

試驗報告第 316 號  
BULLETIN No. 316

# 蓮華池試驗集水區水平衡初步研究

楊炳炎 盧惠生 漆陞忠



A Preliminary Study on the Water Balance in  
Lien-hua-chi Experimental Watersheds

by

B. Y. Yang, H. S. Lu, S. C. Chi

臺灣省林業試驗所

臺灣臺北

中華民國六十七年十一月

TAIWAN FORESTRY RESEARCH INSTITUTE

Taipei, Taiwan, Republic of China

November 1978



# 蓮華池試驗集水區水平衡初步研究

楊炳炎 盧惠生 漆陞忠

## A Preliminary Study on the Water Balance in Lien-hua-chi Experimental Watersheds

by

B. Y. Yang, H. S. Lu, S. C. Chi

### 提 要 (Abstract)

本文係選用蓮華池試驗集水區，民國63年11月至64年10月之水文資料，探討集水區水文年內之水供給盈虧狀況，由於部份水文資料不易觀測獲得，致水平衡因子之蒸發散量，藉桑懷特 (Thornthwaite) 氏蒸發散公式推估，並根據實測水文觀測值修正，然後以水平衡之理論探討集水區內的供給狀況。

根據所獲結果顯示，蓮華池各試驗集水區之年降雨量約2,000—2,500公厘，年流量約660—1,245公厘，年蒸發散量約1,195—1,646公厘，年地下水涵蓄調節量約13—35公厘，年土壤水分涵蓄調節量約269—423公厘，至於旱濕季之劃分，如以最低土壤含水量為判定標準，則可以每年三月一日為水文年之起始日，而以翌年二月二十八日為終結日。

### 一、緒 言 (Introduction)

本省坡度在55%以上之面積約佔全省總面積之百分之四十，河川短而急，枯洪流量相差甚大。又坡地土壤淺薄，有機質含量低，土壤滯蓄水分能力甚弱<sup>(1)</sup>，復因臺灣地處亞熱帶，氣溫高，日射量大，致山區森林密佈之地區，蒸發散量甚巨。雨量分佈亦不均勻，多集中於夏季之颱風雨與雷雨，雨量多且強度大。

雖然本省年雨量在2,400—2,500公厘間，雨量極為充沛<sup>(2)</sup>，然受氣候與地形之限制，致絕大部份之水分耗損流失，導致夏秋之季洪水氾濫而春季則有給水匱乏現象，影響本省農業發展與工業建設甚大，因而水文與水資源開發利用之研究刻不容緩。

本研究係以集水區為單元，探討水平衡式 (Water balance equation) 各因子間的關係<sup>(3) (4)</sup>，以為水資源開發利用之參考。唯水平衡式各項因子中，土壤水分變化及蒸發散量不易觀測，今以桑懷特氏 (Thornthwaite) 之蒸發散量推估式<sup>(5) (6)</sup>，推估蒸發散量，並根據實測水文觀測值修正，置於水平衡式內探討水供給盈虧狀況。本文承蒙集水區經營專家林淵霖先生提供寶貴意見，王文賢先生協助繪圖，謹此一併致謝。

### 二、材料與方法 (Materials and Methods)

#### (一) 資料來源

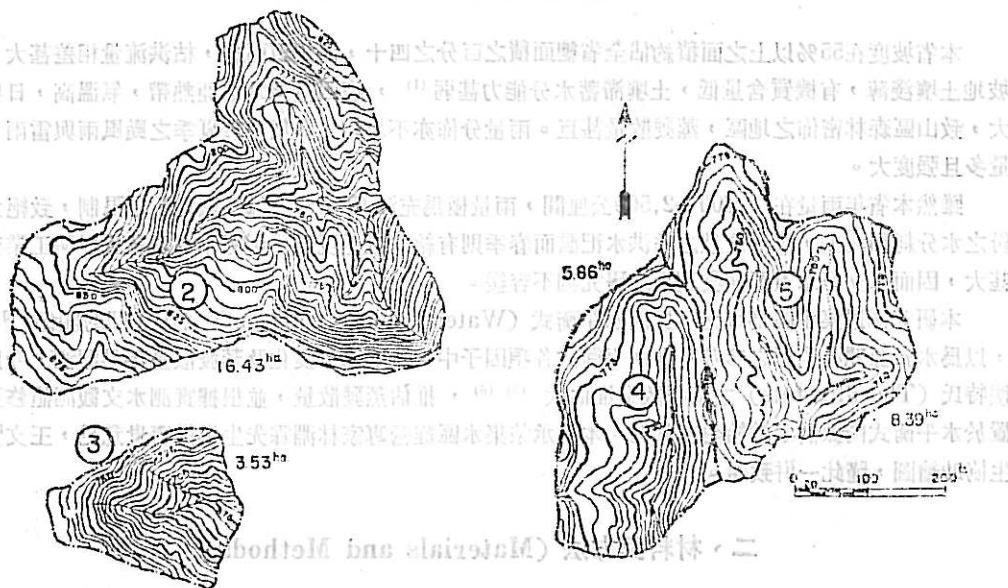
本文所採用之資料，取自南投縣魚池鄉蓮華池試驗集水區氣象觀測站觀測之氣溫資料，各試驗集

水區雨量觀測站觀測之降雨量資料及各試驗集水區量水堰觀測之流量資料。其中蓮華池一號試驗集水區因受到區外地下水流入至區內之影響，形成不正常之流量大於雨量情形，致捨棄一號試驗集水區之資料，僅採用蓮華池二號至五號四個試驗集水區資料以爲分析探討。

茲將蓮華池四個試驗集水區地文概況略示如表一及圖一。

表一 蓮華池試驗集水區地文概況

試驗集水區編號		2	3	4	5
項	目				
集水區面積	A (公頃)	16.43	3.40	5.86	8.39
集水區周長	C (公尺)	1,910.0	780.0	1000.0	1300.0
溪流長度	L (公尺)	500.0	290.0	385.0	435.0
平均寬度	A/L (公尺)	328.68	119.20	152.20	192.90
形狀係數	A/L <sup>2</sup>	0.66	0.40	0.40	0.44
集中度	$\sqrt{\pi A/C}$	0.38	0.84	0.86	0.79
平均坡度	Sg (%)	55.7	69.0	39.9	41.4
平均高度	(公尺)	812.08	723.60	763.90	757.3
最高高度	(公尺)	889.1	781.5	797.7	788.0
最低高度	(公尺)	726.0	666.0	728.0	735.0
平均方位		N24°10'E	S86°21'E	S07°35'E	S65°33'E
土地林	壤質況	趨紅化之黃壤 新生代第三紀砂岩頁岩 亞熱帶天然闊葉樹林			



圖一 蓮華池試驗區地形略圖

表二 蓮華池試驗集水區氣溫、雨量、流量 (民國63年11月~64年10月)

地點	項目	1974												1975					合計					
		11						12						1	2	3	4	5		6	7	8	9	10
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5		6	7	8	9	10
氣 象 站	氣 溫 (°C)	19.6	17.9	14.7	15.6	17.1	20.6	21.8	22.4	23.0	23.4	22.9	22.5											
	日 照 時 數 (hr)	141.7	117.9	116.5	129.2	76.8	180.6	86.8	86.5	182.4	127.5	152.8	158.0											
2 號 試 驗 集 水 區	雨 量 (mm)	6.92	19.99	63.30	32.07	196.57	170.11	253.0	796.7	382.95	270.17	136.23	151.40	2479.01										
	流 量 (mm)	36.41	20.19	15.99	9.74	22.05	39.39	84.39	524.82	229.96	144.89	58.98	58.36	1245.17										
3 號 試 驗 集 水 區	雨 量 (mm)	7.48	19.96	63.14	32.49	137.02	253.01	353.0	799.59	338.45	286.48	124.55	164.71	2579.88										
	流 量 (mm)	23.83	9.07	6.79	3.26	7.68	19.56	57.33	475.58	167.53	96.39	31.65	35.11	933.78										
4 號 試 驗 集 水 區	雨 量 (mm)	6.50	16.31	59.86	33.44	168.34	210.20	328.70	489.94	186.45	250.50	101.93	169.40	2021.57										
	流 量 (mm)	36.70	21.78	9.31	1.34	9.91	27.80	71.73	276.84	77.10	68.84	19.47	39.50	660.34										
5 號 試 驗 集 水 區	雨 量 (mm)	6.46	19.68	62.60	31.78	177.23	129.07	327.25	657.54	351.42	292.69	103.26	169.286	2328.26										
	流 量 (mm)	16.90	4.94	0.26	0.44	12.66	14.56	97.33	490.82	210.49	186.09	37.16	60.93	1132.65										

氣溫、雨量、流量等資料選用蓮華池試驗集水區民國63年11月至64年10月之實測數據，茲列如表

(二) 分析方法

水平衡方程式：

$$P=Q+ET\pm\Delta S\pm\Delta G\cdots\cdots\cdots(1)$$

P：年降雨量

Q：年逕流量

ET：年蒸發散量

$\Delta S$ ：年土壤含水量變化

$\Delta G$ ：年地下水水量變化

(1) 式中，P 與 Q 可由雨量計及量水堰水位計獲知，唯 ET、 $\Delta S$  及  $\Delta G$  不易觀測，致現 ET 依 Thornthwaite 氏提出之蒸發散量推估式求出。

Thornthwaite 氏蒸發散量推估式

$$ET = \sum_{i=1}^{12} ET_i \cdots\cdots\cdots(2)$$

$$ET_i = 1.6 \cdot b \cdot \left( \frac{10t}{TE} \right)^a \cdots\cdots\cdots(3)$$

$$TE = (t/5)^{1.514} \cdots\cdots\cdots(4)$$

$$a = 6.75 \times 10^{-7} (TE)^3 - 7.71 \times 10^{-5} (TE)^2 + 17.92 \times 10^{-3} (TE) + 0.49239 \cdots\cdots(5)$$

t：月平均氣溫 (°C)

TE：各月桑懷特溫係指數 (Thornthwaite's temperature-efficiency index)

$ET_i$ ：各月蒸發散量，單位為 cm

a：修正指數

b：緯度及月份因子修正係數

b 值可由 Criddle 氏所作 Thornthwaite equation 之 b 值修正表查出，如表三。

表三 桑懷特氏蒸發散量推估式之 b 值修正表

月份 緯度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0°	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.00
10°	1.00	0.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
20°	0.95	0.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	0.93	0.94
30°	0.90	0.89	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
35°	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85
40°	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.83	0.81
45°	0.80	0.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.76
50°	0.74	0.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	0.92	0.76	0.70

將表三之值，以內插法推算緯度23°56' 蓮華池試驗集水區之 b 值，其結果如表四。

表四 蓮華池試驗集水區之桑懷特氏蒸發散量推估式 b 值修正值

月份 緯度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
23°56'	0.93	0.89	1.03	1.06	1.15	1.13	1.16	1.12	1.06	0.99	0.91	0.92

至於 (1) 式中之  $\Delta S$  與  $\Delta G$ ，如以一水文年而言，應保持恆定，則  $\Delta S$  與  $\Delta G$  可由 (1) 式中消去，唯本研究之 ET 值為估算值，必然與實際觀測值有出入，茲將 (1) 式修正為，

$$(3) \dots P=Q+ET \pm \Delta E \dots \dots \dots (6)$$

$\Delta E$ ：估算蒸發散量產生之誤差值

由 Thornthwaite 法推估之月蒸發散量，需經修正，以消去  $\pm \Delta E$  之誤差值，而符合水平衡式，其修正法如次：

$$ET_{ci} = \frac{ET \pm \Delta E}{ET} \cdot ET_i = f ET_i \dots \dots \dots (7)$$

$$ET_c = \sum_{i=1}^{12} ET_{ci} \dots \dots \dots (8)$$

ET：全年蒸發散量

ET<sub>c</sub>：全年修正後蒸發散量

ET<sub>i</sub>：各月蒸發散量

ET<sub>ci</sub>：各月修正後蒸發散量

f：修正係數  $f = \frac{ET \pm \Delta E}{ET}$

此時，(6) 式之水平衡式演變為：

$$P=Q+ET_c \dots \dots \dots (9)$$

(9) 式為藉用 Thornthwaite 氏蒸發散量推估式推估之 ET 值，經修正後，所形成之完整水文年為基準之水平衡方程式。如果以各月而論，當然 P 值不等於 Q+ET<sub>c</sub> 值，其產生之差異，即為各月之土壤水分與地下水位之變化，亦可謂天然集水區，未受人為活動擾亂時，由降水供給，經河溪流出及植生之蒸發散耗損，為天然集水區各月涵蓄水分之盈虧狀況。

故如以各月而言，(9) 式需考慮土壤水分與地下水之變化，即  $\Delta X_i$  值，則 (9) 式演變為：

$$P_i = Q_i + ET_{ci} \pm \Delta X_i \dots \dots \dots (10)$$

P<sub>i</sub>：月降雨量

Q<sub>i</sub>：月流量

ET<sub>ci</sub>：修正後之月蒸發散量

$\Delta X_i$ ：月土壤水分與地下水變化

其中  $\Delta X_i$  值，如將負  $\Delta X_i$  值累積，即  $\sum |-\Delta X_i|$ ，此為旱季時部份基本流量之持續供給與植物生長需水量之供給，必須由雨季時集水區涵蓄水量供給，亦可謂一水文年內，集水區各月土壤水分與地下水之涵蓄調節量。

而  $\sum |-\Delta X_i|$  值又可區分為兩類，即

(i)  $\sum |-\Delta G_i|$  值為地下水涵蓄調節量，此即旱季時，流量大於降雨量時，需由雨季時涵蓄於

地下之地下水供給，其計算法如下：

$$\sum_{P_i < Q_i} | -\Delta G_i | = \sum_{P_i < Q_i} | P_i - Q_i | \dots\dots\dots (11)$$

(11) 式之  $\sum_{P_i < Q_i} | P_i - Q_i |$ ， $P_i$  必須小於  $Q_i$ ，即降雨量小於流量時，其差異值可謂一水文年內，其地下水涵蓄調節量。

(ii)  $\sum | -\Delta S_i |$  值為土壤水分涵蓄調節量，此即旱季時，蒸發散量大於降雨量供給時，必須以雨季時土壤涵蓄之水分供給，其計算法如下：

$$\sum | -\Delta S_i | = \sum | -\Delta X_i | - \sum | -\Delta G_i | \dots\dots\dots (12)$$

(12) 式之  $\sum | -\Delta S_i |$  即為一水文年內，其土壤水分涵蓄調節量。

### 三、結 果 (Results)

(一) 由(3)、(4)、(5)式及表二、四計算，可得蓮華池試驗集水區之蒸發散量推估值，茲列表如表五。

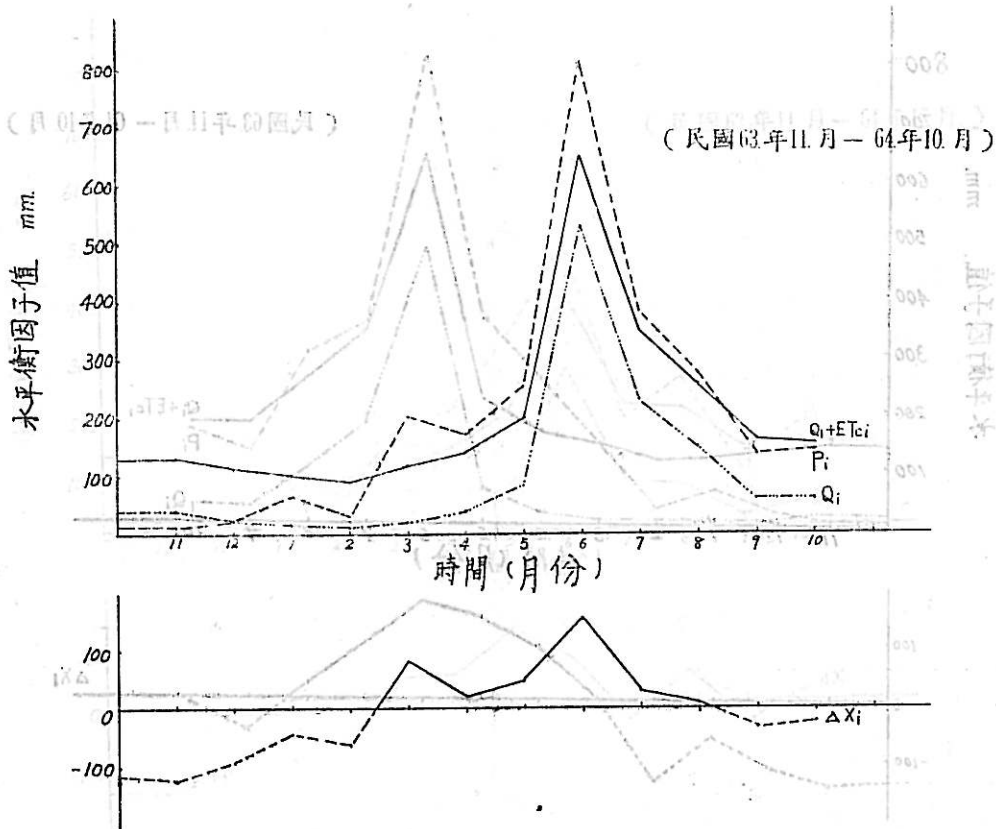
表五 蓮華池試驗集水區蒸發散量推估值 (民國63年11月~64年10月)

項 目	1974		1975									
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t (°C)	19.6	17.9	14.7	15.6	17.1	20.6	21.8	22.4	23.0	23.4	22.9	22.5
TE	7.91	6.90	5.12	5.60	6.44	8.53	9.29	9.68	10.08	10.35	10.02	9.75
a	0.629	0.613	0.582	0.590	0.604	0.640	0.653	0.659	0.666	0.670	0.665	0.666
ET <sub>i</sub> (mm)	109.7	108.3	105.0	101.4	119.4	130.2	144.4	143.3	149.0	144.8	130.7	125.7

(二) 由(2)、(6)、(7)、(8)、(9)、(10)式及表二、五計算，可得蓮華池試驗集水區2號~5號，民國63年11月至64年10月間之完整水文年，其各月之水平衡式中諸因子結果，茲列表如表六、七、八、九及圖二、三、四、五。

表六 蓮華池二號試驗集水區水平衡各因子值 (民國63年11月~64年10月)

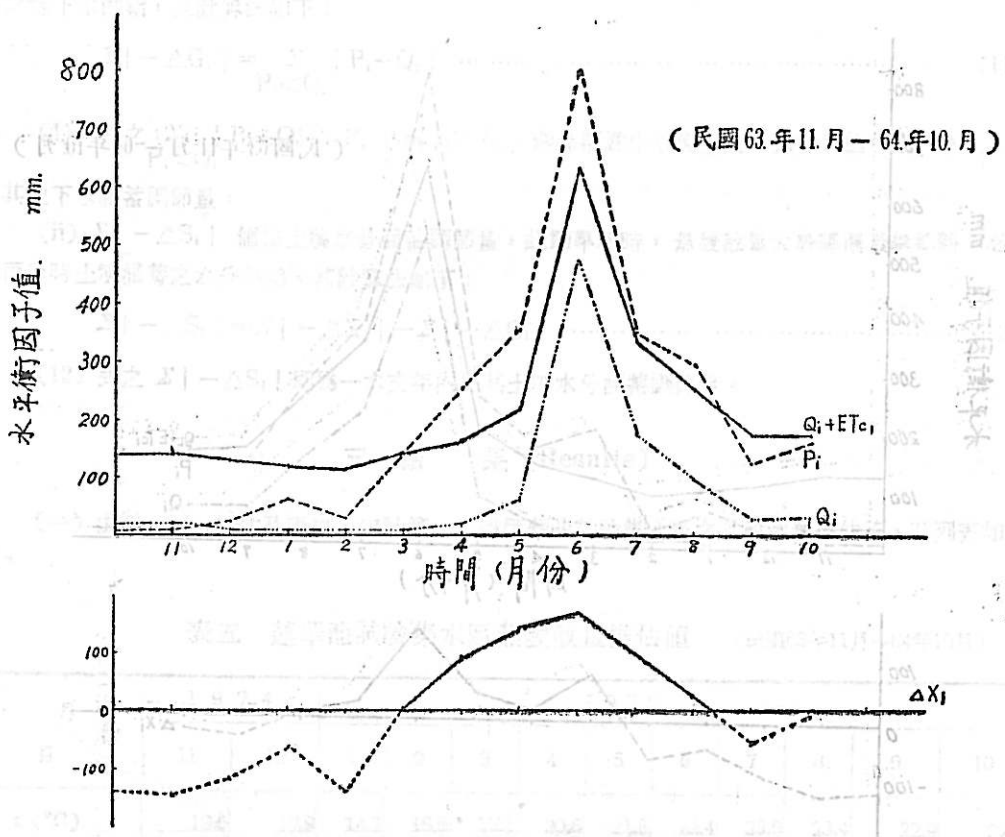
項 目	1974		1975										合 計
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
P <sub>i</sub> (mm)	6.92	19.59	63.30	32.07	196.57	170.11	253.00	796.70	382.95	270.17	136.23	151.40	2479.01
Q <sub>i</sub> (mm)	36.41	20.19	15.99	9.74	22.05	39.39	84.39	524.82	229.96	144.89	58.98	58.36	1245.17
ET <sub>e1</sub> (mm)	89.53	88.38	85.69	82.75	97.44	106.26	117.85	116.94	121.59	118.17	106.66	102.58	1233.84
ΔX <sub>i</sub> (mm)	-119.02	-88.98	-38.38	-60.42	77.08	24.46	50.76	154.94	31.40	7.11	-29.41	-9.54	



圖二 蓮華池二號試驗集水區水平衡狀況

表七 蓮華池三號試驗集水區水平衡各因子值 (民國63年11月~64年10月)

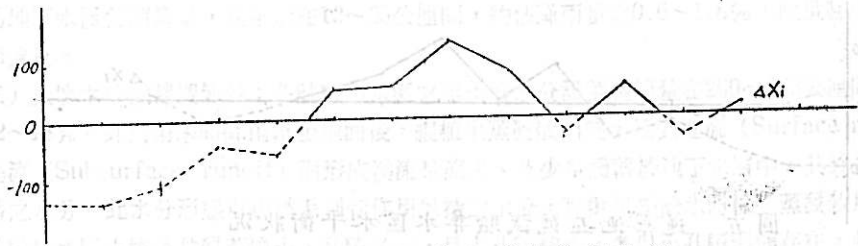
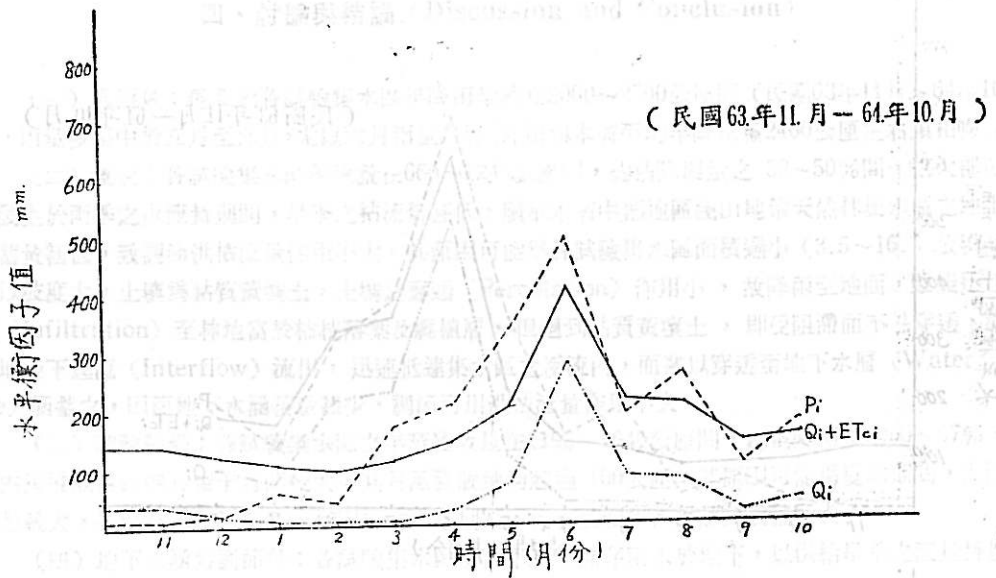
月份	1974		1975										合計
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
$P_i$ (mm)	7.48	19.96	63.14	32.49	137.02	253.01	353.0	799.59	338.45	286.48	124.55	164.71	2579.88
$Q_i$ (mm)	23.83	9.07	6.79	3.26	7.68	19.56	57.33	475.58	167.53	96.39	31.65	35.11	933.78
$ET_{ci}$ (mm)	119.44	117.91	114.31	110.40	130.00	141.76	157.22	156.02	162.23	157.65	142.30	136.86	1646.10
$\Delta X_i$ (mm)	-135.79	-107.02	-57.96	-81.17	-0.66	91.69	138.45	167.99	8.69	32.44	-49.40	-7.26	



圖三 蓮華池三號試驗集水區水平衡狀況

表八 蓮華池四號試驗集水區水平衡各因子值 (民國63年11月-64年10月)

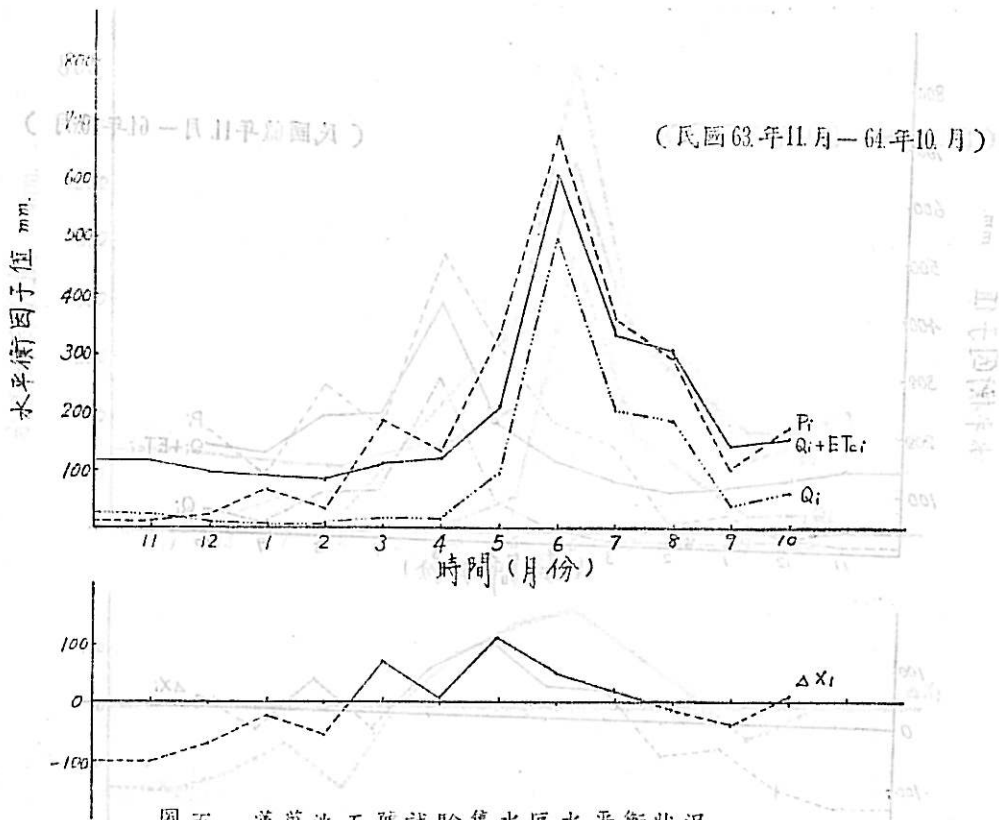
項目	1974		1975										合計
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
$P_i$ (mm)	6.50	16.31	59.86	33.44	168.34	210.20	328.70	489.94	186.45	250.50	101.93	169.40	2021.57
$Q_i$ (mm)	36.70	21.78	9.31	1.34	9.91	27.80	71.73	276.84	77.10	68.84	19.47	39.54	660.34
$ET_{c_i}$ (mm)	98.77	97.51	94.54	91.29	107.50	117.22	130.01	129.02	134.16	130.37	117.67	113.17	1361.23
$\Delta X_i$ (mm)	-128.97	-102.98	-43.99	-59.19	50.93	65.18	126.96	84.08	-24.81	51.29	-35.21	16.69	16.69



圖四 蓮華池四號試驗集水區水平衡狀況

表九 蓮華池五號試驗集水區水平衡各因子值 (民國63年11月~64年10月)

月 份 項 目	1974		1975										合 計
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
$P_i$ (mm)	6.46	19.68	63.60	31.78	177.23	129.07	327.25	657.54	351.42	292.69	103.26	169.28	2328.26
$Q_i$ (mm)	19.90	4.94	0.26	0.44	12.66	14.56	97.33	490.89	210.49	186.09	37.16	60.93	1132.65
$ET_{ci}$ (mm)	86.75	85.64	83.03	80.19	94.42	102.97	114.19	113.32	117.83	114.51	103.36	99.40	1195.61
$\Delta X_i$ (mm)	-97.19	-70.90	-20.69	-48.85	70.15	11.54	115.73	53.33	23.10	-7.91	-37.26	8.95	



圖五 蓮華池五號試驗集水區水平衡狀況

(三) 由(9), (10), (11), (12)式及表六、七、八、九, 計算蓮華池試驗集水區水文年之水平衡因子值及涵蓄水分量值。茲將蓮華池試驗集水區民國63年11月至64年10月之年降雨量 (P), 年流量 (Q), 年蒸發散量 (ET<sub>e</sub>), 水文年內之土壤水分與地下水涵蓄量 ( $\Sigma | -\Delta X_i |$ ), 水文年內地下水涵蓄量 ( $\Sigma | -\Delta G_i |$ ), 水文年內土壤水分涵蓄量 ( $\Sigma | -\Delta S_i |$ ) 等值列表如表十。

表十 蓮華池試驗集水區水文年之水平衡因子值及涵蓄水分值 (民國63年11月~64年10月)

項 目	試驗集水區編號									
	2		3		4		5			
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
年 降 雨 量 P	2479.01	100	2579.88	100	2021.57	100	2328.26	100		
年 流 量 Q	1245.17	50.23	933.78	36.19	660.34	32.66	1132.65	48.65		
年 蒸 發 散 量 ET <sub>e</sub>	1233.84	49.77	1646.10	63.81	1361.23	67.34	1195.61	51.35		
土壤水分與地下水涵蓄量 $\Sigma   -\Delta X_i  $	345.75	14.00	439.26	17.03	395.13	19.55	282.80	12.15		
地 下 水 涵 蓄 量 $\Sigma   -\Delta G_i  $	30.09	1.22	16.35	0.64	35.65	1.77	13.44	0.58		
土 壤 水 分 涵 蓄 量 $\Sigma   -\Delta S_i  $	315.66	12.78	422.91	16.39	359.48	17.78	269.36	11.57		

#### 四、討論與結論 (Discussion and Conclusion)

(一) 降雨量：蓮華池各試驗集水區年降雨量約在2000~2500公厘間(民國63年11月~64年10月)，雨量多集中於五月至九月，尤以六月雨量最豐，此值與本省平均年降雨量2400公厘左右頗相吻合。

(二) 流量：各試驗集水區年流量在660~1245公厘間，約佔降雨量之33~50%間，絕大部份流量發生於雨季之洪流量期間，旱季之枯流量甚低，顯示本省中部地區淺山地帶天然林集水區之地下水涵蓄量甚低，致調節洪枯流量作用不大。其原因可能為各試驗集水區面積過小(3.5~16.5公頃)，加以坡度大，土壤為黏質黃壤土，土壤之穿透(Percolation)作用小，故降雨至地面，雖能迅速滲透(Infiltration)至林地富於枯枝落葉及腐植層，但遇到黏質黃壤土，即受阻滯而不易穿透，演變為地表下逕流(Interflow)流出，迅速抵達集水區之溪流內，而難以穿透至地下水層(Water table)涵蓄之，因而地下水涵蓄量甚少，調節河川洪枯流量作用不大。

(三) 蒸發散量：各試驗集水區之年蒸發散量在1195~1646公厘間，約佔降雨量的50~67%，年間內蒸發散量以四月至十月間較大，其月蒸發散量均超過100公厘，其原因可能為夏季期間，太陽輻射量較大，氣溫高，日照較長，復因植物生長期間，耗水量較多，故蒸發散量較大。

(四) 地下水涵蓄調節量：各試驗集水區於雨季時，儲存雨水於地下，以供旱季之流量持續不斷，此為地下水涵蓄調節量，其年量在13~35公厘間，約佔降雨量之0.6~1.8%，此量甚小，其原因已於前節述及。

(五) 土壤水分涵蓄調節量：各試驗集水區之年土壤水分涵蓄調節量在269~423公厘間，約佔降雨量之12~18%。此為雨季時降雨落至地面後，經植生蒸發散消耗，地表逕流(Surface runoff)與地表下逕流(Subsurface runoff)而形成溪流流量流失、及少量涵蓄於地下水層中，其餘之水分即土壤所涵蓄之水分。此水分形態可視為毛細管作用保持之水分，可供旱季缺水時植生蒸發散用。由於蓮華池各試驗集水區土壤為黏質黃壤土，孔隙量高，且大孔隙較小，多以小孔隙形態存在，此小孔隙即為毛細管作用之微管孔度(Capillary porosity)，故本區之土壤水分涵蓄調節量頗高。

(六) 旱濕季之劃分：由表六、七、八、九及圖一、二、三、四之試驗集水區各月土壤水分與地下水盈虧量  $\Delta X_i$  值，可知本試驗集水區之土壤水分與地下水補充期間約在三月~八月，消耗期間約在九月~翌年二月，而其累積之土壤水分與地下水消耗量最大時間約在二月底或三月初，換句話而言，亦可謂本區土壤最早時間為二月底或三月初。然本省水文年之劃分，多依雨量資料判定，以每年五月~十月為雨季，十一月至翌年四月為旱季，如以土壤水分乾濕狀況而判定，似乎本省中部淺山地區可以每年三月一日為水文年之起始點，而以翌年二月二十八日為終結日。

#### 五、參考文獻 (Literature Cited)

1. 王新傳、林登鴻(1969) 臺灣坡地主要土壤之沖蝕性。中華林學季刊，3卷1期，pp. 39~47.
2. 張江福(1975) 臺灣雨量資料分析。臺灣水利，23卷1~3期。
3. 葛錦昭(1967) 臺灣之集水區經營。臺灣銀行季刊，18卷2期，pp. 258~273.
4. Ven Te Chow (1969) Handbook of applied hydrology, Section 11 and 22.
5. Pelton, W. L., King, K. M., and Tanner, C. B. (1960) An evaluation of the Thornthwaite and mean temperature methods for determining potential evapotranspiration. Agron. J. 52 (7) : 387-395, illus.
6. Criddle, W. D. (1958) Methods of computing consumptive use of water, Proc. Am. Soc. Civil Engrs., T. Div. Irrigation and Drainage, Vol. 84, No. IRI, pp. 1~27.

