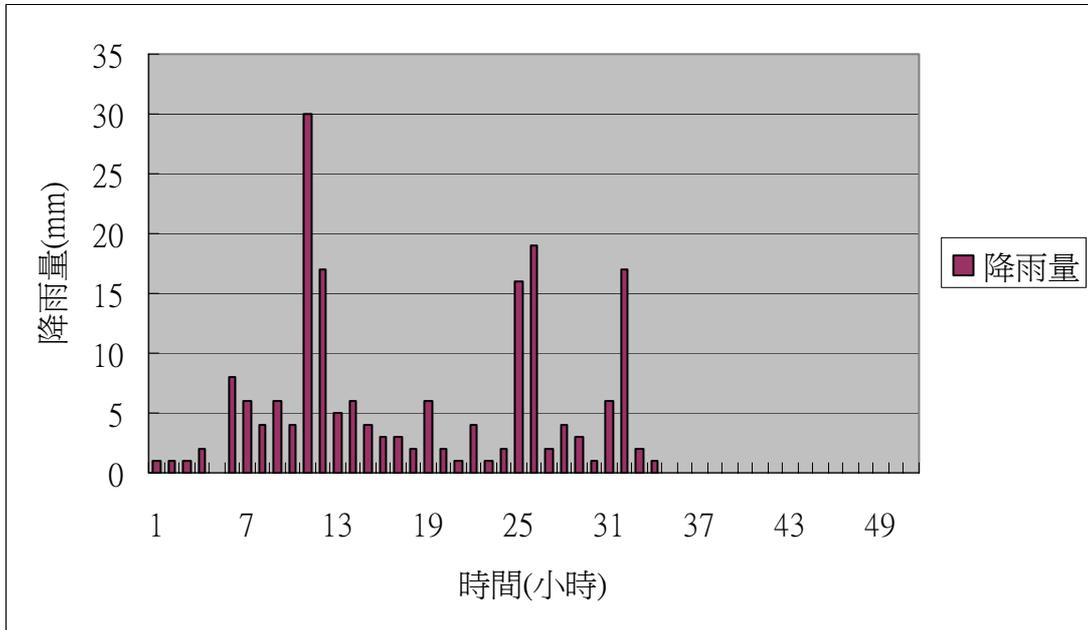


圖 4. 提姆颱風降雨量組體圖  
Figure 4. Precipitation of Timu typhoon.

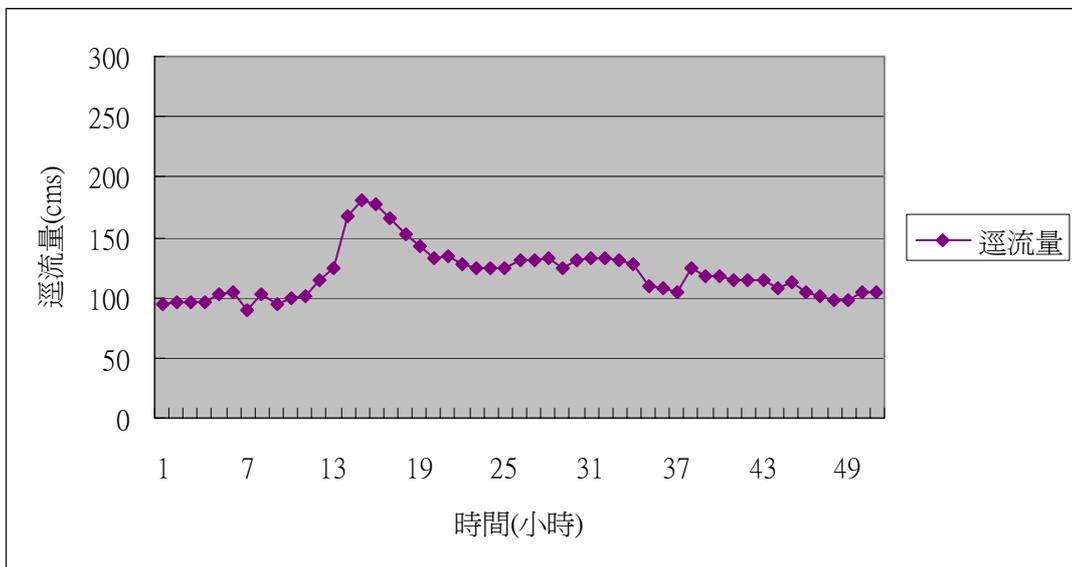


圖 5. 提姆颱風逕流量歷線圖  
Figure 5. Hydrograph of Timu typhoon.

經由降雨量及流量單位歷線褶合積分，求得流量歷線每一小時之流量值。所以目標函數定義為流量歷線各小時流量之計算值與觀測值的離差 (deviation)。離差愈小，目標函數值亦愈小。而優選過程即在尋找能擁有最小離差之目標函數值。目標函數式如下所示：

$$\text{Min. } f = |Q_{obs.} - Q_{sim.}| \dots\dots\dots (3)$$

式中

- Min.: 最小值
- f : 目標函數
- $Q_{obs.}$ : 流量歷線每小時觀測值
- $Q_{sim.}$ : 流量歷線每小時模擬值

在基因演化計算過程中，本研究設定初始父代及每一子代都有 10 個字串同步在進化，每 1 個字串皆可求得離差，此一離差是流量歷線各小時流量觀測值與模擬值相減，取其絕對值之合計。累加 10 個字串之離差，可得到初始父代及每一子代之總離差。基因演化計算過程是否停止，端看在各子代 10 個字串當中，最小離差字串與其下一子代最小離差字串之比較，若最小離差仍在持續減少中，則繼續進化演算。否則即停止演算，得到優選解。

### 3. 實數編碼

基因演算法之變數係以字串表示，而每一字串是由數個位元組成，位元之數值為 0 或與 1，並依二進位法計算字串之值，再將該字串之值依照某種映射(mapping)關係轉換成實數值，此即為字串之實數編碼。

假設擬優化之參數為 X，且該參數之下限值為 a，上限值為 b，參數之計算精度至小數點以下第 n 位數。則字串之位元數 m，可由下式計算而得。

$$2^{m-1} < (b - a) \times 10^n \leq 2^m - 1 \dots\dots\dots(4)$$

m 位元字串之二進位值，再由下式轉換映射至相對應之實數值 X。

$$X = a + \text{BINARY}_{string} \times \frac{b - a}{2^m - 1} \dots\dots\dots(5)$$

本研究優選過程之字串，其內容依序包括單位歷線各小時流量值及尖峰流量(peak)發生時間等多項參數。單位歷線各小時流量值之位元數，經式(4)計算結果為 6。單位歷線尖峰流量發生時間之位元數，經式(4)計算結果為 4。本研究假設單位歷線歷時 18 小時，所以在優選過程之字串長度總位元數為  $6 \times 18 + 4 = 112$ 。

### 4. 複製

本研究以 10 個字串同時進行汰弱留強之進化過程，將表現較弱勢的字串淘汰掉，並且複製表現較強健的字串取代之，隨時維持有 10 個字串在進行基因演算。至於表現好壞之評估指標，係根據每一個字串之實數值的適應度(fitness)。所謂適應度，即是字串實數值代入目標函數之計算結果。本研究要求最小離差，所以目標函數值愈小，表示適應度愈佳。

### 5. 交換

基因演算過程中的交換動作，是仿倣自然界生物進化，其物種需維持多樣性(diversity)，以適應環境之變異。其目的在使下一代字串更富強健性(robustness)，以求更佳之適應度。字串的交換是先由亂數選出部份字串參與交換，被選出之字串每兩個字串彼此交換部份位元，字串中那些位元參與交換，是由亂數決定。本研究之交換機率採用 0.6，亦即在 10 個同步進行基因演算的字串中，平均而言，會有 6 個字串有交換的機會。

### 6. 突變

突變是仿倣基因進化過程之突變現

象，其目的在避免所求之解陷入局部最佳解 (local optimal solution) 而無法跳出，藉由突變將其拉離局部最佳解，往整體最佳解 (global optimal solution) 趨近。由於自然界基因突變之機率不高，所以基因演算法之突變機率亦不能太高，本研究之突變機率採用 0.05，亦即每 100 個位元，平均僅有 5 個元有機會發生突變。經亂數決定發生突變之位

元，若其數值原本為 0，則突變後為 1。反之若其數值原本為 1，則突變後為 0。

### 7. 優選過程

以隨機亂數產生初始父代，此初始父代包括 10 個字串，各字串所代表的單位歷線示如表一及圖六。各字串之適應度亦示如表 1。

表 1. 初始父代 10 個字串相對應之流量單位歷線與字串被複製之機率

Table 1. Unit hydrographs from 10 strings and its replacement probability of first generation.

單位歷線 小時數	字 串 編 號									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.08	1.77	1.99	1.51	0.98	1.82	2.10	1.08	1.20	1.10
2	2.46	3.99	4.71	3.33	2.27	4.19	4.84	2.53	2.56	2.38
3	4.27	6.80	8.05	5.65	3.99	6.77	8.19	4.61	4.45	4.28
4	6.72	10.80	12.87	9.25	5.93	10.62	12.56	6.79	6.84	6.49
5	8.95	11.72	13.54	13.59	8.66	11.72	13.58	9.72	10.02	9.25
6	12.73	16.12	17.95	11.84	11.93	15.44	18.09	13.41	14.15	12.63
7	17.00	10.81	12.59	16.41	16.28	10.93	12.75	18.54	17.76	16.89
8	23.55	7.74	8.41	11.35	21.75	7.25	8.46	25.21	12.15	22.87
9	12.67	5.10	6.06	7.70	11.72	5.17	5.72	13.54	15.98	12.67
10	17.23	3.38	3.93	5.04	14.92	3.34	4.05	16.92	11.11	15.76
11	11.43	2.36	2.58	3.33	10.11	2.26	2.78	11.52	6.97	10.94
12	7.08	1.55	1.67	2.19	6.60	1.50	1.81	7.80	4.54	7.51
13	4.82	0.95	1.13	1.37	4.52	1.00	1.10	4.93	3.04	4.53
14	2.96	0.63	0.68	0.85	2.57	0.58	0.71	3.07	1.85	2.85
15	1.70	0.37	0.44	0.55	1.55	0.37	0.44	1.80	1.19	1.83
16	0.99	0.21	0.23	0.30	0.88	0.21	0.23	1.08	0.64	0.98
17	0.47	0.10	0.12	0.14	0.47	0.10	0.11	0.55	0.31	0.48
18	0.19	0.04	0.05	0.06	0.16	0.04	0.04	0.20	0.13	0.19
適應度	754.57	923.55	895.27	876.50	777.23	930.55	895.17	738.50	792.57	762.07

複製機率	0.11	0.09	0.09	0.09	0.11	0.09	0.09	0.11	0.10	0.11
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

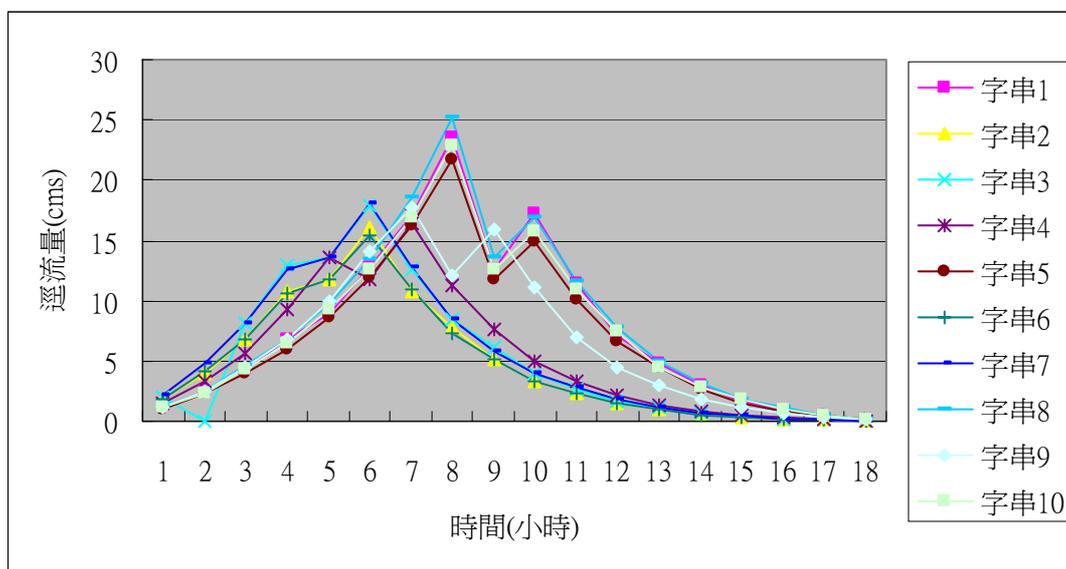


圖 6. 初始父代 10 個字串相對應之流量單位歷線  
 Figure 6. Unit hydrographs from 10 strings of first generation.

初始父代字串之複製是依據各字串適應度之大小決定，由於本研究是優選最小值，所以離差愈大的字串，其被複製的機率愈小。初始父代 10 個字串被複製的機率，經過計算結果亦如表 1 所示。接著再以亂數隨機挑選被複製字串，結果如下：編號 1 字串被複製 1 次、編號 3 字串被複製 1 次、編號 5 字串被複製 2 次、編號 7 字串被複製 2 次、編號 8 字串被複製 1 次、編號 9 字串被複製 1 次、編號 10 字串被複製 2 次。

編號 2、編號 4、編號 6 等三個字串被淘汰，複製之後初始父代各字串之代表值與複製前之比較示如表 2。

續以隨機亂數挑選初始父代內將要進行交換之字串，結果挑出第 1 字串與第 2 字串在第 38 位元(含) 以後之位元互相交換、第 4 字串與第 5 字串在第 96 位元(含) 以後

之位元互相交換。交換之後初始父代各字串之代表值與交換前之比較示如表 3。

最後以隨機亂數挑選初始父代內各字串發生突變之位元，結果在全部 10 個字串，總計 1120 位元。有 56 個位元數發生突變，突變之後初始父代各字串之代表值示如表 4。此時之字串係由初始父代演化而來，稱為第一子代。

因為初始父代及每一子代均維持 10 個字串在進行演化計算，而每一「代」之 10 個字串經過演化計算結果，都有其不同的適應度。由於本研究是在尋找最小離差，所以就在每一「代」挑選適應度最小的字串代表當「代」的優選解。如果「下一代」的優選解與「上一代」的優選解比較，還維持在繼續收斂狀態，則演化計算就持續進行。但假如「下一代」的優選解比「上一代」的優選

解發散，且其發散程度達到 5%以上，則停止演化計算，結束優選過程，「上一代」的優選解即為最後的答案。此即為本研究判斷優選過程是否結束的「預設標準」，至於如何決定預設標準，並無制式規定，端視使用者之需要而定。

若第一子代之適應度已經符合預設標準，則其為優選解。否則仍須再重複上述同樣的複製、交換、突變等步驟，依序得到第二子代字串、第三子代字串、……，直至優

選完成。本研究在第四子代得到符合預設標準之優選解，優選子代 10 個字串相對應之流量單位歷線示如表 5。

### 8. 優選結果

本研究經由基因演算法優選，在第四子代得到寶莉颱風流量單位歷線之優選解，示如圖 7。將寶莉颱風各小時降雨量代入優選流量單位歷線計算，可得到寶莉颱風逕流量模擬值，茲將寶莉颱風逕流量觀測值及模擬值示如表 6，並繪圖比較如圖 8。由圖 8 可

表 2. 初始父代 10 個字串複製後之流量單位歷線

Table 2. After replacement , unit hydrographs from 10 strings of first generation.

單位歷線 小時數	字 串 編 號									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2.10	1.99	0.98	1.10	1.10	2.10	0.98	1.08	1.20	1.08
2	4.84	4.71	2.27	2.38	2.38	4.84	2.27	2.46	2.56	2.53
3	8.19	8.05	3.99	4.28	4.28	8.19	3.99	4.27	4.45	4.61
4	12.56	12.87	5.93	6.49	6.49	12.56	5.93	6.72	6.84	6.79
5	13.58	13.54	8.66	9.25	9.25	13.58	8.66	8.95	10.02	9.72
6	18.09	17.95	11.93	12.63	12.63	18.09	11.93	12.73	14.15	13.41
7	12.75	12.59	16.28	16.89	16.89	12.75	16.28	17.00	17.76	18.54
8	8.46	8.41	21.75	22.87	22.87	8.46	21.75	23.55	12.15	25.21
9	5.72	6.06	11.72	12.67	12.67	5.72	11.72	12.67	15.98	13.54
10	4.05	3.93	14.92	15.76	15.76	4.05	14.92	17.23	11.11	16.92
11	2.78	2.58	10.11	10.94	10.94	2.78	10.11	11.43	6.97	11.52
12	1.81	1.67	6.60	7.51	7.51	1.81	6.60	7.08	4.54	7.80
13	1.10	1.13	4.52	4.53	4.53	1.10	4.52	4.82	3.04	4.93
14	0.71	0.68	2.57	2.85	2.85	0.71	2.57	2.96	1.85	3.07
15	0.44	0.44	1.55	1.83	1.83	0.44	1.55	1.70	1.19	1.80
16	0.23	0.23	0.88	0.98	0.98	0.23	0.88	0.99	0.64	1.08
17	0.11	0.12	0.47	0.48	0.48	0.11	0.47	0.47	0.31	0.55

18	0.04	0.05	0.16	0.19	0.19	0.04	0.16	0.19	0.13	0.20
----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

表 3. 初始父代 10 個字串交換後之流量單位歷線

Table 3. After crossover , unit hydrographs from 10 strings of first generation.

單位歷線 小時數	字 串 編 號									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2.10	1.99	0.98	1.10	1.10	2.10	0.98	1.08	1.20	1.08
2	4.84	4.71	2.27	2.38	2.38	4.84	2.27	2.46	2.56	2.53
3	8.19	8.05	3.99	4.28	4.28	8.19	3.99	4.27	4.45	4.61
4	12.56	12.87	5.93	6.49	6.49	12.56	5.93	6.72	6.84	6.79
5	13.58	13.54	8.66	9.25	9.25	13.58	8.66	8.95	10.02	9.72
6	18.09	17.95	11.93	12.63	12.63	18.09	11.93	12.73	14.15	13.41
7	12.95	12.39	16.28	16.89	16.89	12.75	16.28	17.00	17.76	18.54
8	8.43	8.43	21.75	22.87	22.87	8.46	21.75	23.55	12.15	25.21
9	6.08	5.70	11.72	12.67	12.67	5.72	11.72	12.67	15.98	13.54
10	3.94	4.04	14.92	15.76	15.76	4.05	14.92	17.23	11.11	16.92
11	2.59	2.77	10.11	10.94	10.94	2.78	10.11	11.43	6.97	11.52
12	1.67	1.80	6.60	7.51	7.51	1.81	6.60	7.08	4.54	7.80
13	1.13	1.10	4.52	4.53	4.53	1.10	4.52	4.82	3.04	4.93
14	0.68	0.70	2.57	2.85	2.85	0.71	2.57	2.96	1.85	3.07
15	0.44	0.44	1.55	1.83	1.83	0.44	1.55	1.70	1.19	1.80
16	0.23	0.23	0.88	0.98	0.98	0.23	0.88	0.99	0.64	1.08
17	0.12	0.11	0.47	0.48	0.48	0.11	0.47	0.47	0.31	0.55
18	0.05	0.04	0.16	0.19	0.19	0.04	0.16	0.19	0.13	0.20

表 4. 初始父代 10 個字串突變後之流量單位歷線

Table 4. After mutation , unit hydrographs from 10 strings of first generation.

單位歷線 小時數	字 串 編 號									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2.10	1.90	0.98	1.10	1.10	2.10	0.97	1.08	1.20	1.08
2	4.84	4.55	2.27	2.38	2.38	4.84	2.27	2.47	2.56	2.53
3	8.24	7.65	3.99	4.23	4.28	8.19	3.99	4.27	4.45	4.61
4	12.56	12.23	5.93	6.49	6.49	12.56	5.93	6.72	6.84	6.62
5	13.58	12.90	8.68	9.25	9.25	13.58	8.66	8.95	10.02	9.73
6	18.09	17.11	11.93	12.61	12.59	18.09	11.93	12.73	14.15	13.32
7	12.95	11.81	16.28	16.89	16.89	12.75	16.28	17.00	17.76	18.54
8	8.43	8.04	21.75	22.87	22.87	8.46	21.75	23.55	12.15	25.13
9	6.08	5.44	11.72	12.67	12.67	5.87	11.72	12.67	15.98	13.54
10	3.94	3.85	14.94	15.97	15.76	4.05	14.92	17.23	11.10	16.92
11	2.59	2.65	10.11	10.91	11.01	2.78	10.07	11.15	6.97	11.52
12	1.67	1.72	6.60	7.51	7.51	1.81	6.60	7.08	4.54	7.80
13	1.13	1.04	4.52	4.53	4.53	1.10	4.52	4.82	3.06	4.91
14	0.70	0.67	2.57	2.85	2.85	0.71	2.56	2.96	1.85	3.07
15	0.44	0.42	1.63	1.83	1.83	0.44	1.55	1.70	1.19	1.80
16	0.23	0.22	0.87	0.95	0.98	0.23	0.88	0.99	0.62	1.08
17	0.12	0.11	0.47	0.48	0.48	0.11	0.47	0.47	0.31	0.55
18	0.05	0.04	0.16	0.19	0.19	0.04	0.16	0.19	0.13	0.20
適應度	873.03	904.86	745.73	721.54	762.22	894.41	747.48	754.84	792.66	738.78

表 5. 優選子代 10 個字串相對應之流量單位歷線  
 Table 5. Unit hydrographs from 10 strings of optimal generation.

單位歷線 小時數	字 串 編 號									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1.11	1.99	1.04	1.22	1.08	1.06	2.08	1.12	1.08	1.89
2	2.53	4.59	2.51	2.67	2.61	2.29	4.79	2.45	2.47	4.55
3	4.38	7.83	4.26	4.58	4.41	4.07	8.12	4.36	4.28	7.60
4	6.89	11.67	6.42	6.77	6.68	6.25	12.22	6.58	6.72	12.23
5	9.17	9.68	9.45	10.15	9.89	8.91	8.66	9.68	8.95	9.25
6	13.05	17.91	12.93	14.47	13.59	12.12	18.68	12.90	12.73	17.11
7	17.31	12.42	18.00	18.53	17.92	16.36	12.88	17.51	17.00	11.81
8	23.55	8.42	24.40	22.83	22.38	21.74	8.78	24.98	23.55	7.88
9	5.44	5.38	6.06	15.80	15.80	5.87	5.99	0.00	5.44	5.44
10	16.53	3.95	16.43	10.60	16.37	16.08	4.06	17.72	16.39	3.85
11	11.16	2.59	11.19	7.24	11.22	11.05	2.61	11.46	11.15	2.52
12	7.31	1.63	7.75	4.80	7.23	7.19	1.71	7.95	7.12	1.72
13	5.00	1.10	4.77	3.24	4.65	4.59	1.17	4.88	4.82	1.04
14	2.83	0.68	2.98	1.84	2.92	2.84	0.66	3.06	2.96	0.67
15	1.73	0.39	1.75	1.12	1.87	1.76	0.40	1.79	1.70	0.42
16	0.97	0.23	1.05	0.63	0.98	0.92	0.23	1.07	0.99	0.22
17	0.52	0.11	0.52	0.32	0.50	0.45	0.12	0.54	0.47	0.11
18	0.18	0.04	0.19	0.12	0.19	0.17	0.04	0.20	0.18	0.04
適應度	724.83	875.53	714.50	662.10	670.49	742.96	869.70	744.12	728.68	881.50

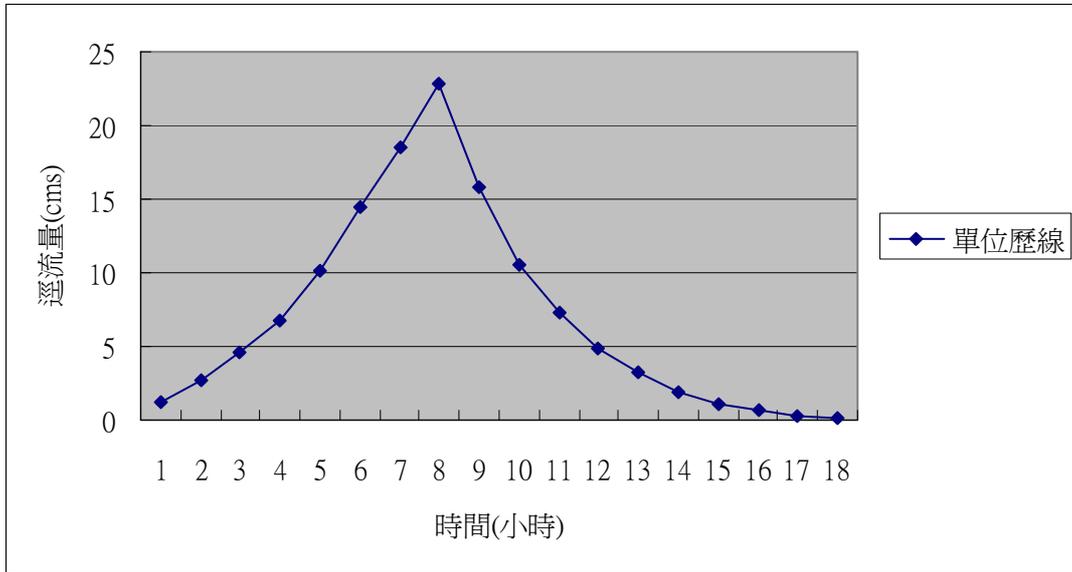


圖 7. 流量單位歷線優選結果  
Figure 7. Optimal unit hydrograph.

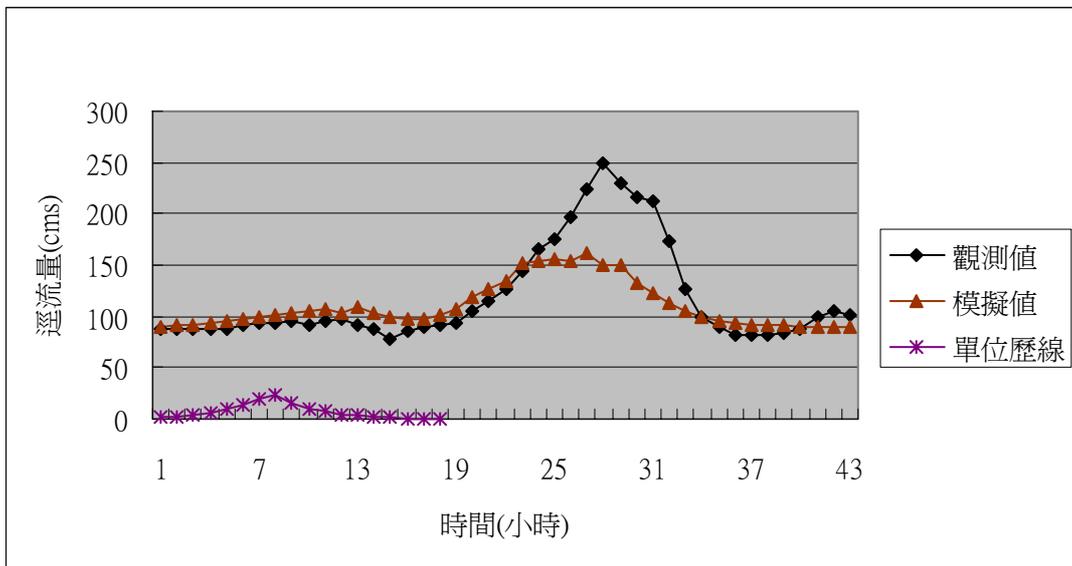


圖 8. 寶莉颱風逕流量模擬值及觀測值比較圖  
Figure 8. Comparison between simulated and observed runoff of Baoli typhoon.

表 6. 寶莉颱風與提姆颱風逕流量觀測值及模擬值比較表(一)

Table 6. Comparison between observed and simulated runoff of Baoli typhoon and Timu typhoon.

時間 (hr)	寶 莉 颱 風			提 姆 颱 風		
	降雨量觀 測值 (mm)	逕流量觀 測值(m <sup>3</sup> /sec)	逕流量模 擬值(m <sup>3</sup> /sec)	降雨量觀 測值 (mm)	逕流量觀 測值(m <sup>3</sup> /sec)	逕流量模 擬值(m <sup>3</sup> /sec)
1	4	87.8	90.21	1	94.0	90.00
2	5	88.6	90.89	1	95.6	90.00
3	5	87.8	92.14	1	95.6	90.00
4	1	87.0	93.71	2	95.6	90.00
5	5	88.6	95.31	0	102.0	90.00
6	4	91.9	97.31	8	105.2	90.61
7	3	92.7	98.89	6	90.0	91.70
8	12	92.7	102.26	4	102.8	93.22
9	3	95.2	102.28	6	94.4	95.39
10	0	91.0	104.96	4	99.2	98.49
11	0	95.4	107.64	30	101.9	105.88
12	2	97.1	102.87	17	114.0	116.03
13	0	91.5	109.86	5	124.0	128.50
14	3	88.5	103.63	6	167.0	137.55
15	4	87.3	99.45	4	181.0	148.05
16	3	86.2	96.69	3	178.0	163.36
17	11	90.2	96.63	3	165.0	177.46
18	20	92.2	101.22	2	152.0	192.73
19	7	94.2	107.69	6	142.0	179.66
20	7	105.0	118.57	2	133.0	156.71
21	8	114.0	125.99	1	134.0	139.90
22	16	127.0	134.96	4	127.0	125.74
23	10	145.0	152.92	1	125.0	115.73
24	17	165.0	152.94	2	125.0	108.86
25	0	176.2	155.11	16	124.0	106.38
26	7	197.0	153.75	19	131.0	108.43
27		224.0	161.11	2	131.0	109.27
28		249.0	150.09	4	133.0	112.69
29		229.0	150.90	3	124.0	119.28
30		217.0	131.94	1	131.0	128.72

洪益發、梁昇：以基因演算法優選流量單位歷線

31		212.0	123.14	6	133.0	140.38
32		174.0	112.20	17	133.0	154.12

表 6. 寶莉颱風與提姆颱風逕流量觀測值及模擬值比較表(二)

Table 6. Comparison between observed and simulated runoff of Baoli typhoon and Timu typhoon.

33		127.0	104.68	2	131.0	154.45
34		98.4	99.55	1	127.0	139.87
35		90.2	96.04		110.0	131.45
36		80.9	93.85		107.0	128.11
37		80.9	92.25		104.0	128.84
38		80.9	91.37		125.0	131.11
39		83.5	90.72		118.0	131.58
40		88.2	90.36		118.0	118.23
41		98.4	90.15		115.0	108.61
42		105.0	90.05		114.0	102.34
43		101.0	90.02		115.0	97.95
44					107.0	95.12
45					112.0	92.92
46					104.0	91.75
47					101.0	90.98
48					97.6	90.48
49					97.6	90.16
50					104.0	90.00
51					104.0	90.00

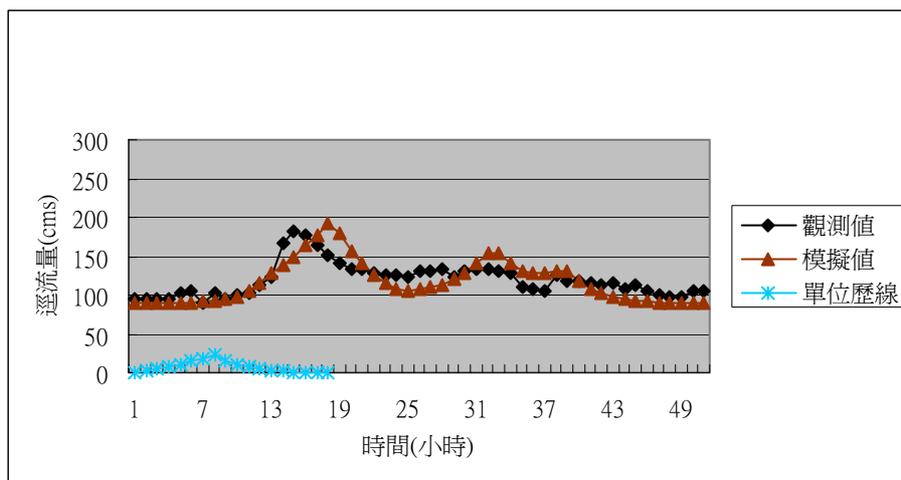


圖 9. 提姆颱風逕流量模擬值及觀測值比較圖

Figure 9. Comparison between simulated and observed runoff of Timu typhoon.

以看出，寶莉颱風逕流量模擬值在尖峰流量及其前後，與觀測值差距較大。其餘部份之模擬值與觀測值大致相符。

再將提姆颱風各小時降雨量代入優選流量單位歷線計算，可得到提姆颱風逕流量模擬值，並將提姆颱風逕流量觀測值及模擬值示如表 6，並繪圖比較如圖九。由圖九顯示，提姆颱風逕流量模擬值之趨勢大致上與觀測值相符，應用成果尚佳。

至於為何寶莉颱風逕流量模擬值與觀測值，在尖峰流量及其前後之差距較大，可能原因有二：降雨量或逕流量之觀測誤差、降雨量與逕流量之率定關係未能完全符合單位歷線之線性假設。對於這些可能原因或其他不明原因，本研究計畫於下一階段繼續探討，以使基因演算法在優選流量單位歷線之理論與應用更為紮實。

### 結語

1. 由本研究結果，可以優選單位歷線各小時之流量值及尖峰流量之發生時間。再應用到以後的水文事件，由已知降雨量，去模擬逕流量歷線。
2. 基因演算法是優選法的有效工具之一，尤其是與電腦的快速運算能力結合之後，其應用效果更是優於傳統的優選方法，值得推廣利用。
3. 目標函數之定義可以引導系統參數優選之方向，不同的定義將導致不同的優選結果。所以在應用優選法時，要特別注意目標函數之定義，使其符合解題之需要。

### 參考文獻

1. 葉昭憲 (1996) 「改善基因演算之文獻回顧」台灣水利，第四十四卷，第一期，pp92-105。
2. 徐義人 (1996) 「應用水文學」大中國圖書公司，pp371-417。
3. 陳莉 (2000) 「遺傳演算法與其應用於優選翡翠水庫規線之研究」台灣水利，第四十八卷，第一期，pp48-58。
4. 洪益發、梁昇 (2002) 「應用基因演算法優選水資源調配策略」台灣水利，第五十卷，第二期，pp59-68。
5. Bedient, Philip B., and Wayne C. Huber (1998) "Hydrology and Floodplain Analysis" Addison-Wesley Publishing Company, pp.79-95.
6. Chow, Ven Te, David R. Maidment, and Larry W. Mays (1988) "Applied Hydrology" McGraw-Hill International Editions, pp.201-236.
7. Gen, Mitsuo, and Runwei Cheng (1997) "Genetic Algorithms and Engineering Design" John Wiley & Sons, Inc.
8. Oliveira, Rodrigo and Daniel P. Loucks (1997) "Operation Rules for Multireservoir Systems" Water Resource Re-search, Vol.33, No.4, pp.839-852.
9. Wardlaw, Robin, and Mohd Sharif (1999) "Evaluation of Genetic Algorithms for Optimal Reservoir System Operation" Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 125, No.1, pp. 25-33.

92年09月24日 收稿  
92年10月28日 修改

洪益發、梁昇：以基因演算法優選流量單位歷線

92年12月09日 接受